



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERO INDUSTRIAL

Título del proyecto:

Implantación de la metodología Seis Sigma en varias plantas de
un mismo grupo industrial

Javier Gurpegui Muro

Francisco Javier Merino

Pamplona, 23-Febrero-2015

Introducción

El **objetivo principal** del presente P.F.C. es el de generar en un primer lugar una serie de documentación de apoyo acerca de la metodología 6-sigma, a un nivel intermedio entre lo que es el nivel “Green-belt” y el nivel “Black-belt” tal y como los entienden las empresas multinacionales como General Electric que abogan por éste tipo de metodología, para luego y a modo de aplicación, seguir ésta metodología siguiendo sus distintos pasos para el estudio de las características críticas de una pieza eólica, en concreto la torre de un aerogenerador.

Se trata de un P.F.C. que nos orientará acerca de las distintas herramientas de calidad y de las herramientas estadísticas más apropiadas (disponibles en el programa **Minitab**) a emplear a lo largo de las 5 etapas de las que consta un proyecto 6σ .

El presente P.F.C. está estructurado de la siguiente manera:

- Introducción a la metodología 6-sigma según GE y también según la **ISO 13053:20111**, **partes 1 y 2.**
- Previamente se desarrollarán las 5 fases de un proyecto 6-sigma de manera genérica (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar).
- Caso práctico real enmarcado en una industria manufacturera y relativo a la fabricación de torres eólicas, estructuras metálicas soldadas de calderería pesada. Durante la fase de mejorar se hará uso de la herramienta **DOE (diseño de experimentos)** también disponible en Minitab y se enumerarán una serie de conclusiones tras la realización de éste proyecto 6-sigma concreto.
- 8 Anexos de soporte tanto para las 5 etapas del 6σ desarrolladas de forma genérica como para el propio caso práctico desarrollado en el capítulo#6 del P.F.C..

Cabe reseñar que la mayor dificultad que entrañan éste tipo de proyectos radicaría quizás en el correcto manejo del programa informático **Minitab** (www.minitab.com), con el que aplicar los distintos conceptos vistos durante la carrera relativos a la **estadística descriptiva** y a la **distribución normal de datos**.

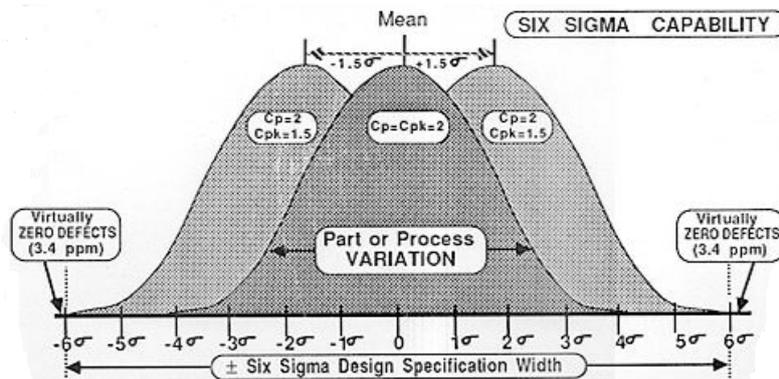
Enfoque 6-sigma: Si conseguimos mejorar de forma sistemática un proceso eliminando sucesivamente las fuentes de variación, podremos aumentar la capacidad del mismo. Persigue conseguir un índice de capacidad 2 de manera que los intervalos de tolerancia estén a 6 desviaciones típicas del valor nominal (de ahí su nombre). De ésta manera, si se producen cambios en la media del proceso menores de $1,5\sigma$, cambios que normalmente son difíciles de detectar con rapidez en los gráficos de control, nos aseguramos de que la mayoría de la fabricación estará dentro de los límites de tolerancia.

La experiencia acumulada de muchas empresas muestra que son muy frecuentes los desplazamientos pequeños de la medición que serían muy difíciles y costosos de detectar. El enfoque 6-sigma parte de ésta idea y en lugar de usar el C_p piensa en términos de C_{pk} , el cual tiene en cuenta los desplazamientos de la media. Se trata de mantener $C_{pk} \geq 1,5$ para asegurar que el número de defectos se mantenga en 3 por millón.

Introducción

A continuación resaltaré en amarillo aquellas aportaciones atribuibles a los proyectos 6- σ desarrollados en el seno de una empresa.

Sigma σ : término estadístico para determinar la distribución, envergadura de la curva o dispersión alrededor del valor central o promedio o media de mi proceso. **Variación o dispersión del proceso que resulta ser lo primero que ven y sienten los clientes** y que sucede debido a la existencia de causas comunes (siempre presentes) y causas especiales. Cuanto menor sea la desviación estándar de la población o proceso con respecto al valor objetivo mejor. Los dos puntos de inflexión de una curva normal recaen a $\pm 1.5\sigma$ de su valor central.



Es por ello que la **metodología 6sigma** se centra primero en **reducir la variación del proceso** (para hacerlo consistente y predecible tras reducir su σ) para luego **aumentar su capacidad** o lo que es lo mismo, conseguir altos niveles de Calidad aproximando su media al objetivo lo más posible (en concreto calidad 6 σ : 3'4 malas experiencias por cada millón de oportunidades a CP).

Es un programa de Calidad basado en la Estadística y centrado en **mejorar el control de aquellos procesos clave de la organización** (determinados por los objetivos comerciales) en lugar de encajonarse en los distintos departamentos de la empresa. Es por ello que el uso de **programas informáticos de análisis Estadístico** se hace necesario (Minitab,...etc). Con éstos programas se ha de monitorizar la capacidad sigma Z(σ) y el desempeño o rendimiento del proceso tanto a CP como a LP a fin de **asegurar la Calidad de los productos o servicios en el tiempo**. A mayor capacidad de proceso menos defectos.

Todo negocio existe si tiene clientes y todo cliente tiene una serie de requisitos. Si el negocio satisface éstos requisitos será eficaz, y si lo hace con los mínimos recursos posibles será eficiente. Entusiasmar a los clientes, que son quienes definen la calidad, y superar sus expectativas ha de ser una necesidad. Por tanto habrá que visualizar un proceso o negocio de fuera hacia adentro desde la perspectiva del cliente, desde sus CTQs (Critical to Quality characteristics). Por tanto se debe de crear una necesidad compartida dentro de la organización para con el cambio e involucrando a todos los empleados ya que son las personas quienes generan los resultados.

Los clientes se relacionan con nuestra organización a través de una serie de procesos y cada proceso tiene que ver con múltiples funciones o departamentos de la empresa.

Dueños o responsables del proceso: Equipos 6 σ de trabajo multidisciplinares, con personas de los distintos departamentos involucrados en el proceso y constituidos para solucionar **problemas específicos, mejorar procesos clave, productos o servicios mediante un abordaje transversal de los procesos eliminando las siempre existentes barreras ó burocracias interdepartamentales**. De ésta manera **se fomenta también el aprendizaje interdisciplinar** dentro de la organización.

Introducción

La Calidad de un producto no solamente ha de asegurarse mediante el control final del mismo sino también y sobre todo afianzando el proceso de fabricación y aquellos procesos clave de la empresa interrelacionados (gestión por procesos). Por tanto hay que descubrir las relaciones cuantitativas entre las variables X a mejorar del proceso y las salidas Y del mismo, valores esperados por el cliente para sus respectivas CTQs.

Hay que recoger datos para ver cómo se comporta el rendimiento sigma del proceso frente a las necesidades del cliente, ya sea éste interno o externo. Es una filosofía sustentada en la toma de decisiones en base al análisis de datos, habitualmente distribuidos normalmente, encaminada hacia la mejora continua y aplicable a cualquier proceso del negocio. Como los procesos no son del todo estables en el tiempo habrá que recoger datos permanentemente, de hecho, un proceso bajo control generalmente experimenta un desplazamiento de su media de $1'5\sigma$.

Si se pueden definir y medir los requisitos del cliente entonces se podrá calcular tanto el número de defectos como la línea base de rendimiento sigma del proceso (porcentaje de entregas satisfactorias sin defectos o también capacidad del proceso, lo que éste puede dar de sí). La idea central del 6 sigma es que si se puede contabilizar cuántos defectos tienes en un proceso sistemáticamente se puede averiguar cómo reducirlos o incluso eliminarlos. Los defectos en la calidad del producto ó servicio se pueden medir bien contabilizando su frecuencia (defectos por unidad, con los que calculo el rendimiento a LP) o bien su número (DPMO: Defects per million oportunities). Posteriormente, tanto con el rendimiento a LP como con el DPMO se puede obtener por tablas el comportamiento sigma a CP. En definitiva, se calcula de la línea base del proceso tanto a CP como a LP y tanto antes como después de haber implementado la mejora. Aclarar que un indicador es una medida diseñada para hacer seguimiento de los cambios efectuados (%defecto, DPMO, capacidad sigma a CP y LP, índices de capacidad a CP y LP,....etc).

Es necesario adaptarse con rapidez y flexibilidad a los cambios constantes que se dan en los mercados así como dinamizar a nuestra propia organización de una forma casi permanente pero mediante cambios sostenibles, duraderos, efectivos y eficaces. Esta cultura de gestión del cambio se debe considerar como una ventaja competitiva ó estratégica. La innovación supone la mejora diaria.

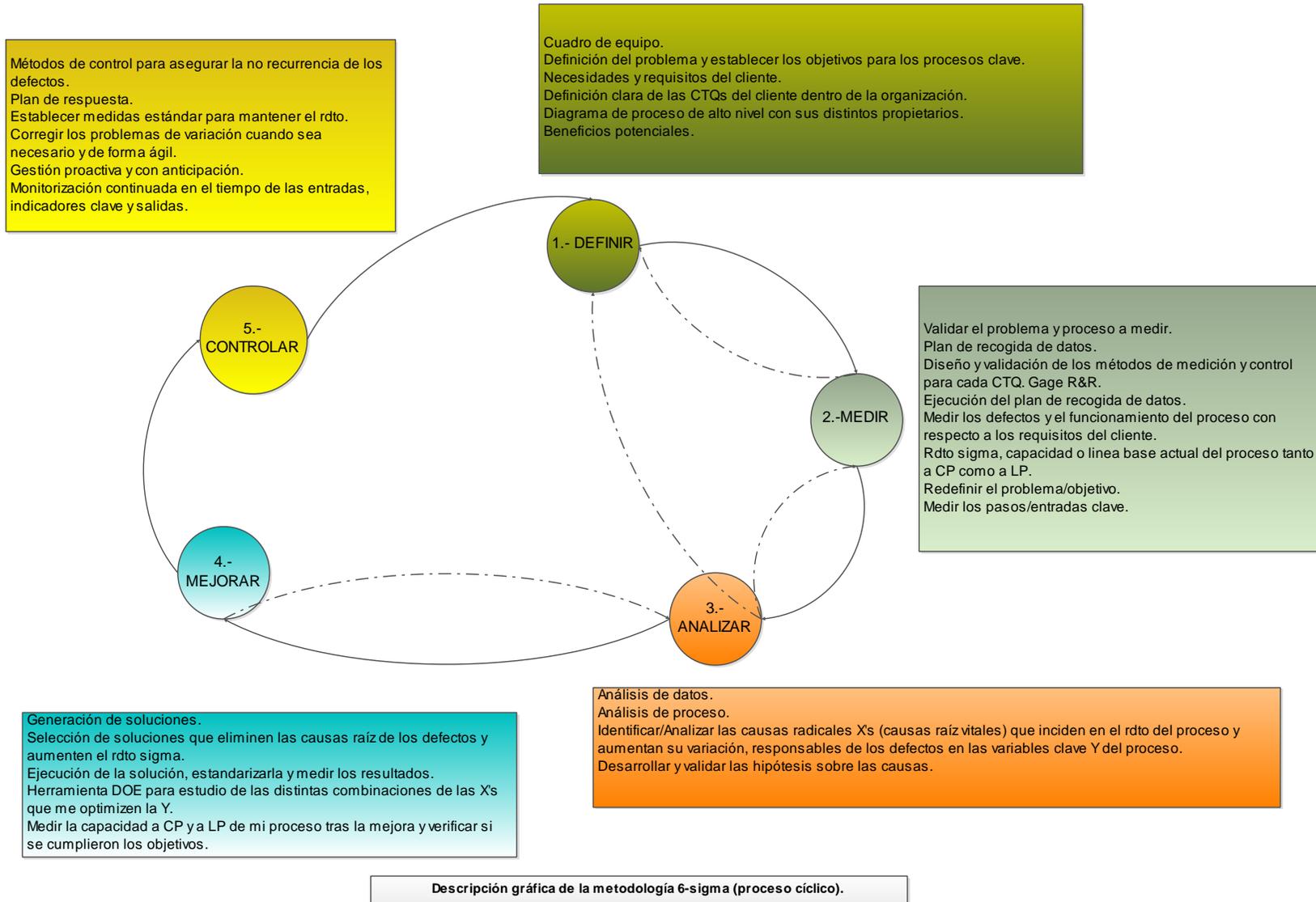
El 6σ es la aplicación del método científico a la gestión empresarial, basado en definir el problema, medir su impacto, determinar sus causas radicales, formular hipótesis y ponerlas a prueba. Es un método estructurado de trabajo en 5 etapas (DMAMC), cada una con sus respectivas herramientas estadísticas y sus técnicas de calidad. De ésta manera se consigue estandarizar el método a seguir durante las actividades de mejora desarrolladas en la empresa. Con las medidas de control se asegura la no recurrencia de los defectos y es posible detectar pequeñas variaciones de mi proceso a fin de poder gestionar mi empresa de una manera proactiva, anticipándome a los defectos antes de que éstos ocurran.

En definitiva, la metodología 6-sigma se trata de una metodología cuantitativa para canalizar toda actividad de mejora desarrollada en la empresa siempre siguiendo unas mismas pautas o pasos predefinidos y empleando unas herramientas estadísticas y una terminología de común entendimiento dentro de la organización. Dicho esto, cabe decir que ésta metodología es aplicable a todas las áreas y actividades de la organización siempre que se trate del análisis de parámetros (X's e Y's) medibles.

De igual manera es una técnica que facilita la Gestión del conocimiento dentro de la empresa ya que se pueden clasificar y guardar los proyectos realizados con éxito para su posterior puesta a disposición del resto de empleados (Quality Projects Tracking System).

Dicho todo lo anterior, si la dirección de la empresa muestra un interés real por todas éstas potenciales ventajas, ciertamente merecerá la pena crear equipos 6-sigma que asuman la responsabilidad de mejorar aquellos procesos clave de impacto tanto en el cliente como en los procesos clave de la empresa, los cuales vienen determinados por los objetivos comerciales.

Introducción



00.- Índice del PFC

PFC: Implantación de la metodología Seis Sigma (DMAMC) en varias plantas de un mismo grupo industrial.

#Bloque	CAPÍTULOS DEL PROYECTO:	ÍNDICE	Anexos relacionados
	Portada PFC		
	Introducción al presente PFC		
	Índice del PFC	0	
0	Metodología 6-sigma	1	
1	Fase Definir	31	
2	Fase Medir	48	Anexo1
3	Fase Analizar	82	Anexo2
4	Fase Mejorar	122	
5	Fase Controlar	139	Anexos 1,2 y 3
6	CASO PRÁCTICO. Implantación de la metodología 6-sigma en varias plantas de un mismo grupo industrial.	156	
Anexo1	Gage R&R tool en Minitab	214	
Anexo2	Estudio de Capacidad de un proceso en Minitab	227	
Anexo3	Gráficos de Control	250	
Anexo4	Estadística Descriptiva y Minitab.	269	
Anexo5	Errores e Incertidumbres de los aparatos de medición	294	
Anexo6	Herramienta de toma de decisiones 6-sigma tools	299	
Anexo7	Flujograma del 6-sigma según ISO 13053-2:2011 y según General Electric. Mapa de las herramientas de Calidad, tipos de datos y herramientas	314	
Anexo8	Bibliografía	318	
	Hoja de cierre del PFC	319	

1.- INICIOS DEL SEIS SIGMA. INTRODUCCIÓN A ÉSTA METODOLOGÍA:

La primera empresa que popularizó ésta filosofía de administración fue Motorola en la década de los ochenta; a principios de la década siguiente la adoptó AlliedSignal y luego fue General Electric quien hizo de ella la filosofía o metodología administrativa más popular de la historia.

Se trata de una técnica basada en hechos y datos que luego son usados para tomar decisiones en la organización y cuyo fin último es la consecución y mantenimiento del éxito empresarial. Sin embargo para que el Seis Sigma tenga éxito en una empresa es preciso que afecte e implique a todos sus miembros.

La vía para llegar a ser más eficaces y eficientes mediante el empleo de 6-Sigma incluye tres componentes:

- El primero es la estrategia del 6-Sigma, que se denomina gestión del proceso mercantil y su responsabilidad recae sobre la administración ejecutiva.
- El segundo tiene que ver con las tácticas de las que se sirven los miembros de un equipo de proyecto para mejorar un proceso defectuoso. Es la aplicación del método científico a la gestión empresarial.
- El tercer componente clave de 6-Sigma es el cultural, la propia filosofía administrativa del 6-Sigma.

Todo negocio existe porque tiene clientes y todo cliente tiene una serie de requisitos. Si el negocio satisface éstos requisitos, es eficaz.

La eficacia es el grado en que una organización cumple y supera las necesidades y requisitos de sus clientes.

La eficiencia se refiere a la cantidad de recursos que el negocio consume para ser eficaz de cara a los clientes. Le eficiencia se puede medir en tiempo, costo, trabajo o valor.

Las tácticas de Seis Sigma son muy parecidas al método científico que aprendimos en la escuela elemental, el cual se basaba en definir un problema, medir su impacto, determinar sus causas radicales y formular hipótesis y ponerlas a prueba. La táctica del 6 Sigma consta de cinco fases (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) y promueve la eficacia y la eficiencia de proyectos seleccionados para mejorarlos.

El concepto sobre el que descansa el 6-Sigma es la búsqueda de una medida técnica que nos muestre cuántos casos de insatisfacción se dan por millón de clientes. 6-Sigma es el equivalente de sólo 3,4 malas experiencias por cada millón de casos u oportunidades (DPMOs: "Defects Per Million Opportunities"), pudiendo decir que significa casi la perfección.

Para que una compañía se vuelva en realidad efectiva y eficiente es preciso que las iniciativas de calidad se dirijan también a cambiar la manera en la que los ejecutivos gestionan el negocio. A diferencia de otras iniciativas de calidad que sólo atendían a las herramientas, 6-Sigma se basa en la participación activa de la administración, la cual en pro de la mejora continua ha de estar siempre motivada por el cambio; la innovación supone la mejora diaria.

Primero los ejecutivos crean el sistema de gestión del proceso. Antes de que su trabajo empiece a afectar a los empleados, los ejecutivos le deben de dedicar varios meses a la labor de identificar y medir los procesos de su organización.

Un proceso se define como la serie de pasos y actividades que reciben insumos (conjunto de bienes empleados en la producción de otros bienes---materias primas, instrucciones técnicas,...etc) de los proveedores, agregan valor y suministran productos para los clientes.

El 6-Sigma le pide a la administración que empiece por identificar los 20 ó 30 procesos más importantes ó claves de la compañía, de los cuales tendrá que medir su actual rendimiento Sigma (recogiendo datos sobre sus niveles de eficacia y eficiencia). Muchos de ellos, si no todos, estarán operando en niveles de dos o tres Sigma y algunos incluso por debajo de 2-Sigma.

Después de esto los administradores deben de identificar aquellos procesos de más bajo rendimiento que tienen un mayor impacto sobre los objetivos comerciales de la compañía. Los objetivos comerciales son las cinco ó siete metas más importantes que la empresa establece cada año. A veces se expresan en términos financieros (beneficios por ejemplo), pero también hay otros, como la satisfacción de los clientes o de los empleados.

Después de lo anterior se organizarían equipos de proyecto 6-sigma donde ya sí intervendrían los trabajadores. Estos equipos de cinco a siete personas tendrán la responsabilidad de mejorar los peores procesos durante un plazo de tiempo de en torno a cuatro-seis meses y dedicándole más o menos un 20% de su tiempo laboral. Antes deberán de ser adiestrados en una serie de herramientas y conceptos (que veremos en capítulos posteriores) para capacitarlos en el uso de sus destrezas y mejorar el rendimiento Sigma con el fin de alcanzar la mayor efectividad y eficiencia.

En los meses y años posteriores a la ejecución ó culminación del 6-Sigma, aunque las relaciones de dependencia entre las distintas personas y departamentos (organigramas) no hayan cambiado, los empleados conocerán a un nuevo grupo de empleados llamados los dueños del proceso, quienes de manera informal son los responsables de dirigir/monitorizar los procesos clave entre las distintas funciones y departamentos dentro de la organización. Podrían además patrocinar a los distintos equipos 6-Sigma establecidos (figurando como los campeones del proyecto ó "champions").

A diferencia de otras iniciativas de calidad, el 6-Sigma tiene un componente estratégico encaminado no sólo a hacer que la administración adopte éste sistema sino que también tome parte activa en su ejecución.

Concentrarse en los objetivos funcionales (ó departamentales) no permite que la compañía llegue a la excelencia. Las empresas que sobresalen tienen tres áreas principales de enfoque: el cliente, el proceso y el empleado.

Los clientes no se entienden con nuestra organización por medio de una serie de funciones. Por el contrario, debemos de reconocer que los clientes se relacionan con nuestra organización a través de una serie de procesos y cada proceso tiene que ver con múltiples funciones (ó departamentos).

Es por eso que la gerencia debe de identificar cuáles son éstos procesos clave y asignarle dueños a cada uno de ellos. En algunos casos los dueños serán los propios directores de alguno de los departamentos pero en otros casos podrían nombrarse personas ajenas a la dirección, en base a los siguientes criterios:

- Que sea un experto en la materia.
- Que sea una persona que se beneficie si el proceso funciona bien y que sufra las consecuencias si funciona mal.
- Que goce del respeto de los empleados de procesos anteriores y posteriores.
- Que tenga aptitud para pensar en procesos y mejoras.

El dueño del proceso ó "champion" tiene la responsabilidad de conseguir las medidas adecuadas de rendimiento para su proceso, teniendo el encargo de determinar qué medidas son las más eficaces y eficientes para sus procesos.

Existen muy diversos métodos para averiguar las necesidades del cliente, pudiéndose destacar: las entrevistas a clientes, las encuestas, grupos de enfoque (clientes que responden delante de un guía que les entrevista-evalúa), por observación del cliente, analizando sus quejas,.....etc

Sólo viendo cada eslabón (ó proceso interno) del negocio como una concatenación de abastecedores internos y clientes internos se puede ver si una compañía está funcionando de forma excelente.

Cada dueño de un proceso valida en los primeros meses de la creación de una estrategia 6-Sigma las medidas de eficacia y eficiencia para su proceso concreto. Una vez que sabe cuáles son las medidas fundamentales para el mismo, debe de recoger datos relativos a tales medidas. En el fondo el Seis-Sigma es administración con hechos y datos; por consiguiente, cuando se ha determinado qué es importante para el cliente, hay que recoger datos para determinar cómo se está comportando un proceso en comparación con las necesidades de dicho cliente (ya sea éste tanto interno como externo).

2.- DEFECTOS Y NIVELES SIGMA:

Cualquier cosa que no cumple los requisitos del cliente se denomina DEFECTO. Cualquier cosa que de lugar o bien a una no conformidad o bien a una insatisfacción del cliente. Fuentes de irritación del cliente. La eliminación de defectos redundará en beneficios de coste.

Los defectos en la calidad del producto ó servicio se pueden medir bien contabilizando su frecuencia (defectos por unidad, con los que calculo el rendimiento a LP) o bien su número (DPMO). Posteriormente, tanto con el rendimiento a LP como con el DPMO puedo obtener por tablas el comportamiento sigma a CP.

Si se pueden definir y medir los requisitos del cliente, entonces se puede calcular tanto el número de defectos en el proceso y en los resultados como el rendimiento del proceso, es decir, el porcentaje de productos y servicios buenos (sin defectos) generados. Existen sencillas tablas para convertir el rendimiento en niveles sigma.

Por ejemplo, dentro de mi proceso productivo, si la entrega unos materiales perecederos de una fase a la siguiente se comporta de la siguiente manera:

Hoja de distribución de Frecuencias:			
	X		
	X		
	X	X	
	X	X	
	X	X	
	X	X	
	X	X	
	X	X	
	X	X	
	X	X	X
	X	X	X
Entregas:	antes del plazo establecido	Dentro del plazo	Después del plazo
Totales:	11	9	2

Histograma: Gráfico de barras que muestra la distribución de los datos recogidos.

Si todo lo que sea inaceptable para el cliente en términos de producto o de servicio es considerado un defecto en éste ejemplo tenemos 13 defectos de un total de 22 unidades ó entregas. La manera más fácil de calcular el comportamiento sigma a Corto Plazo es en defectos por unidad. Dividiendo 13 defectos por el número de unidades 22 tenemos 0,59, lo cual significa que el 59% son malas y el 41% son aceptables para mi cliente (el 41% como número aceptable se llama **rendimiento a largo plazo**). La **línea base** para el servicio de entrega de ésta fase es **1,3 sigma a corto plazo** (ver la tabla de conversión en la página siguiente). Al tratarse de un cliente interno, un sigma 1,3 puede que no afecte a mi cliente externo; pero aun cuando no lo haga directamente, éste al final tendrá que pagar por la ineficiencia de un proceso de tan bajo rendimiento.

Otra aproximación para determinar el nivel Sigma o rendimiento del proceso a CP consiste en calcular cuántos defectos se obtienen en comparación con el número de oportunidades que existen en el producto o servicio de hacer las cosas mal. El resultado de éste cálculo se conoce como **defectos por millón de oportunidades (DPMO)**, y es otra manera de obtener el **nivel Sigma o rendimiento de un proceso a CP**. A modo de otro ejemplo, si analizando 50 entregas (ó UNIDADES) se encuentra lo siguiente:

- Tiempo de entrega adelantado o retrasado...13.
- Cantidad pedida inexacta...3
- Alimentos caducados...0

Definiciones:

- Unidades: el número de piezas, sub-montajes, montajes, sistemas ó servicios a inspeccionar ó ensayar.
- Oportunidad/es: La característica/s que inspecciono, ensayo ó evalúo para cada unidad. Para toda unidad habrán unas mismas oportunidades/características a controlar.
- Defectos por unidad:

$$DPU = \frac{\text{Número total de Defectos}}{\text{Total Unidades}} = \frac{16}{50}$$

- Total de Oportunidades ("Total Opportunities"):

$$TOP = \text{Total Unidades} \times \text{Oportunidades} = 50 \times 3$$

- Defectos por Oportunidad (probabilidad de tener un defecto):

$$DPO = \frac{\text{Número total de Defectos}}{TOP} = \frac{16}{50 \times 3}$$

Para calcular los defectos por millón de casos se plantea la siguiente ecuación:

$$DPMO = DPO \times 1.000.000 = \frac{\text{Número de Defectos}}{\text{Unidades} \times \text{Oportunidades}} \cdot 1.000.000$$

Tendríamos entonces $[16/(50 \cdot 3)] \times 1.000.000 = 106.666,7$ defectos por millón de casos. Con éste dato vamos a la tabla y obtendríamos un rendimiento Sigma a corto plazo de entre 2,7 y 2,8.

En la creación de la estrategia Seis-Sigma todos los dueños de proceso tienen que **calcular la línea base para el comportamiento actual o de partida de sus respectivos procesos**. De cuatro a ocho semanas después que las medidas para cada proyecto hayan sido validadas por los clientes, debe quedar terminada la línea de base sigma para cada proceso. Cuando todos los procesos han calculado su línea de base de rendimiento sigma, se celebra una reunión en la cual cada dueño de proceso informa sobre el suyo y su respectivo comportamiento sigma. Generalmente éste tipo de reuniones tienen un efecto dramático sobre los asistentes y a veces, es cuando los gerentes ven por primera vez cómo se está comportando toda su organización.

¿Por qué es bueno realizar todo esto? Porque los gerentes ven que tienen que administrar de una manera distinta. En lugar de atender únicamente a los estados financieros o reducir personal para cumplir las metas de beneficios, la gerencia verá la necesidad de atender a la rectificación de aquellos procesos descontrolados que constituyen la totalidad de su organización.

Ver el Cuadro de conversión de Sigma y de la capacidad de proceso en la página siguiente. Cálculos realizados en base a un desplazamiento de la media de 1,5sigma (ISO 13053-2:2011).

0.- METODOLOGÍA 6-SIGMA

Calidad a Corto Plazo suponiendo proceso centrado				Calidad a Largo Plazo		
Índice de Capacidad (Cpk)	Calidad en sigmas ó Capac. Sigma a CP Z _{CP} ó Z _{BenchCP}	Rendimiento a CP (% de la curva dentro especifics)	DPMO fuera especifics a CP	Capac. Actual Z _{LP} ó Z _{Bench LP}	Rdto a LP	DPMO a LP (defectos por millón)
2,00	6	99,999998	0,002	4,5	99,99966	3,4
1,97	5,9			4,4	99,99946	5
1,93	5,8			4,3	99,99915	9
1,90	5,7			4,2	99,99870	13
1,87	5,6			4,1	99,99790	21
1,83	5,5			4,0	99,99680	32
1,80	5,4			3,9	99,995	48
1,77	5,3			3,8	99,993	72
1,73	5,2			3,7	99,989	108
1,70	5,1			3,6	99,984	159
1,67	5	99,999943	0,57	3,5	99,977	233
1,63	4,9			3,4	99,97	337
1,60	4,8			3,3	99,95	483
1,57	4,7			3,2	99,93	687
1,53	4,6			3,1	99,90	968
1,50	4,5			3,0	99,87	1.350
1,47	4,4			2,9	99,81	1.866
1,43	4,3			2,8	99,74	2.555
1,40	4,2			2,7	99,65	3.467
1,37	4,1			2,6	99,50	4.661
1,33	4	99,9937	63	2,5	99,38	6.210
1,30	3,9			2,4	99,2	8.198
1,27	3,8			2,3	98,9	10.724
1,23	3,7			2,2	98,6	13.903
1,20	3,6			2,1	98,2	17.864
1,17	3,5			2,0	97,7	22.750
1,13	3,4			1,9	97,1	28.716
1,10	3,3			1,8	96,4	35.930
1,07	3,2			1,7	95,5	44.565
1,03	3,1			1,6	94,5	54.799
1,00	3	99,73	2700	1,5	93,3	66.807
0,97	2,9			1,4	91,9	80.757
0,93	2,8			1,3	90,3	96.801
0,90	2,7			1,2	88,5	115.070
0,87	2,6			1,1	86,4	135.666
0,83	2,5			1,0	84,1	158.655
0,80	2,4			0,9	81,6	184.060
0,77	2,3			0,8	78,8	211.855
0,73	2,2			0,7	75,8	241.964
0,70	2,1			0,6	72,6	274.253
0,67	2	95,45	45500	0,5	69,1	308.700
0,63	1,9			0,4	65,5	344.478
0,60	1,8			0,3	61,8	382.089
0,57	1,7			0,2	57,8	420.740
0,53	1,6			0,1	54,0	460.172
0,50	1,5			0,0	50,0	500.000
0,47	1,4			-0,1	46,0	539.828
0,43	1,3			-0,2	42,1	579.260
0,40	1,2			-0,3	38,2	617.911
0,37	1,1			-0,4	34,5	655.422
0,33	1	68,27	317300	-0,5	30,2	697.700
0,30	0,9			-0,6	27,4	725.747
0,27	0,8			-0,7	24,2	758.036
0,23	0,7			-0,8	21,2	788.145
0,20	0,6			-0,9	18,4	815.940
0,17	0,5			-1,0	15,9	841.345
0,13	0,4			-1,1	13,6	864.334
0,10	0,3			-1,2	11,5	884.930
0,07	0,2			-1,3	9,7	903.199
0,03	0,1			-1,4	8,1	919.243
0,00	0			-1,5	6,7	933.193

(DPMO/10.000)= %error

Método DPMO

Método Defectos por unidades

El nivel Seis Sigma es una visión de Calidad que apunta a sólo 3.4 defectos por millón de oportunidades (DPMO) para cada producto o transacción de servicio.

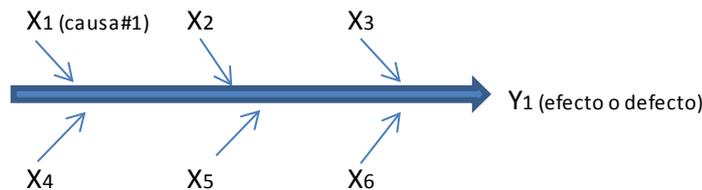
3.- ALINEACIÓN DEL SISTEMA: SEGUIMIENTO DE LAS Xs Y LAS Ys:

La "X" es la causa de un problema ó una de las muchas variables que afectan a un proceso de negocio y la "Y" es una salida o resultado del proceso.

Identificar y medir éstas X's e Y's críticas son tareas básicas para las organizaciones Seis-Sigma. Medirlas no es un fin en sí mismo. Las X's o causas tienen que relacionarse con las Y's críticas o efectos.

Los directivos 6-Sigma, por su parte, utilizan las medidas de los procesos, clientes y proveedores para emular a los ciclistas expertos que se anticipan a los problemas o responden instantánea y suavemente a los cambios que surgen a su alrededor.

Cuando se trabaja en un equipo 6-Sigma hay que ser consciente de los resultados que se espera conseguir (las Y's) y de qué factores pueden influir en que lo consiga (las X's). Prestar atención a éstos factores y a sus efectos te ayuda a concentrar los esfuerzos en los puntos estratégicos. Hay que enlazar las Y's con lo que realmente quieren mis clientes y no sólo con lo que yo creo que necesitan o con lo que más les conviene. (Y₁: salida o resultado de un proceso)



4.- LOS SEIS INGREDIENTES DEL 6-SIGMA:

Son seis los ingredientes críticos necesarios para conseguir el nivel 6-Sigma en una organización:

1.-Auténtica orientación al cliente: Hay que comprender los requisitos y procesos de nuestros clientes para luego poder ser capaces de satisfacerlos. La orientación al cliente es la máxima prioridad del 6-Sigma y la medida del rendimiento empieza y termina con la voz del cliente (VdC). Las mejoras Seis-Sigma se miden por su impacto en la satisfacción de los clientes y por el valor que les aportan.

2.-Gestión orientada a datos y hechos: Los equipos 6-Sigma arrojan luz sobre cuáles son los indicadores clave para medir el verdadero rendimiento empresarial; después, recogen y analizan los datos para conseguir un mejor entendimiento de las variables y procesos clave.

3.-Orientación a procesos, gestión por procesos y mejora de procesos: Tanto si se está diseñando un nuevo proceso o servicio, midiendo el rendimiento actual o mejorando la eficiencia o la satisfacción del cliente, Seis Sigma se centra en el proceso como elemento clave para conseguir cumplir los requisitos del cliente (los procesos de negocio clave de los cuales en gran medida depende la satisfacción de mi cliente). De ésta manera se podrán generar ventajas competitivas y proporcionar valor real a los clientes.

4.-Gestión proactiva: Ser proactivo significa adelantarse a los acontecimientos, lo contrario de ser reactivo. Apagar fuegos constantemente es un signo de que la organización está perdiendo el control. Es también un síntoma de que se está desperdiciando mucho dinero en retrabajos y en arreglos rápidos y caros.

Seis-Sigma proporciona las herramientas y las acciones necesarias para evolucionar de un comportamiento reactivo a una gestión proactiva, la cual consistiría en:

- tener hábito de fijar y seguir objetivos ambiciosos
- establecer las prioridades de forma clara
- recompensar a aquellos que previenen los fuegos, casi tanto como a los que los apagan
- cuestionarse siempre cómo se están haciendo las cosas
- desarrollar y potenciar la creatividad

5.-Colaboración sin fronteras: Acuñado en General Electric el término “boundarylessness” (desfronterización) hace referencia a la tarea de romper las barreras ó burocracias internas que impiden el flujo de ideas y acciones a lo largo y ancho de una organización, en pro del objetivo común de dar valor a los clientes.

Seis-Sigma demanda la utilización de los procesos en beneficio de todos y no sólo de uno ó dos departamentos. A pequeña escala, los equipo de mejora 6-sigma descubrirán y evaluarán a la organización sin fronteras.

6.-Búsqueda de la perfección, tolerancia cero a los errores: Se deben conseguir resultados sostenibles dentro del periodo de tiempo que el negocio nos marque. Habrá que aprender a gestionar el riesgo para invertir cierto tiempo en la toma de datos, cambiar el proceso aún cuando puede que a corto plazo esto me genere más problemas, intentar cosas nuevas,.....etc

Cualquier empresa que tenga como objetivo Seis-Sigma debe de estar preparada para sufrir algunos retrocesos a fin de aprender de ellos y así luego poder tomar las mejores decisiones.

Se obtendrán mejores resultados, y en menos tiempo, si su organización está dispuesta a admitir sus carencias y a aprender de ellas.

5.- LOS TRES MOTORES O PARTES DEL 6-SIGMA:

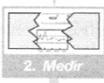
Cada una de las tres partes del 6-sigma se centra en los procesos de la organización. Éstas tres partes son la Mejora de procesos, Diseño (y Rediseño) de procesos y por último la Gestión por procesos.

5.1.- Mejora de procesos. Encontrar las soluciones deseadas: Se trata de encontrar soluciones que eliminen las causas raíz de los problemas de rendimiento de los procesos existentes en la compañía. Hay que eliminar las causas de variación del proceso pero dejando intacta su estructura básica. Los equipos de mejora de procesos han de encontrar las X's (causas) críticas responsables de las Y's (defectos) no deseadas que se producen en los procesos. Éste proceso llamado DMAMC consta de cinco etapas:

- Definir el problema y los requisitos del cliente**
- Medir los defectos y el funcionamiento del proceso**
- Analizar los datos y descubrir las causas de los problemas**
- Mejorar el proceso y eliminar las causas de los defectos**
- Controlar el proceso** para asegurarse de que los defectos no vuelvan a aparecer

5.2.- Diseño/Rediseño de procesos clave: Este camino se puede denominar Diseño Seis Sigma ("SSD: Six Sigma Design") ó Diseño para Seis Sigma ("DFSS: Design For Six Sigma") y siempre se ha de partir de los requisitos del cliente para luego ser validados por pruebas y datos objetivos. El diseño de procesos generalmente requiere de más tiempo y tiene un mayor riesgo de fracaso que la mejora de procesos ya existentes.

- Definir los requisitos del cliente y los objetivos del proceso/producto/servicio**
- Medir el rendimiento respecto a los requisitos del cliente**
- Analizar y evaluar el diseño del proceso/producto/servicio**
- Diseñar e implementar el nuevo proceso/producto/servicio**
- Verificar los resultados y mantener el rendimiento conseguido o marcado internamente**

Procesos de mejora Seis Sigma		
	Mejora de procesos	Diseño/Rediseño de procesos
 <p>1. Definir</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar el problema. • Definir los requisitos. • Establecer el objetivo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar problemas genéricos o específicos. • Definir el objetivo/cambiar la visión. • Clarificar el alcance y los requisitos de cliente.
 <p>2. Medir</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Validar el problema/proceso. • Redefinir el problema/objetivo. • Medir los pasos/entradas clave. 	<ul style="list-style-type: none"> • Medir el rendimiento respecto a los requisitos. • Obtener datos de la eficiencia del proceso.
 <p>3. Analizar</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar hipótesis sobre las causas. • Identificar las causas raíz («pocas vitales»). • Validar las hipótesis. 	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar las «mejores prácticas». • Evaluar el diseño del proceso: <ul style="list-style-type: none"> – Con valor/sin valor añadido. – Cuellos de botella/elementos inconexos. – Caminos alternativos. • Depurar los requisitos.
 <p>4. Mejorar</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar ideas para eliminar las causas raíz. • Probar las soluciones. • Estandarizar la solución/medir los resultados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Diseñar el nuevo proceso: <ul style="list-style-type: none"> – Poner a prueba las suposiciones. – Aplicar creatividad. – Principios de workflow. • Implantar los nuevos procesos, estructuras y sistemas.
 <p>5. Controlar</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer medidas estándar para mantener el rendimiento. • Corregir los problemas según sea necesario. 	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer medidas y revisiones para mantener el rendimiento. • Corregir los problemas según sea necesario.

5.3.- Gestión por procesos para el liderazgo Seis Sigma : Un aspecto de la estrategia de procesos DMAMC que se suele pasar por alto es que todos sus conceptos son también aplicables a la gestión de los propios procesos de la organización.

Esto requiere de cambios en la cultura y en la forma de gestionar la organización por parte de la dirección, dando una mayor importancia a la gestión de procesos que a la de centrarse en las funciones individuales de los diferentes departamentos internos de la empresa.

La gestión por procesos supone:

Definir los procesos, sus “propietarios” y los requisitos clave de cliente. En éste paso se organiza el equipo del proyecto, se prepara un cuadro, se determinan y verifican las necesidades y los requisitos de los clientes y finalmente se crea un diagrama de alto nivel del proceso actual.

Medir el rendimiento respecto a los requisitos de cliente y a los indicadores clave de los procesos. Se calcula el actual rendimiento sigma del proceso.

Analizar los datos para mejorar las mediciones y refinar los mecanismos de gestión de los procesos. Durante éste paso el equipo analiza los datos y el proceso en sí, lo que llevará finalmente a determinar las causas del mal rendimiento.

Mejorar: el equipo selecciona una serie de soluciones encaminadas a mejorar el rendimiento sigma.

Controlar el rendimiento a través de la monitorización continua de las entradas / operaciones / salidas y responder de manera ágil a los problemas y a las variaciones de los procesos. Aquí se aplica una serie de herramientas y técnicas al proceso mejorado con el fin de las mejoras no decaigan en el tiempo.

Habrá que centrarse en la totalidad de los procesos clave y no en un problema específico o en un nuevo diseño, de manera que se profundizará en el conocimiento de éstos procesos, de los empleados y de como no de los clientes. Para llegar a niveles 5-6 Sigma en todos nuestros procesos clave generalmente se tardan varios años, de entorno a cinco ó seis años.

Existe un gran paralelismo entre la evolución de los equipos 6-sigma de mejora de procesos y la evolución de la gestión directiva en una empresa. Cada equipo tendrá que definir cuáles son sus clientes y eliminar los defectos en los productos y servicios que les causan insatisfacción (mejora de procesos). La nueva solución o el nuevo proceso que se obtenga no sobrevivirá a menos que se asigne luego a alguien la tarea de monitorizar los resultados y mantener los beneficios. La fase de CONTROL del DMAMC es esencialmente una parte del esfuerzo global de gestión por procesos.

6.- LOS EQUIPOS 6-SIGMA COMO HERRAMIENTAS DE APRENDIZAJE:

Éstos equipos se constituyen para solucionar problemas específicos y mejorar los procesos, productos y servicios. Tras la finalización del proyecto, independientemente de si se consiguieron grandes beneficios o de si se alcanzaron los objetivos plenamente, los participantes deben de incorporar nuevas habilidades y formas de trabajar a su hacer habitual.

Los “champions” y altos directivos deberán de analizar éstos estudios de mejora DMAMC para, posteriormente aplicar todas éstas herramientas en sus propios procesos de gestión diarios. De ésta manera la organización evolucionará para alcanzar niveles de calidad 6-sigma en todos sus procesos clave, ser más dinámica, obtener más beneficios y conseguir una eficiencia y una lealtad sin igual por parte de sus clientes.

En resumen, el primer paso en la creación de la gestión del proceso mercantil es aclarar, precisar y comunicar los objetivos estratégicos del negocio. Una vez hecho esto **la administración debe identificar los procesos clave y medir su rendimiento actual en términos de eficacia y eficiencia.** Los procesos de peor comportamiento y de más fuerte impacto se deben escoger para las tácticas Seis-Sigma.

Con la técnica de gestión del Seis-Sigma se pueden conseguir reducciones radicales de costes, errores y plazos, simplificando los procesos, reduciendo su variabilidad/variación y fidelizando clientes a largo plazo. Además se promueve el aprendizaje interdisciplinar.

Se parte del cliente y de sus necesidades y se actúa sobre los procesos de manera científica y metódica, resolviendo los problemas endémicos y complejos. Toda la organización se ha de implicar en conocer y entender al cliente y en la excelencia operativa.

El uso práctico del 6-Sigma se ha revelado como una excelente forma de abordar las mejoras que, continuamente, suelen precisar los procesos de los negocios. Mejoras originadas por deficiencias en cómo se están prestando los servicios o por el aumento ó disminución de su demanda, que suele provocar la necesidad de redimensionar o reubicar los recursos dedicados. También se usa el 6-Sigma para el diseño de servicios nuevos por demandas emergentes del mercado o de cualquier otro actor de la actividad empresarial.

El 6-Sigma se está constituyendo como una cultura de gestión empresarial, incorporando el método estadístico en la toma de decisiones y fomentando, mediante técnicas de trabajo en grupo, un verdadero abordaje transversal de los procesos, de modo que se parta de lo que el cliente necesita y se concluya en una acción integral desde todos los departamentos de la empresa para atender ésa demanda.

Los proyectos de mejora de Seis-Sigma son los motores de los programas Seis-Sigma y son la clave fundamental para la implantación con éxito.

Los equipos, por sí solos, no pueden cambiar la estructura de una empresa, si bien han de formar parte de una estructura renovadora para ayudar en el rediseño de la organización.

En estos proyectos intervienen las siguientes figuras ó roles, cada una de las cuales tiene sus respectivas funciones:

- El **consejo directivo**: Está formado por los altos directivos de la empresa quienes han de estar en contacto directo con los equipos de mejora 6-Sigma. Desarrollan y ejecutan el plan de implantación de 6-Sigma en la empresa, fijando de alguna manera la dirección y el tono del esfuerzo 6-Sigma. Deben de:
 - o Elaborar el discurso que explique cómo se van a atender las necesidades de la empresa con 6-Sigma.
 - o Planificar y participar de forma activa en la implantación, implicando a todos.
 - o Crear una visión y un plan de marketing interno para vender 6-Sigma a los principales clientes internos.
 - o Convertirse en un defensor a ultranza
 - o Fijar objetivos claros
 - o Hacerse responsable del éxito o fracaso de 6-Sigma y trasladar también ésta responsabilidad a otros.
 - o Exigir medidas sólidas de los resultados, incluyendo defectos y rendimiento Sigma, mejoras en el tiempo de ciclo, reducción de costes y retrabajo. Otras medidas importantes pueden estar relacionadas con la retención de clientes y empleados, márgenes de beneficio y nuevas ventas de productos.
 - o Comunicar los resultados y contratiempos.

- **Champion o patrocinador del equipo/proyecto 6-Sigma**: Generalmente es un directivo a nivel ejecutivo que supervisa el proyecto 6-Sigma y es responsable frente al consejo directivo de su éxito. Ha de facilitar la dirección, implantación y despliegue de la filosofía 6-Sigma. Para el apoyo, guía y dirección del proyecto. Debe orientar al equipo sobre el camino a seguir y ayudarle a superar cualquier obstáculo dentro de la organización. Sin embargo, debe evitar tomar el mando del equipo o imponer soluciones. Sus responsabilidades incluyen:
 - o Justificar la necesidad de los proyectos de mejora y fijar sus objetivos para que estén alineados con las prioridades del negocio
 - o Estar preparado para los cambios
 - o Aconsejar y aprobar cambios tanto en el equipo como en el alcance del proyecto
 - o Conseguir recursos (tiempo, apoyo, dinero) para el equipo
 - o Defender el trabajo del equipo frente al consejo directivo
 - o Eliminar barreras burocráticas
 - o Trabajar junto con otros directivos para garantizar la implantación de la solución identificada por el equipo
 - o Aprender del equipo la importancia de una gestión basada en los datos, involucrándose directa y regularmente en el trabajo del equipo y así aprender a dirigir mejor la empresa.

Son los Champions y el resto de directivos, que tienen una visión más transversal de los proyectos y de la organización, los que pueden conseguir un mayor impacto al utilizar las herramientas y los métodos 6-Sigma para fortalecer el negocio.

- **El responsable de implantación o dueño del proceso:** Persona ó grupo de personas que gestionan (a poder ser a tiempo completo) día a día el esfuerzo 6-Sigma llevando a cabo todas éstas tareas:
 - o Apoyar al consejo directivo, comunicar el plan de implantación y ayudar en la selección y seguimiento de los proyectos.
 - o Identificar y reclutar a los actores importantes, incluyendo a la consultoría externa.
 - o Colaborar en la selección y desarrollo de los materiales de formación.
 - o Planificar y llevar a cabo la formación
 - o Apoyar a los Champions
 - o Documentar y reportar el progreso de la implantación
 - o Llevar a cabo planes de marketing internos para la formación y seguimiento de los equipos.

- **Master Black Belt** : Experto en técnicas 6-Sigma e implantación de proyectos. Juegan un papel importante en la formación, preparación y eliminación de barreras para la ejecución de proyectos, además de promover la mentalidad 6-Sigma. Son como el profesor de mayor rango que hacen como tutores de los Black Belt y se dedican a esto a tiempo completo. Deben tener la habilidad de comprender cuales son las filosofías y metas, de identificar rápidamente los problemas del proceso y así implementar las mejoras, aprueban la definición y el cierre de los proyectos.

- **Black Belt:** Es el jefe de equipo del proyecto 6-sigma para medir, analizar, mejorar y controlar los procesos clave que influyen en la satisfacción del cliente y/ó en el crecimiento de la productividad. Son posiciones dentro de la empresa de dedicación completa para personas que actuarán como consultores internos, con aptitud para la estadística, con interés para mejorar los procesos y preparadas para identificar los problemas del proceso e implantar las mejoras pertinentes. Ha de estar formado y cualificado en la metodología y herramientas del 6-sigma ya que es el responsable del éxito de los proyectos.

- **Green Belt:** son los miembros del equipo de mejora dedicados a mejorar, rediseñar y crear procesos de negocio eficientes y orientados al cliente. Es un puesto de funciones similares a las del Black-Belt pero no es un puesto de dedicación completa. Incluye a los nuevos asalariados que han de incorporar el 6-sigma a sus trabajos habituales, se han de enfocar en los proyectos de elevado impacto y que han de tomar al 6-sigma como parte de su desarrollo profesional. Tienen una formación y alcance en sus proyectos más reducida que la de los Black-Belt.

7.- EVOLUCIÓN DEL 6-SIGMA DENTRO DE GENERAL ELECTRIC. ¿Qué es el 6-sigma?

- a) Una medida de la calidad
- b) Un proceso para la mejora continua
- c) Un capacitador para la cultura del cambio
- d) Un mapa de ruta cuyo objetivo es impactar en el cliente

Es un programa de calidad fundamentado en la estadística, tratándose de una metodología rigurosa para mejorar el control de procesos y procedimientos. **SPC: "Statistical Process Control"**: Aplicación de métodos estadísticos para analizar datos, estudiar y monitorizar la capacidad y el desempeño de mi proceso a fin de asegurar la calidad de mis productos. Se emplea para monitorizar la estabilidad del proceso preferiblemente tras haber modificado el proceso a su estado deseado.

Se sustituye la preocupación de tener que controlar el producto terminado por el interés de prevenir la aparición de defectos:

- Midiendo la aptitud de mi proceso para dar productos conformes
- Combatiendo la variabilidad con el fin de obtener procesos estables en el tiempo

Se basa en el empleo de Gráficos de Control que dependen del tipo de característica a estudio y de la naturaleza del proceso.

Hacer que los clientes perciban la calidad 6 sigma:

La globalización y el acceso instantáneo a la información, productos y servicios han cambiado el modo en el que nuestros clientes llevan a cabo sus negocios- los modelos antiguos de negocio ya no funcionan. Debemos encantar a nuestros clientes y buscar sin descanso nuevas maneras para superar sus expectativas. Éste es el motivo por el cual la Calidad 6 sigma se ha convertido en una parte de la cultura empresarial de numerosas compañías.

¿Qué es el 6-sigma?

Lo primero es saber qué no es. No se trata de una sociedad secreta, un eslogan ó un cliché. Seis Sigma es un proceso altamente disciplinado que nos ayuda a centrarnos en el desarrollo y entrega de productos y servicios casi perfectos.

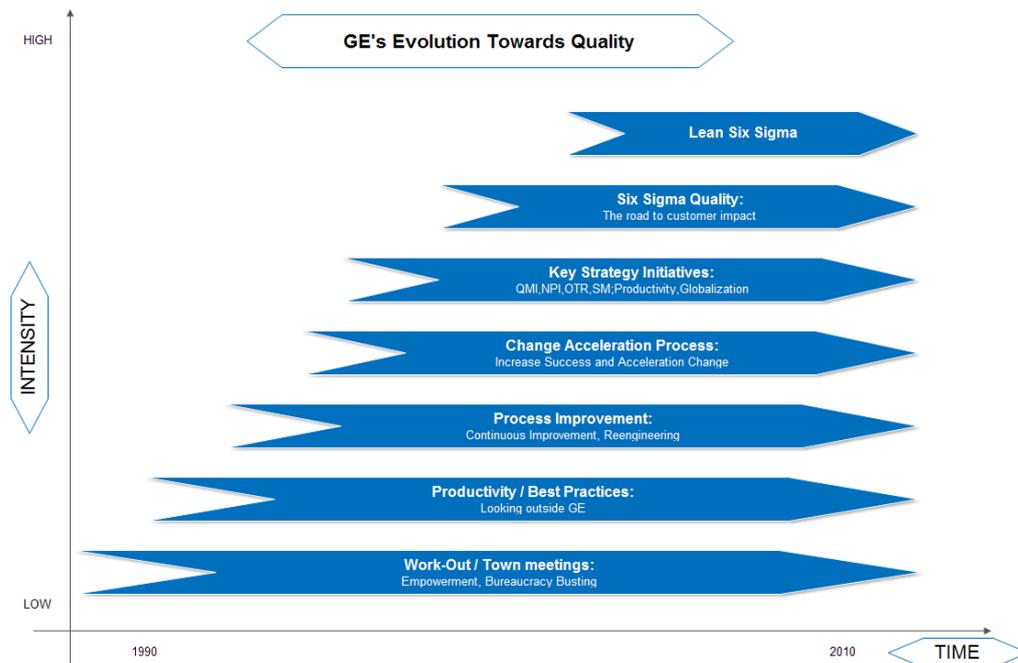
¿Por qué Sigma? La palabra es un término estadístico (σ : desviación estándar de una población o proceso--- dispersión o spread) que mide cómo de desviado está un proceso ó procedimiento dado de la perfección. Dice cuánta variabilidad hay en el grupo de elementos que conforman la población. **Cuanta más variación haya mayor será la desviación estándar.** Se usa para designar la distribución, envergadura o dispersión alrededor de un valor central promedio (media) de cualquier proceso o procedimiento.

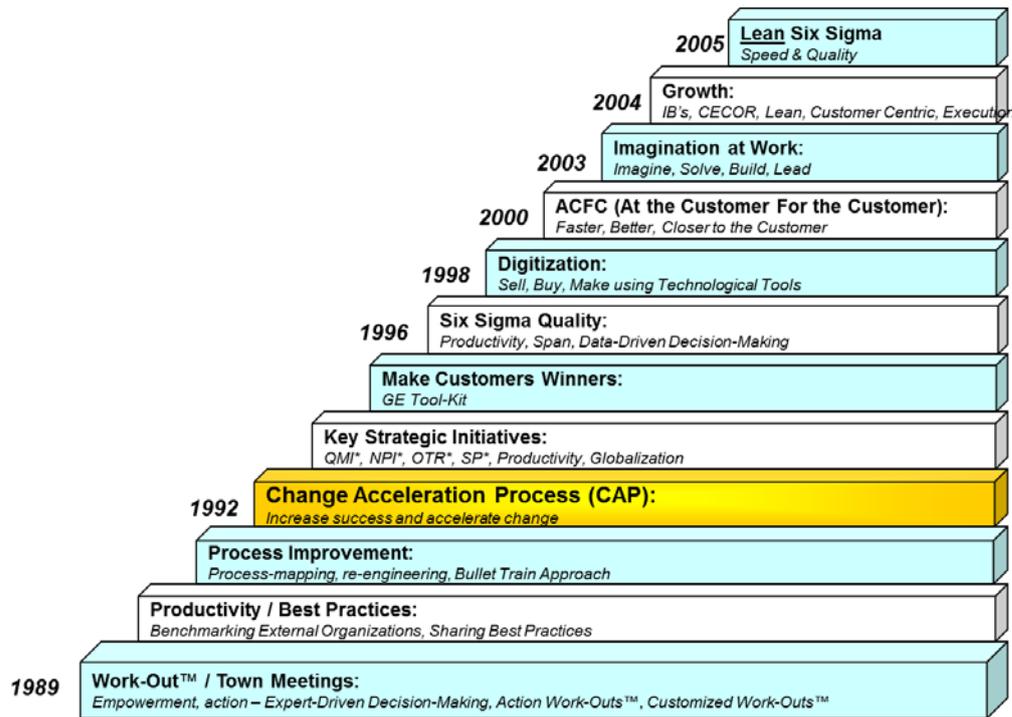
Todo proceso de negocio o de fabricación tiene una **capacidad sigma (valor-z, $Z(\sigma)$ ó rendimiento)** que no es más que una métrica que nos indica cómo de bien se está comportando el proceso y que se calcula en base a datos estadísticos. **Cuanto mayor sea la capacidad sigma menor será la cantidad de defectos**, es decir, mide la capacidad del proceso para comportarse como un trabajo libre de defectos.

La idea central detrás del 6 sigma es que si se puede contabilizar cuantos defectos tienes en un proceso, sistemáticamente se puede averiguar cómo eliminarlos y cómo acercarse a los "cero defectos" tanto como se pueda. En los proyectos 6-sigma tanto la media como la variación han de ser lo mejor posible.

La evolución de GE hacia la calidad :

GE comenzó a moverse hacia la calidad como foco central a finales de los 80. Los trabajos en equipo fueron el inicio de su viaje y abrieron su cultura a ideas de toda persona y lugares, diezmaron la burocracia e hicieron del comportamiento sin fronteras una parte natural y reflexiva de su cultura, de éste modo creando un ambiente de aprendizaje que les llevó al Seis Sigma. Ahora el Seis Sigma es a su vez una mezcla de pensamiento tanto en calidad como en proceso en cada nivel y en cada operación de la compañía a lo largo del globo. Los trabajos en grupo definieron en los 80 el comportamiento de GE. Hoy el Seis Sigma ha sentado las bases de cómo trabajar a fin de que el cliente lo sienta.

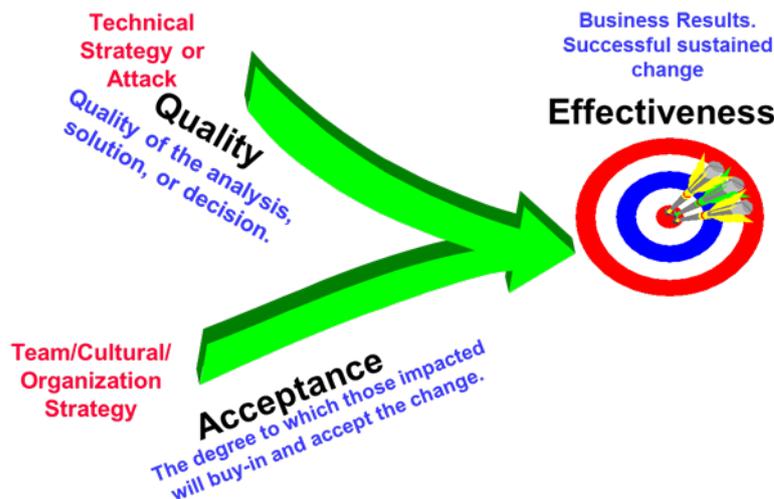




La cultura del cambio de GE, un viaje que continúa. GE usa el cambio como una ventaja estratégica y competitiva. Optimiza la efectividad del cambio. Crea una cultura de gestión/manejo del cambio.

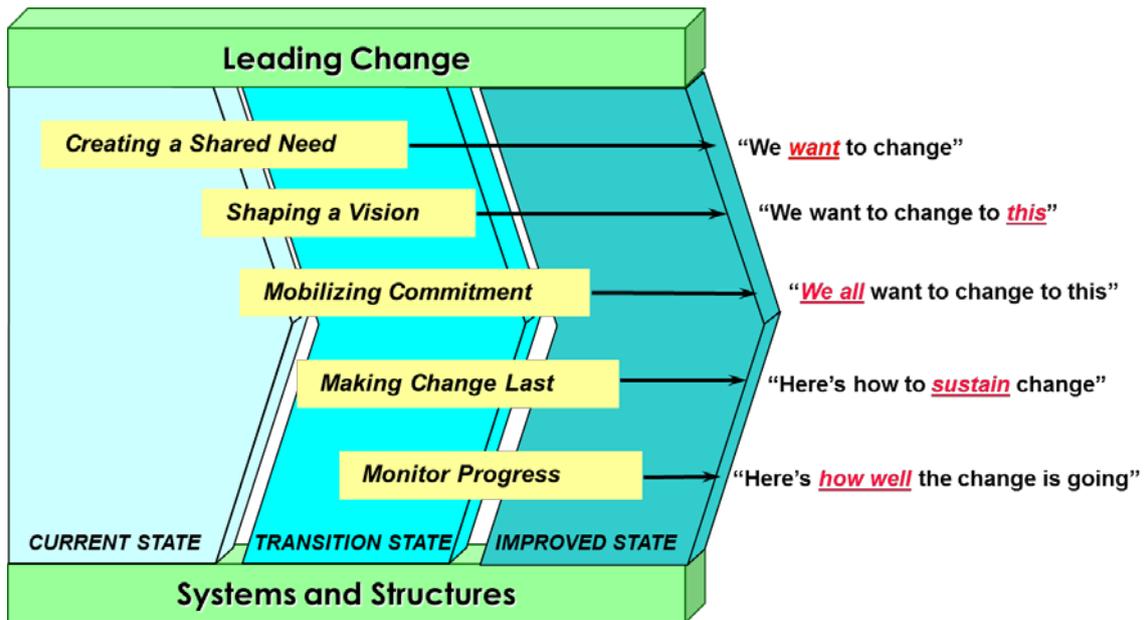
MODELO DE MEJORA DE PROCESO EN GE: Para mejorar el proceso dispongo de:

- Mecanismos de apoyo o llamados CAP (Change Acceleration Process). CAP Tools.
- Soluciones técnicas: 6-sigma, Lean Manufacturing,etc.



CALIDAD x ACEPTACIÓN = EFECTIVIDAD

Si multiplico la Calidad de la solución 6-sigma por su Aceptación dentro de la organización obtendré la Efectividad.



El modelo CAP de GE con sus 7 elementos. Acelerando el cambio.

Hay que tener un Champion que promueva, lidere o esponsorize el cambio. Hay que asegurarse que las prácticas de la dirección sean usadas para complementar y reforzar el cambio.

Crear una necesidad compartida: La razón para cambiar ha de surgir de dentro de la organización y la necesidad del cambio ha de superar a la resistencia al mismo.

Darle forma a una visión: El resultado deseado del cambio es claro, legítimo y conformado en términos de comportamiento.

Movilizar el compromiso de la gente: Debe de haber un gran empeño por parte de los constituyentes clave para invertir en el cambio. Ellos mismos acuerdan cambiar su propio comportamiento para sí apoyar el cambio.

Hacer que el cambio perdure: Una vez que se inicie el cambio, que éste permanezca, florezca y que el conocimiento adquirido se transfiera a la lo largo de toda la organización.

Monitorizar el progreso: El progreso ha de ser real, se ha de establecer y completar un análisis del mercado; se deben de establecer los indicadores que sean necesarios para garantizar el control.

Sistemas y Estructuras: Asegurarse de que las prácticas habituales de gestión sean usadas correctamente para complementar y reforzar el cambio.

Elementos clave de la Calidad...el cliente, el proceso y el empleado

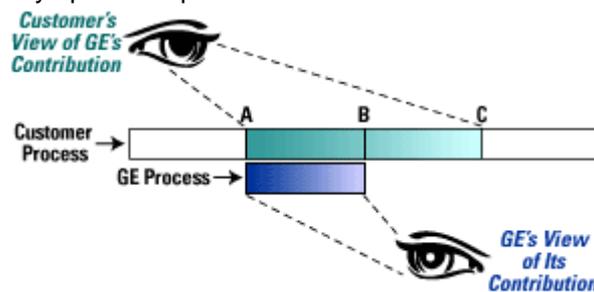
Todo lo que hay que hacer para permanecer como una compañía modelo en lo que a la calidad se refiere es centrarse en éstos tres elementos esenciales.

...el Cliente

Entusiasmar a los clientes: Los clientes son el centro del universo de GE; ellos definen la Calidad. Ellos esperan rendimiento, fiabilidad, precios competitivos, entregas en plazo, servicio, procesamiento correcto y claro de las transacciones y mucho más. En cada cualidad o atributo que influya en la percepción del cliente, GE sabe que simplemente ser bueno no es suficiente. Entusiasmar a nuestros clientes es una necesidad ya que si no lo hacemos nosotros alguien más lo hará.

...el Proceso

Pensamiento de fuera hacia dentro: La Calidad requiere que miremos a nuestro negocio desde la perspectiva del cliente, no desde la nuestra. En otras palabras, debemos de mirar a nuestro proceso desde fuera hacia adentro. Entendiendo el ciclo de vida de la transacción desde las necesidades y procesos del cliente, podremos descubrir lo que ven y sienten. Con éste conocimiento podremos identificar áreas de valor donde una mejora significativa será ineludiblemente percibida y apreciada por el cliente.



...el Empleado

Compromiso hacia el liderazgo: Las personas son las que generan resultados. Involucrar a todos los empleados es esencial para el acercamiento hacia la Calidad de GE. GE está comprometido a dar oportunidades e incentivos para que sus empleados centren sus talentos y energías en satisfacer a sus clientes.

Todos los empleados de GE son entrenados en ésta estrategia, en las herramientas estadísticas y en las técnicas de la Calidad Seis Sigma. Se ofrecen cursos a varios niveles:

- Seminarios para una visión general de la Calidad: conocimiento básico del 6 sigma.
- Formación de equipos: introducción básica de las herramientas para equipar a los empleados y así puedan participar en los equipos 6 sigma.
- Maestro de cinturón negro, cinturón negro y cinturón verde (Master Black Belt , Black Belt y Green Belt). Formación de Calidad a fondo que incluye herramientas estadísticas de alto nivel, herramientas básicas de control de la Calidad, Proceso de aceleración del Cambio y herramientas del Flujo tecnológico.
- Diseño para 6 sigma (DFSS): prepara a los equipos para el uso de las herramientas estadísticas para diseñar las cosas de forma correcta y a la primera.

La Calidad es responsabilidad de cada empleado de forma individual. Cada empleado debe de involucrarse, motivarse y estar bien informado si es que vamos a tener éxito.

La estrategia del Seis Sigma:

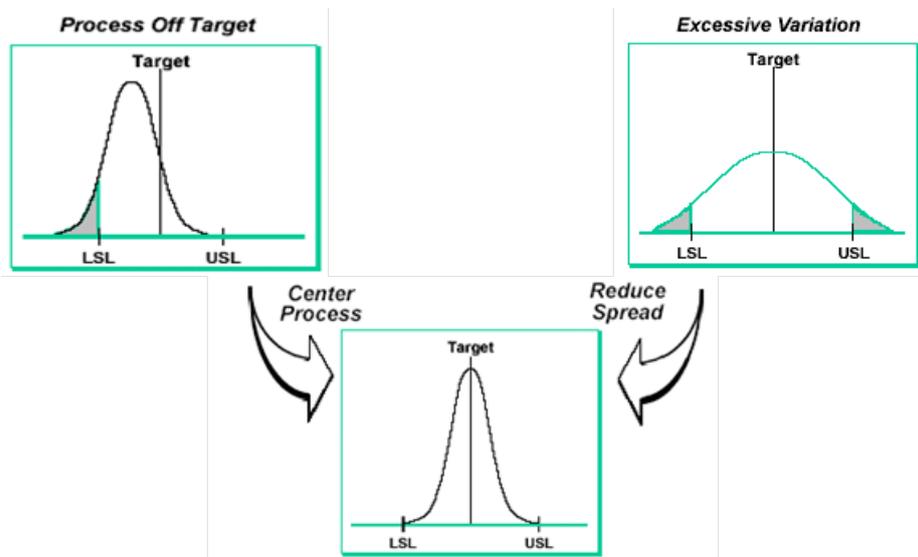
Para conseguir una Calidad 6 sigma a corto plazo, un proceso debe de producir no más de 3,4 defectos por millón de oportunidades. Una oportunidad (de error) se define como una posibilidad de incurrir en No-conformidad, o no cumplir las especificaciones requeridas. Esto significa que necesitamos ser casi perfectos a la hora de ejecutar nuestros procesos clave. El 6 sigma es una visión hacia la que orientarse y una filosofía que forma parte de la cultura empresarial de GE.

Conceptos clave del 6 sigma: En el fondo el 6 sigma gira en torno a unos pocos conceptos clave:

- Parámetro Crítico para la calidad (CTQ: Critical To Quality): Atributos de mayor importancia para el cliente
- Parámetro Crítico para el Proceso (CTP: Critical To Process): Atributos de mayor importancia para nuestro proceso
- Defecto: fallar en la entrega de aquello que quiere el cliente. Es cualquier cosa que da lugar a una insatisfacción del cliente.
- Oportunidad: evento medible que proporciona una posibilidad de no cumplir las especificaciones del cliente (CTQ's)
- DPMO: defectos por millón de oportunidades.
- Capacidad de Proceso: Lo que puede dar de sí nuestro proceso. El nivel de capacidad sigma aceptable depende del propio proceso y de las expectativas del cliente.
- Variación/Dispersión: lo que siente y ve nuestro cliente. Puede darse debido a la existencia de causas comunes (siempre presentes) o causas especiales (no siempre presentes). Cuanto menor sea mejor.
- Operaciones estables: asegurar procesos consistentes y predecibles a fin de mejorar lo que ve y siente nuestro cliente, su percepción de nosotros.

Nuestros clientes sienten más la Variación σ , no la media

A menudo, nuestra visión de dentro hacia afuera del negocio se basa en la media o en medidas en base a la media de nuestro pasado reciente. Los clientes no nos juzgan acerca de las medias, ellos sienten la variación en cada transacción, en cada producto que se les envía. **El 6 sigma se centra primero en reducir la variación del proceso y luego en mejorar la capacidad del proceso.** Los clientes valoran procesos de negocio consistentes y predecibles que puedan entregar altos niveles de Calidad. Esto es lo que el 6 Sigma se esfuerza por conseguir, su objetivo real estadístico.



El propósito de 6-Sigma es reducir la variación para conseguir desviaciones estándar muy pequeñas, de manera que prácticamente la totalidad de sus productos o servicios cumplan, o excedan, las expectativas de los clientes.

Siempre habrá alguna variación en el proceso pero lo que realmente importa es saber si esa variación hará que los productos ó servicios incumplan, por exceso o por defecto, los requisitos de mi cliente.

El compromiso de GE hacia la Calidad

El éxito de GE con el 6 Sigma ha superado con creces sus predicciones más optimistas. A lo largo de toda la compañía, los diversos clientes agradecen esta metodología del 6 sigma centrada en ellos y la filosofía que se fundamenta ó sustenta en el análisis de datos y la cual se aplica a todo lo que GE hace. GE construye sobre éstos éxitos, compartiendo las mejores prácticas entre todos sus distintos negocios y con la búsqueda de las mejores y más rápidas soluciones para sus clientes.

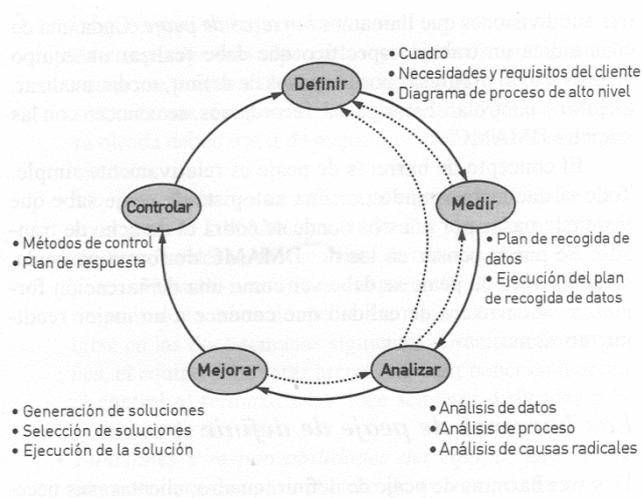
Modelos de mejora de procesos y enfoques con respecto a la Calidad: La capacidad de un proceso necesita ser mejor que lo que uno piensa. A veces un simple 1'1% de error = 11.000 DPMO (3,8 σ a corto plazo) no resulta suficiente para la actividad sometida a estudio.

El **6 sigma** proporciona un enfoque en base al proceso encaminado a la mejora continua. Se trata de una visión de la Calidad que equivale a tan **sólo 3,4 defectos por millón de oportunidades para cada producto o servicio** (calidad 6sigma a Corto Plazo). Metodología que se esfuerza por la perfección.

Es independiente de las mediciones involucradas y puede ser usado para mejorar cualquier proceso del negocio. Existen tres posibles rutas a elegir:

- 1) Control mejorado DMAMC (en inglés DMAIC).

En general éste proceso es adecuado y los problemas suelen recaer en la variación. Proyectos 6 sigma para mejorar procesos ya existentes y reducir su variación. Se trata de un proceso para la mejora continua sistemático, científico y en base a hechos. Éste proceso de ciclo cerrado elimina los pasos improductivos, a menudo se centra en nuevas mediciones y aplica la tecnología existente para conseguir mejoras.



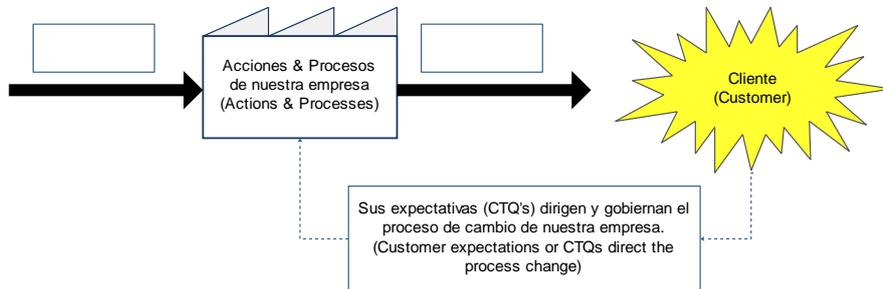
- 2) Rediseño de Procesos DMADV (en inglés DMADV).

Aquí normalmente lo que hay que mejorar es la media ya que existe un problema estructural relacionado con el proceso.

- 3) Diseño, creación e implementación de nuevos procesos. Diseñar Para Seis Sigma DPSS (en inglés DFSS).

Desarrollo y creación de nuevos procesos con capacidades objetivo de 6 sigma.

Es una metodología sistemática que utiliza herramientas, formación y mediciones para capacitarnos a diseñar productos y procesos que cumplan con las expectativas del cliente en condiciones ó niveles 6 sigma de Calidad. Diseñar para cumplir con la necesidades y capacidades de proceso requeridas por el cliente.

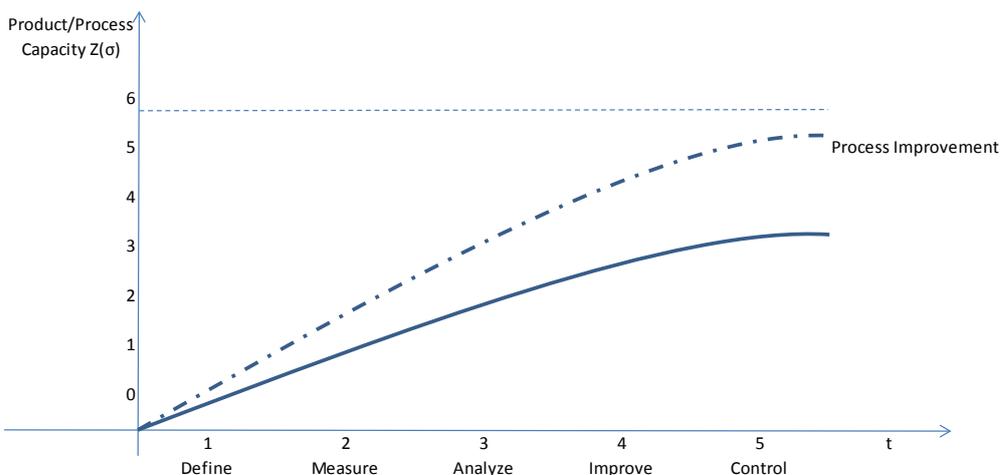


Entre las expectativas podrían mencionarse:

- Mejora de métodos en el trabajo. Concretamente GE tiene un servidor global donde se almacenan todos los proyectos 6 sigma realizados hasta la fecha (llamado QPTS: Quality Projects Tracking System) para consulta por parte de cualquiera de sus empleados.
- Mejora de herramientas y técnicas.
- Aplicación al trabajo.
- Herramientas para mejorar procesos, métodos y productos.
- Que se implante como una metodología de trabajo.
- Que se sepa dónde se encuentran éstas herramientas
- Que se cumpla con los requisitos establecidos
- Que se sepa acerca del 6 sigma

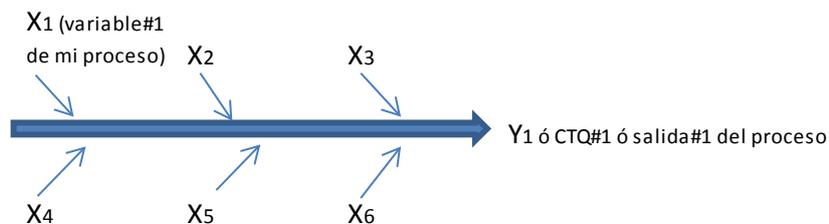
Limitaciones del Seis Sigma:

- Un proceso perfecto es un proceso con cero defectos.
- Los procesos no son del todo estables (se rompen o interrumpen, su variación no es del todo controlables,....etc)



Como ya hemos comentado anteriormente el “6 sigma” se trata de un proceso cíclico de **MEJORA CONTINUA**, fundamentado en aspectos como:

- Todo puede considerarse como un proceso.
- La disciplina funcional viene dada por el método 6-sigma y sus cinco fases DMAMC (DMAIC en inglés).
- Alta calidad de documentos y planos
- Mejor formación y gestión de los recursos
- Auditorías más severas
- Mejoras continuas del 6 Sigma. Sería en la cuarta fase de Mejorar del 6-sigma donde las mejoras entran en juego.
- Siempre existe una **CORRELACIÓN** entre la CTQ ó Y a mejorar de cara a mi cliente y los distintos parámetros o variables intrínsecas a a mi proceso. $Y=f(X1,X2,\dots,Xn)$.
- Datos: cualquier aprendizaje empieza desde aquí, desde la obtención y **MEDICIÓN** de datos.
- Empleo de programas estadísticos para el **ANÁLISIS** de los datos obtenidos. Concretamente GE emplea el MINITAB, programa comercial que trabaja con distribuciones normales de datos estadísticos.



Hay que **FACILITAR el cambio**. Antes del análisis 6σ era difícil lograr mejoras duraderas a largo plazo quedando los enfoques en enfoques puramente internos, de puertas para adentro. Se realizaban Paretos de los síntomas, percibidos como causas de las piezas fuera de especificación, a fin de implementar mejoras únicamente a corto plazo.

Ahora con el **análisis del 6σ** :

- El enfoque siempre va dirigido hacia el cliente.
- Hay que descubrir las relaciones cuantitativas entre las variables a mejorar y las salidas del proceso.
- Hay que desarrollar e implementar planes de control.

Se trata de un cambio duradero gracias a los controles que hay dentro del propio proceso. Es un enfoque totalmente distinto que facilita el cambio.

Se trata de una cultura de la Calidad:

- Se recogen datos de las mejoras requeridas (auditorías internas y externas, se miden procesos y productos, se obtiene un “feedback” del Cliente, se hace un análisis de las causas raíces)
- Mejora de procesos mediante el 6 sigma
- Se consigue un cambio duradero y para ello las mejoras tienen que estar incluidas en el sistema de calidad.

8.- Resumen de la metodología 6-sigma según la ISO 13053:2011, partes 1 y 2:

- **ISO 13053-1:** Métodos cuantitativos de la mejora de procesos: 6 sigma Parte1: Metodología DMAIC.
- **ISO 13053-2:** Métodos cuantitativos de la mejora de procesos: 6 sigma Parte2: Herramientas y técnicas.

El término 6-sigma, patentado por Motorola, se trata de una iniciativa desarrollada para los negocios y organizaciones que busquen tener una ventaja competitiva frente a su competencia y consta de una serie de prácticas para:

- Dirigir la mejora continua del proceso y tomar decisiones fundamentadas en la estadística.
- Medir los resultados del negocio con un cierto nivel de confianza
- Computación de la incertidumbre y del error
- Combinar altos retornos y beneficios a corto, medio y largo plazo
- Eliminar el desperdicio de cualquier proceso

La puntuación sigma (Z_{value}) es un indicador de la calidad del proceso que expresa el desempeño del proceso en términos de habilidad para entregar un producto o servicio que cumpla las especificaciones y expectativas del cliente. Está directamente relacionado con

- La proporción de resultados buenos o positivos de un proceso (rendimiento o “yield”)
- La proporción de resultados pobres o negativos del proceso (% , PPM o DPMO)

Causa común: fuente de variación del proceso que es inherente al propio proceso a lo largo del tiempo. Las demás causas serían las Causas Especiales (ó Asignables) las cuales se deben a factores excepcionales conocidos.

CTQC: (“Critical to quality characteristics”) Características críticas para la Calidad: Requisitos de desempeño de calidad que deben de cumplirse para satisfacer al cliente.

Defecto: incumplimiento de un requisito relativo a un uso específico

Oportunidad de defecto: cualquier hecho medible que pudiera producirme un posible defecto

Unidad defectuosa: unidad con uno o más defectos

DOE (“Design of Experiments”): metodología sistemática para recoger información con la que guiar la mejora de cualquier proceso (modelos estadísticos, herramientas de simulación y optimización para verificar y confirmar determinadas mejoras)

Entrada o Input: fuentes o datos o ambos requeridos para ejecutar un proceso

MSA (“Measurement System Analysis”): serie de estudios que explica cómo funciona un sistema de medición. Hay que validar los sistemas de medición para asegurar consistencia y estabilidad de los datos.

Objetivo: valor deseado/objetivo de un proceso determinado por el cliente

Salida ó Output: productos o servicios generados a lo largo de un proceso

Símbolos tratados en ésta normativa ISO:

- C: nº defectos (no conformidades)
- d: exactitud (asociada al intervalo de confianza)
- L: límite inferior de la especificación. U: límite superior.
- N: tamaño de la población.
- n: tamaño de muestra.
- P: proporción.
- r: coeficiente de correlación.

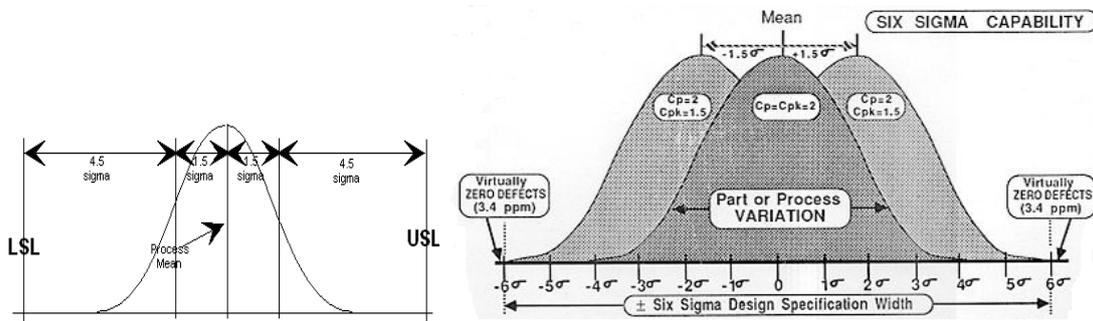
$\hat{\sigma}$: *desviación estándar estimada para la población*

- s: desviación estándar de la muestra.
- X: variable independiente aleatoria. \bar{X} : *valor medio de X.*
- Y: variable aleatoria dependiente. \bar{Y} : *valor medio de Y.* \hat{Y} : *valor predecido de Y.*

DEFINIR: Declaración del proyecto (descripción del problema y de su impacto económico) y de los aspectos identificados como erróneos o defectuosos. El alcance y objetivos del proyecto deben de definirse tanto en términos operacionales como económicos.

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - Modelo de costes de mala calidad. - benchmarking. - identificación del desperdicio. - diagramas Gantt para planificar el proyecto. - Declaración del proyecto y análisis de riesgos. - Indicadores 6 sigma. - diagrama SIPOC. - diagramas de flujo. - diagramas de Pareto. - lista de los requisitos CTQC (critical to quality characteristics) - Estimación de los beneficios. - Revisión del proyecto. | <ul style="list-style-type: none"> - Diagrama de Afinidad. - modelo Kano. - Casa de la Calidad. - Retorno inversión, costes y responsabilidades. - expectativas de terceras partes, encuestas éticas. - Quejas de clientes, encuestas de mercado. - Cuadro del proyecto. - Matriz RACI de competencias. - Análisis de riesgos del proyecto. - Mapa de proceso y de datos del proceso. |
|--|---|

Con el paso del tiempo generalmente en los procesos 6-sigma se da un descentramiento de 1,5 desviaciones típicas en el valor medio μ de la población. (μ^* : posición descentrada del proceso o valor medio descentrado de la población. Un nivel sigma de 6 está realmente a 4'5 desviaciones típicas del valor medio). La compensación de $1,5\sigma$ ($=6\sigma-4,5\sigma$) es el valor de desplazamiento teniendo en cuenta la variación de la medición entre CP y LP. Desplazando la campana los 1,5 sigmas tendríamos la distribución estándar normalizada $Z_{LP}=4'5$ con 3,4 DPMO_{LP}.



Objetivos:

- Identificar los requisitos y expectativas de los clientes o accionistas.
- Identificar la voz del cliente (CTQC).
- Seleccionar al equipo del proyecto.
- Desarrollar un mapa de proceso SIPOC, visualizar los datos (Pareto).
- Crear un cuadro del equipo.

Paso1 de Definir: Identificar a los clientes, entender sus exigencias y traducirlas a requisitos medibles. Establecer los objetivos de mejora.

Paso2: Definir y establecer los objetivos del proyecto para el equipo: fechas de cada hito, intereses, restricciones, riesgos, retorno de la inversión, competencias y alcance del proyecto.

Paso3: Caracterizar la actividad o proceso.

MEDIR: Desarrollar un programa para la recolección de datos, recopilar datos, evaluar datos y crear una referencia del rendimiento actual del proceso. Datos de aquellas variables que supuestamente influyen en el problema. Antes hay que evaluar la eficacia de los procesos de medida, los cuales me han de dar datos con el nivel requerido de precisión y repetividad.

- | | |
|---|--|
| - MSA para todo CTQC. | - voz del cliente (casa de la calidad,...etc). |
| - plan de recolección de datos. | - Voz de terceras partes (medio ambiente, sociedad...) |
| - determinación de tamaños muestrales. | - Diagrama de árbol para las CTQ |
| - DPMO. | - Matrices de priorización. |
| - Ensayos para determinar las distribuciones de probabilidad. | - diagramas de causa efecto. |
| - gráficas de tendencias. | - Brainstorming. |
| - Gráficas de control. | - FMEA. |
| - histogramas. | |
| - análisis de capacidad y/o rendimiento de los procesos afectados. | |
| - revisión del proyecto. | |
| - Tests de normalidad y transformación de distribuciones no-normales. | |
| - Representación gráfica de los datos: histogramas, box-plots, paretos, gráficas de corridas. | |
| -Cuadro del proyecto: comparar los objetivos iniciales con los indicadores | |

$$Y_{DPMO} = 3,4 = \frac{c}{n_{units} \cdot n_{CTQC}} \cdot 1000000 \quad \text{de aquí calculo mi nivel 6sigma o } Z_{value}$$

c: nº de defectos o no-conformidades.

n_{units}: nº de unidades inspeccionadas.

n_{CTQC}: nº de características críticas.

Objetivos:

- Visualizar los datos mediante gráficas de tendencia, histogramas,....
- Determinar la línea base de desempeño para el proceso actual a fin de reforzar al objetivo del proyecto.

Paso1 de Medir: Obtener los requisitos medibles (Y) y seleccionar una o más variables críticas (X) a mejorar.

Paso2: Definir los datos a recoger para señalar/indicar con precisión los elementos (X) que me generan variación en mi proceso.

Paso3: doble chequear el estado de forma de las métricas seleccionadas mediante MSA.

Paso4: Desarrollar un plan estratificado de recolección de datos.

Paso5: Entender y validar los datos.

Paso6: Medir el desempeño del proceso y/o la capacidad del proceso.

Paso7: Confirmar o reajustar los objetivos de mejora.

ANALIZAR: Identificar los desajustes entre el rendimiento de referencia y los objetivos, comprender las causas raíz de la variabilidad y priorizar las oportunidades de mejora. Los datos de la fase medir deben de ser analizados en detalle con las herramientas estadísticas apropiadas para identificar los KPIV significativas (key process input variable). Ciertos hallazgos en ésta fase me podrían conducir a reinterpretar el problema y redefinir el proyecto.

SALIDAS:	
- diagramas causa efecto.	- Histogramas.
- AMFE de proceso.	- Gráficas/diagramas de dispersión ("scatter").
- Análisis del árbol de fallos.	- Gráficas de evolución.
- 5 por qué	- Ishikawa's
- MSA	- lista KPIV's significativos.
- determinación de tamaños muestrales	- Análisis del valor añadido e identificación de desperdicios.
- Ensayos para la determinación de las distribuciones de probabilidad.	- Revisión del proyecto.
- Ensayos de hipótesis.	- Capacidad a CP y LP. Intervalos de confianza.
- ANOVA.	- Análisis multivariante.
- Análisis de regresión lineal y correlación.	- Análisis de residuales.
- DOE	- Pruebas de estadística no paramétrica.
- Análisis de Capacidad.	- Análisis de Weibull
- Análisis de Pareto.	- Análisis de desperdicio.
- Diagramas de Cajas.	- Análisis de la cadena de valor (Value stream analysis).
- Modelizado de la entrega de los servicios (análisis del proceso de servicios).	
- Mapeado del proceso.	
- Diagrama de corridas (Run Chart)	

Objetivos:

- Identificar desperdicios
- Identificar impactos medioambientales o sociales negativos
- Seleccionar y enumerar por orden de prioridad las variables clave de proceso (X)
- Establecer relaciones entre X e Y
- Validar la causa raíz (X) que afecta a la Y
- Estimar los puntos débiles del diseño actual

Paso1 Analizar: Analizar el proceso para señalar con precisión las actividades que no añadan valor o que necesiten ser mejorar.

Paso2: Representar los potenciales nexos de unión entre X e Y.

Paso3: Cuantificar el impacto de las variables X clave del proceso y sus interacciones potenciales.

Paso4: Refinar el impacto ya determinado de las variables clave de proceso mediante un método experimental que me ayude a encontrar nuevos factores.

MEJORAR: Establecer una mejora robusta para el proceso. Objetivos de ésta etapa:

- Implementar sistemas a prueba de error en ciertas operaciones.
- Empleo de técnicas de optimización.
- Hacer robustos los procesos frente a las variables de ruido con DOE's.
- Identificar obstáculos a la implementación de la solución.
- Herramienta "matrices de selección de soluciones".

SALIDAS:

- matriz de selección de soluciones.
- métodos a prueba de error.
- determinación tamaños muestrales.
- DOE superficie de respuesta.
- DOE parámetros de diseño.
- AMFE proceso actualizado.
- Estudios de capacidad y/o de los índices de rdto del proceso inicial.
- Diagrama de proceso modificado.
- Relación actualizada de las CTQC.
- Indicadores 6-sigma.
- Revisión del proyecto.
- Matrices de priorización y otros métodos de toma de decisiones.
- Herramientas de planificación de proyectos: Diagrama Gantt, esquema del proyecto
- Herramientas de gestión de recursos (matriz RACI,.....)
- Experimentos factoriales completos.
- Experimentos factoriales fraccionados.
- EVOP.
- Análisis de Regresión múltiple.
- Análisis de campos de fuerza.
- Mejoras piloto.
- Validación de mejoras.
- Visualización de la Estadística Descriptiva
- Brainstorming.
- Fiabilidad.

Objetivos:

- Identificar y seleccionar soluciones.
- Planear y desarrollar un test o prueba piloto (DOE)
- Desarrollar una solución robusta (actualizando el FMEA)
- Implementar las soluciones seleccionadas

Paso1 Mejorar: Determinar el objetivo del proyecto.

Paso2: Generar ideas/rediseños para la solución.

Paso3: Comprobarlo/Ensayarlo.

Paso4: Evaluar los riesgos.

Paso 5: Seleccionar la solución.

Paso6: Organizar el despliegue de la solución.

Paso7: Implementar la solución.

CONTROLAR: La efectividad de la solución debe de confirmarse a través de la recolección y análisis de los nuevos datos. Plan de control del proceso en curso. Auditar el proceso mejorado a los 6 meses de finalizado el proyecto.

SALIDAS:

- planes de control de proceso (documentados).
- relación actualizada de las CTQC.
- Análisis adicionales de los sistemas de medida.
- Gráficas de control
- evolución de capacidad de proceso.
- 5S
- TPM
- Costes financieros reales versus costes esperados
- Revisión del proyecto VS objetivos establecidos en la declaración del proyecto
- Control Estadístico de proceso para datos (tipo atributo o tipo continuos). Representaciones gráficas.
- redacción de los procedimientos del proceso
- Cálculo de las ganancias obtenidas
- Encuestas de satisfacción.
- Evaluar ganancias y riesgos potenciales a lo largo de otros negocios.
- Revisión del proyecto y retroalimentación en base a la experiencia.
- Reportar los logros en internet, intranet,..
- Métodos a prueba error
- Planes a LP de MSA
- procedimientos operativos std
- planes de entrenamiento/formación (ISO 9001, 14001)
- Actualizar el FMEA
- Benchmarking actualizado.

Objetivos:

- Revisar, verificar y validar las mejoras (plan de control).
- Mantener los beneficios (despliegue del TPM,.....)
- Institucionalizar las mejoras (5S, estudios de capacidad en curso,..)
- Realimentar o hacer comentarios al respecto del proyecto, reconocer el trabajo en equipo.

Paso1 Controlar: Actualizar el plan de control.

Paso2: Documentar las actividades relacionadas con las mejores prácticas.

Paso3: Implementar la monitorización de la solución.

Paso4: Chequear por duplicado si la mejora es efectiva y eficiente.

Paso5: Aprovecharse de las lecciones aprendidas.

Paso6: Institucionalización.

Paso7: Cierre del proyecto y celebrar su terminación

1.- DEFINIR:

En cualquier empresa, la dirección es esencialmente responsable de tomar cuatro tipo de decisiones en cuanto a la mejora de un proceso:

- ¿En qué es lo que vamos a trabajar?
- ¿Quién va a trabajar en ello?
- ¿En qué va a consistir la Estrategia?
- ¿Qué recursos deberían de dedicarse para asegurar que se obtienen los resultados esperados?

Durante ésta fase básicamente se tratará de dar respuesta a las siguientes preguntas:

- Qué es lo que quiere el cliente y cuáles son para él los puntos críticos. Habrá que diferenciar entre los requisitos del cliente (LSL, USL,..) y sus necesidades/expectativas (desempeño para cumplir con sus requisitos y normas básicas
- qué consideramos un buen producto/proceso
- qué se considera defecto y cuál es el alcance del problema del cliente.

Habrá que definir los procesos, sus "propietarios", definir el cliente de los mismos y definir sus requisitos clave. En éste paso se organiza el equipo del proyecto, se prepara un cuadro del proyecto, se determinan y verifican las necesidades y los requisitos del cliente/s y finalmente se crea un diagrama de alto nivel del proceso actual.

Para dirigir las mejoras de manera eficiente el **6-sigma** se centra en:

- El cliente y sus características críticas de calidad o CTQ's (ó Y's): elementos de un proceso o práctica que tiene un impacto directo en su calidad percibida.
- Las mejoras que puedan regirse en base a datos
- Las entradas X's del proceso
- Reducir o eliminar los defectos
- Reducir la variación. Varianza: un cambio en el proceso o práctica de negocio que podría alterar su salida o resultado deseado.
- Aumentar la capacidad del producto o proceso

La palabra Sigma se usa de dos maneras, para describir Capacidad y para describir Variación. Conforme el DPMO (Defects Per Million Oportunities) baja o sube, de igual manera la Capacidad del Proceso baja o sube.

Las cuatro CTQ's principales de un cliente (según GE). Mediante visitas y cuestionarios al cliente (**VOC: voice of the customer**) se definen y validan pocas CTQ's que nuestro cliente estime como vitales o fundamentales:

- Respuesta y comunicación adecuada con el cliente
- Competitividad dentro del mercado (Producto/Precio/Valor)
- En plazo, adecuadas y completas expectativas del cliente (deliverables)
- Desempeño técnico/calidad adecuado del producto o servicio

Definición inteligente del problema y de la meta del proyecto:

- De manera específica
- Medible
- Consegible (attainable)
- Relevante
- Acotable ó enmarcable en el tiempo (time bound)

Un buen proyecto:

- Ha de estar claramente ligado a unas metas. Definir una Visión.
- Debe de dejarse sentir por parte del cliente
- Definición de defectos/problemas y oportunidades claramente entendible
- Que no se presuponga la solución
- Claramente relacionado con el cliente y los requisitos del mismo
- Se alinee con la estrategia y los aspectos críticos del negocio
- Que use las herramientas y el tiempo de manera eficiente.
- Siempre dirigido en base a datos
- Los límites o fronteras del proyecto claramente definidos para que el proyecto sea implementado de manera local
- Se ha de trabajar de manera cercana junto con otros proyectos
- Ha de estar relacionado con el trabajo del día a día
- Ha de crear un deseo común y conseguir un compromiso
- Ha de hacer el cambio duradero y ha de ser capaz de seguir el proceso

Los objetivos de la fase DEFINIR son:

- Proceso/producto
- Identificar al cliente/s y traducir sus necesidades en CTQs
- Constitución del equipo (team charter) y de los principios de actuación.
- Desarrollar el Mapa del proceso de alto nivel tal y como es al inicio del proyecto
- Conseguir la aprobación formal del proyecto

No será objeto de ésta fase el definir mediciones para las CTQs del cliente.

En la fase Definir habrá que responder a las siguientes preguntas:

- ¿Qué no está ocurriendo? ¿Qué es lo que no está funcionando?
- ¿Qué te hace decir eso? ¿Dónde están las evidencias o datos?
- ¿Así qué? ¿Cuáles son los problemas o el impacto de lo primero?

Las barreras de peaje o pagos a realizar o pasos durante ésta fase de medir son identificar los clientes (sus requisitos y necesidades), el cuadro o contrato de equipo y el diagrama de alto nivel del proceso.



Antes de tratar de identificar las CTQs del Cliente habrá que saber quién es precisamente mi Cliente.

CLIENTE: Quienquiera que recibe la salida de mi proceso. Dependiendo del proceso, el Cliente podría ser interno o externo. Si un cliente externo me define una CTQ se dice que se trata de una CTQ dirigida/impulsada por el Cliente mientras que las CTQs dirigidas por el propio proceso suelen ser definidas por los Clientes internos o por otro tipo de consideraciones del proceso.

SALIDA: El material o dato resultante tras la operación de un proceso concreto.

PROCESO: Las actividades que debes de desarrollar para satisfacer las necesidades o requerimientos del cliente.

ENTRADA: Material o dato con o sobre el cual un proceso realiza algo.

PROVEEDOR: Quienquiera que realice una entrada a mi proceso.

DEFINIR A.- IDENTIFICAR LOS CTQs DEL PROYECTO: los CTQ's tanto del Cliente – Big Y's--- como los CTQ's del Proceso. IDENTIFICAR LOS CLIENTES DEL PROCESO, SUS NECESIDADES Y SUS REQUISITOS: Todo proyecto tiene clientes, que son quienes reciben el producto o servicio del proceso escogido para mejorar. Todo cliente tiene una o varias necesidades que debe de satisfacer el proveedor. Para cada necesidad a satisfacer hay ciertos requisitos (ó características de la necesidad ó CTQ's) que determinan si el cliente queda satisfecho con el producto o servicio que recibe y con lo que percibe de nosotros.

Para determinar qué desea el cliente realmente y cuáles serán los CTQs (qué es lo crítico para la calidad de mi proceso según mi Cliente) se ha de evaluar todo, como por ejemplo: Los objetivos de mi negocio, encuestas al cliente, entrevistas , reclamaciones, datos de “benchmarking” o de estudio de mercado, las conversaciones a nivel ejecutivo, conversaciones específicas de cada trabajo, estrategias de mercado, grupos de enfoque, siendo el favorito el de analizar datos reales provenientes directamente de mi cliente (FUENTES de datos de mis actuales clientes. **VOC: “Voice of the Customer”**).

Cualquiera de las anteriores vías te permite obtener una idea aproximada acerca de aquello en lo que hay que trabajar, pero en última instancia, hay una inevitable necesidad de centrar tus esfuerzos de una manera mejor que simplemente diciendo “el cliente quiere que lo hagamos mejor en lo que al plazo de entrega se refiere” por poner un ejemplo.

El cliente quiere nexos de unión a las grandes Y's de nuestro negocio (Big Y's). Ejemplos de alguna:

- Calidad
- Competitividad dentro del mercado (Coste o Precio)
- Plazo de entrega (a tiempo, preciso y completo)
- Fiabilidad
- Crecimiento
- Respuesta
- Desempeño (consideraciones técnicas del producto o servicio)

Aún y todo habrá que preguntarse el por qué hacer éste proyecto y comparar/evaluar:

- La necesidad real frente a la necesidad enunciada
- La necesidad percibida
- El uso previsto frente al uso real
- Clientes internos
- La eficiencia frente a la eficiencia requerida. ¿se necesita rápido o se necesita bien hecho?

Tres son los objetivos de éste paso:

- Identificar el proceso a mejorar.
- Explicar y mostrar ejemplos de las herramientas VOC así como de los datos obtenidos con éstas técnicas.
- Identificar al Cliente/s (enfoque clave del negocio) y traducir sus necesidades en CTQ's (también llamadas Big Y's).

Adicionalmente a los tres objetivos anteriores habrá también que tener en cuenta que:

- Cuanto antes implementemos las mejoras mejor para el negocio. Proceso de aceleración del cambio (**CAP-tools: Change Acceleration Process Tools**- Ver Anexo-1 al final): Mecanismo de GE para identificar y resolver el rechazo hacia el cambio (relacionado tanto con las personas como las infraestructuras).
- Asegurar que el proyecto no impacta negativamente en ninguno de los otros Big Y's

En ésta fase se suele crear el **ARBOL DE REQUISITOS DE CLIENTE** donde en un primer nivel se expone el proceso objeto del proyecto y en un segundo nivel los requisitos del proceso que hacen las veces del cliente. Se trata de un diagrama en detalle del Producto/Proceso con los CTQ's integrados junto con la estrategia de negocio (**Product/Process drill down tree**). El cliente puede ser externo (empresa ajena a la mía que requiere unos resultados del proceso --- CTQs del cliente) o interno (persona de mi empresa que debe de producir unos resultados concretos -- CTQs del proceso o proyecto).

En el árbol de requisitos del cliente, tomando las CTQs del cliente, se definen los subprocesos que me ayudarán a encontrar las CTQs manejables de mi proyecto; me determina cómo las CTQs de mi cliente se convierten en las CTQs de mi proyecto.

El cómo las CTQs están relacionadas a las X's vitales se descubre con el **QFD** o como resultado del **DOE (Diseño de Experimentos)**.

Para las CTQs ó Y's del cliente asignaremos unos resultados deseados de 6-sigma.

$$Y \text{ ó } CTQ = \text{funcion de los subprocesos asociados a ella misma} = f(X_1, X_2, \dots)$$

$$Y \text{ (salida)} = \text{funcion de las entradas} = f(X_1, X_2, \dots)$$

Siendo las X's componentes controlables o resultados de los procesos internos. En función de la amplitud de Y la podría subdividir en otras Y's más pequeñas y manejables.

Habrà que determinar las X's durante las distintas fases de Definir, Medir y Analizar mediante el "**árbol de contenidos de producto ó proceso**", donde se parte de las CTQs o procesos de más alto nivel hasta llegar a las CTQs o procesos de los niveles más inferiores.

Ejemplo:

- Entrega de pedidos de víveres (Primer nivel / Proceso identificado como objeto del proyecto 6-sigma)
- Cliente: el proceso siguiente de preparación de los alimentos
- Necesidad: el hecho de recibir los víveres
- Requisitos del 2º nivel del árbol: Tiempo de entrega + Exactitud de las cantidades pedidas + Frescura de los víveres. Los distintos tipos de defectos se asociarían a los incumplimientos de los distintos tipos de requisitos.

Un diagrama de árbol muestra gráficamente una amplia meta cualquiera y la rompe o desglosa en diferentes niveles con acciones detalladas. Anima a los miembros del equipo a expandir su pensamiento a la hora de crear soluciones.

DEFINIR B.- CREAR EL CUADRO del proyecto o desarrollar el Contrato del Equipo (Team Charter = Constitución del Equipo) y conseguir que éste sea aprobado formalmente: Es una colección de documentos que suministran propósito y motivación para que el equipo 6-sigma haga su trabajo e incluye:

- Asegurarse de que existe una razón ó caso comercial / Definir el caso o la situación del Negocio: consiste en una o dos afirmaciones en las que se explica por qué se debe de llevar a cabo el proyecto en ese preciso momento, la importancia de su realización y las consecuencias de no hacerlo, por qué tiene prioridad sobre otros e indicar los objetivos ó metas estratégicas del negocio (Business Big Y's) que se verían afectadas por el proyecto y en qué medida.

- Planteamiento del Problema u Oportunidad. Declaración preliminar del objetivo de mejora ó meta:

@ La declaración preliminar de la meta define en términos generales el objetivo medible de mejora. Al igual que para el problema debe de ser específica, clara, concisa, descrita en términos medibles, conseguible, relevante y limitada en el tiempo.

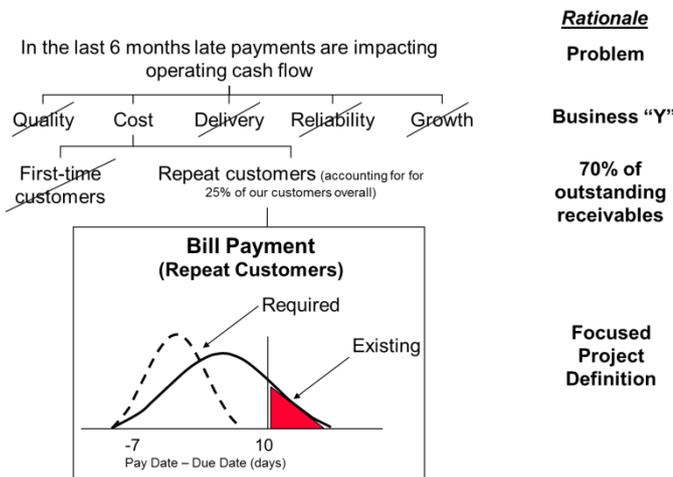
@ Breve descripción de la naturaleza del problema, cuándo surgió, describir la diferencia entre el estado actual y a dónde se quiere llegar (oportunidad de mejora) así como describir su impacto. Debe de exponerse en términos neutrales sin buscar culpables ni posibles soluciones o causas. ¿Qué no funciona o no cumple con los requisitos del cliente? ¿Dónde y cuándo ocurre el problema? ¿Cuál es el tamaño del problema y su impacto? ¿Por qué lo dices? Durante éste paso se suele emplear la herramienta llamada **Matriz de Amenaza vs. Oportunidad**.

@ declaración del Objetivo de mejora o Meta con fechas (objetivo del cliente o CTQ). Hay que utilizar verbos (reducir, eliminar, controlar, aumentar, ...). Enfoque del proyecto (ejemplo: tiempo de ciclo, precisión,...). Objetivo marcando porcentajes concretos de mejora. Antes de qué fecha. Información adicional que habría que incluir a la hora de declarar la meta. El propósito de la **declaración de la Meta ("Goal Statement")** es definir qué es lo que está mal pero no el definir el objetivo de mejora del equipo.

@ Declaración del problema + Declaración del Objetivo = Enfoque del equipo

Ejemplo de una correcta definición de un problema (Arbol de Definición del Problema): Durante los últimos 6 meses ("cuándo") la frecuencia de los pagos retrasados (más de 10 días) de nuestros clientes habituales (los cuales representan el 25% del total) está en torno al 20% ("qué") y representa el 70% de mis ingresos pendientes ("magnitud"). Esto está afectando negativamente a nuestro flujo de caja operativo ("consecuencia o impacto"). El área en rojo de debajo de la curva representaría el 20% mencionado anteriormente.

A good Problem Statement Example



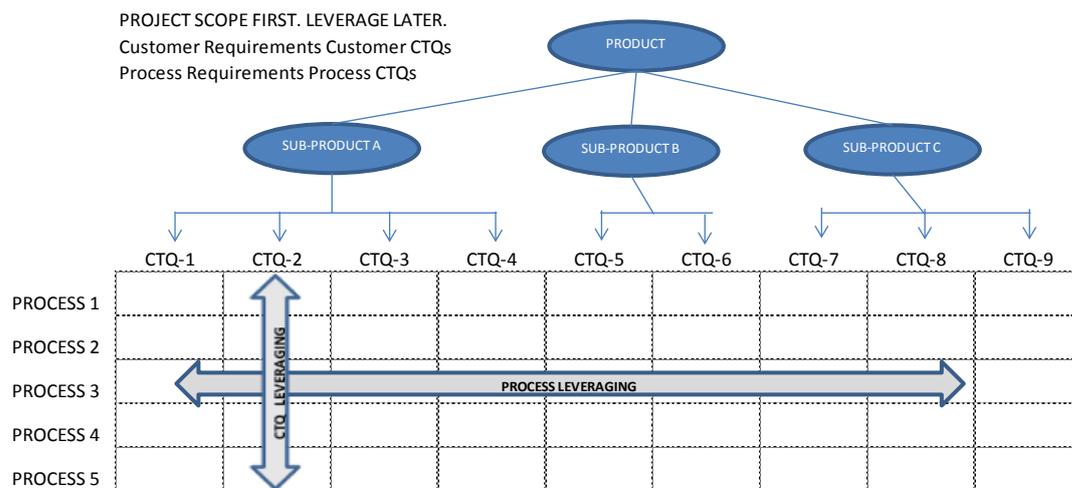
- Determinar el Alcance del proyecto: definir aquello (el proceso) en lo que el equipo debe de concentrarse y, lo que es más importante, aquello que el equipo debe tratar de evitar (posibles problemas). Habrá que ponerle límites al proceso definiendo claramente el alcance del mismo (sus dimensiones) así como los recursos disponibles. El desarrollar una afirmación clara, concisa y profunda del alcance del trabajo y así con ella desarrollar un contrato formal con el Champion y/o líder funcional es a menudo esencial para un trabajo efectivo y eficiente del equipo. Sólo de ésta manera se podrán asignar correctamente recursos, personal y medios para monitorizar el proyecto y a lo largo del ciclo del proyecto todos tendrán claro sus límites, sus resultados clave y sus hitos principales. Es muy recomendable organizar una reunión de lanzamiento antes del inicio del proyecto.

Herramientas: **Dentro/Fuera del marco**, **COPICS**, **Value Stream Map**.

¿Hay un sub-grupo de clientes, oficinas, sitios, fábricas o productos en los cuales te vas a enfocar? ¿cuál es el nombre específico del proceso a estudio? ¿cuáles son los puntos inicial y final del proceso (desde el punto de vista del cliente y desde el punto de vista de nuestro proyecto)? ¿Qué está fuera del alcance del equipo? ¿Con qué obligaciones o bajo qué limitaciones-restricciones tiene que trabajar el equipo? ¿Qué recursos están a disposición del equipo? ¿Cuál es el tiempo comprometido que se espera de los miembros del equipo? Incluir información adicional necesaria para la correcta declaración del Alcance.

8 pasos para delimitar un proyecto:

1. Identificar al cliente
2. Definir las necesidades y expectativas del cliente
3. Especificar claramente aquellos de mis resultados que estén ligados a esas expectativas
4. Identificar las CTQs para esos resultados
5. Hacer un mapa de mi proceso
6. Determinar dónde en mi proceso las CTQs pudieran ser afectadas en mayor medida
7. Evaluar qué CTQs tienen la mayor oportunidad de mejora
8. Definir el proyecto para mejorar aquellas CTQs que he seleccionado



Leverage can happen in any direction: One process impacting many CTQs OR one CTQ impacting many processes

- Fijar las Metas Intermedias y Objetivos: lo que el equipo se propone alcanzar en los cuatro o seis meses de existencia del proyecto. Generalmente se trata de mejorar los problemas en un 50%.
- Definir los Mojones, hitos o "milestones" del Proyecto: Pasos clave y fechas para alcanzar la meta que podrían alterarse conforme a la evolución del proyecto. Le indican al equipo cuándo y dónde debe de estar a lo largo del proceso DMAMC para alcanzar la meta final. Suelen ser 8 semanas como máximo para Definir y Medir. Analizar en 6 semanas y Mejorar en las 12 semanas siguientes. El Control se pone en marcha de manera inmediata.
- Selección del equipo de una manera cuidadosa y en base a las necesidades. Cada uno debe conocer cuál es su papel, sus responsabilidades y cuáles son las expectativas acerca de él.
- Definición de las funciones (papeles de la gente), responsabilidades y expectativas del equipo: **Campeón**: dueño del proceso, el que guía estratégicamente al equipo aunque igual no forme parte del mismo. Ayudan a escoger a los miembros del equipo, a conseguir recursos y a eliminar obstáculos que pudieran presentarse. **Líder del equipo**: tiene la responsabilidad de las actividades diarias asociadas con el equipo, desde preparar el orden del día hasta el guiado de los miembros del equipo. Puede ser un cinturón negro ó un cinturón verde (persona con otras responsabilidades adicionales dentro de la empresa). **Cinturón negro maestro**: Equivale a un consultor interno que ayuda al equipo en los aspectos más técnicos y tampoco es un miembro a tiempo completo del equipo. El resto del equipo lo constituyen los miembros, que deben ser expertos en la materia, y que son los que verdaderamente hacen el trabajo efectivo del proyecto. Herramienta para determinar las funciones: **ARMI**: Cómo se va a involucrar cada persona en cada fase del proyecto (personas tanto de dentro como de fuera del equipo).

El modelo o herramienta ARMI se usa para asegurar que el equipo ha identificado a las personas clave o críticas con respecto al proyecto. Se emplea para enumerar a las partes interesadas (stake holders) y para identificar a aquellos cuyo compromiso es esencial para el éxito del proyecto. No identifica ni amenazas ni oportunidades ya que para ello estaría la **Matriz de Amenaza/Oportunidad**.

CUADRO DE UN PROYECTO SEIS SIGMA. Plantilla modelo.

No. Proyecto:		Negocio:	
Nombre del Proyecto:		Proceso del Negocio:	
Sponsor:		CTQ(s) del proyecto:	
Aspecto Comercial. Razón por la cual se decide realizar el proyecto 6-sigma			
Alcance del proyecto			
A nivel nacional		A nivel internacional	
Metas y Objetivos concretos		Especialistas en la materia	
Aprobación / Firmas			
Campeón		Fecha	
Lider del equipo / Mgr. Funcional		Fecha	
Director de 6-sigma		Fecha	
MBB		Fecha	
BB/GB		Fecha	
Otros		Fecha	
Planteamiento del problema			
Beneficios Esperados		Objetivo	Alcance
Ahorro total		XXX €	YYY €
Hitos del Proyecto/ Fechas de inicio		Fecha Planeada	Fecha efectiva
Principio			
Definir			
Medir			
Analizar			
Mejorar			
Controlar			
Cierre			
Recursos / Miembros del Equipo			
Nombre y Apellidos		Función	% del tiempo
Campeón			
Lider del equipo			
Miembro1 del equipo			
Miembro2 del equipo			
Miembro3 del equipo			
...etc			

Otros aspectos que podrían incluirse dentro del contrato del alcance del proyecto:

Resultados clave, hitos críticos, clientes/proveedores a involucrar, deberes en términos del alcance del proyecto, aspectos definitivamente fuera del alcance, cómo se medirá el proyecto, cómo se evaluará al equipo, cuándo debe el equipo consultar al sponsor, cuando tendrá el equipo total autoridad para actuar, cuando tendrá el sponsor derecho a vetar el proyecto,...etc

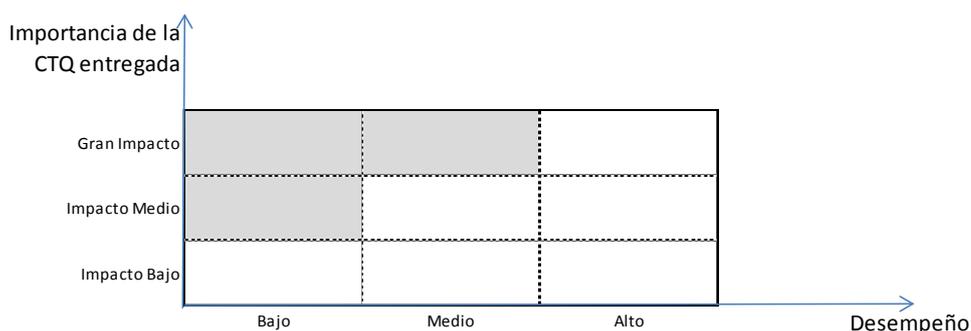
DEFINIR C.- DESARROLLAR-DEFINIR EL DIAGRAMA O MAPA DE PROCESO DE ALTO NIVEL (conectado con el proceso del cliente) PARA LOS 4-5 PASOS MÁS SIGNIFICATIVOS DEL PROCESO:

Un proceso es una serie de pasos y actividades que reciben insumos, agregan valor y dan como resultado un producto o servicio.

De cualquier proceso hay como mínimo 3 versiones:

- Lo que piensas que es...
- Lo que realmente es...
- Lo que quisieras que sea...

¿Pará qué proceso debería de elaborar su flujograma? Siempre he de trabajar en aquellos proyectos que se encuentren dentro de las áreas sombreadas.



Hay seis aspectos a tener en cuenta a la hora de elegir un proyecto:

- 1) ¿tiene relación con algún proceso? ¿nos dará beneficios continuados?
- 2) ¿cómo es de factible---podría hacerse en 4-6 meses?
- 3) ¿tendrá un impacto medible?
- 4) Potencial de mejora. ¿cuánto margen de mejora es posible?
- 5) Disposición de recursos dentro de la organización. ¿hay alguien dispuesto a patrocinar nuestro proyecto (Champion)?
- 6) Interacciones del proyecto. ¿hay alguna otra actividad en curso a la que le podría afectar éste proyecto?

El paso crítico es elaborar un diagrama de alto nivel del proceso tal y como se encuentra en la actualidad, y cuáles son sus conexiones con el proceso del Cliente. Se trata de identificar a un alto nivel los 4 ó 5 pasos más importantes del proyecto.

De ésta manera se crea una visión compartida del proceso la cual nos ayudará a identificar las entradas clave del mismo. Este ejercicio no nos dará una estructura para la búsqueda de causas y efectos (para ello está el **diagrama de pez ó diagrama de causa-efecto**) ni tampoco para identificar las maneras en las que un subproceso pueda fallar (para ello está el **AMFE**).

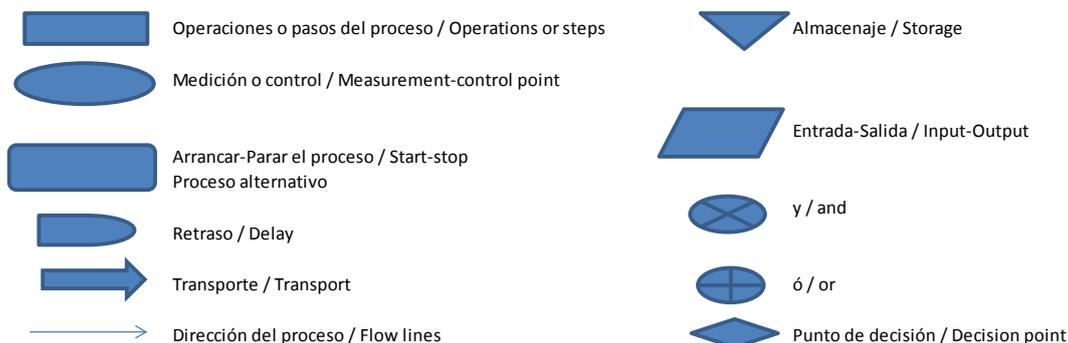
En un **Mapa de Proceso de Alto Nivel** hay que definir el propósito o finalidad del mismo así como describir el contenido. Para desarrollar el contenido de mi Mapa de Proceso de Alto Nivel se suele utilizar la herramienta llamada **COPIS**, donde se identifican los clientes, se detallan los requisitos de los clientes, las salidas (que han de superar los requisitos del cliente), los pasos del proceso, las entradas del proceso y los proveedores.

Los objetivos de ésta fase son:

- Visualizar la relación entre el cliente y el flujo del proceso. Conectar al cliente con nuestro proceso.
- Identificar las entradas clave
- Identificar los requisitos del proyecto

Para crear un diagrama de alto nivel de un proceso el equipo ha de tener en cuenta e incluir en el mismo a los proveedores, los insumos, el proceso, los productos y los clientes.

SIMBOLOGÍA DE UN DIAGRAMA DE ALTO NIVEL:



El hecho de crear un mapa de proceso ayuda al equipo a:

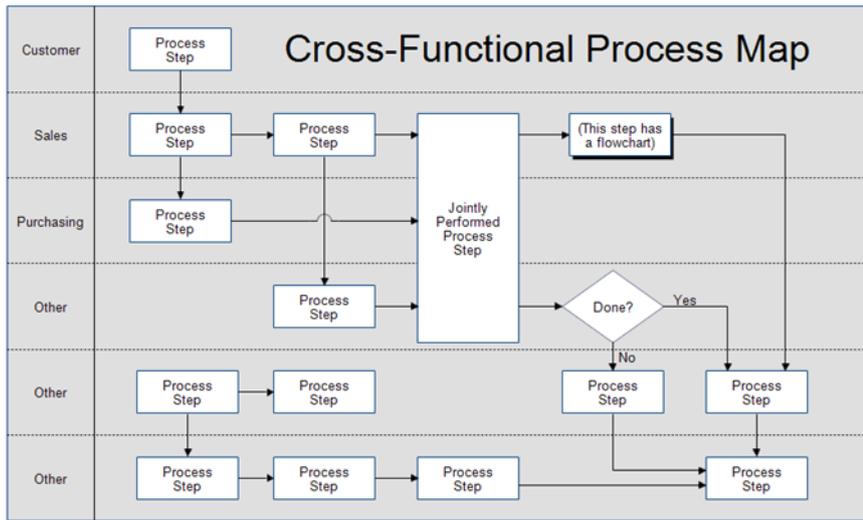
- Estar de acuerdo en los pasos del proceso y su secuencia
- Ver aquellos pasos que no añaden valor o que duplican los esfuerzos (bucles de retrabajo).
- Clarificar las relaciones entre las personas y las organizaciones
- Enfocarse en aquellos pasos que necesitan ser mejorados. Determinar aquellos pasos específicos que nos llevaran hacia la mejora.

Hay que caminar por el proceso a fin de verificar mi flujograma.

Tipos de diagramas para realizar los Mapas de Proceso:

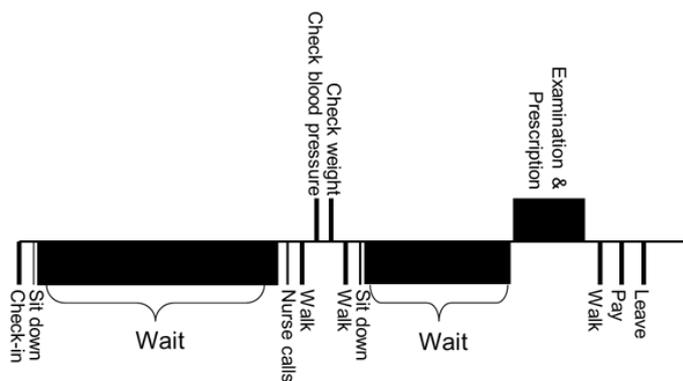
- **Flujograma físico (physical flowchart):** Muestra los movimientos, transferencias, de una manera no intervencionista sobre un mapa actual del área. Se dibuja físicamente la distribución en planta del área de trabajo incluyendo las estaciones de trabajo, áreas de espera, ubicaciones de las máquinas,etc. Se emplean flechas para mostrar el flujo de la pieza a lo largo del área y cada flecha muestra un paso individual del proceso. Éste tipo de diagramas me muestran el número de movimientos que se necesitan para completar el proceso, la complejidad del flujo y los bucles del mismo. Se podría añadir el tiempo de cada paso para mostrar los cuellos de botella y comparar los tiempos que sí y que no aportan valor añadido.
- **Flujograma de arriba abajo (top-down flow diagram):** Muestra los principales grupos de actividades esenciales. Debo de enumerar los pasos más básicos o principales del proceso limitándolos a 5-6 como máximo y los coloco en orden en la parte superior del diagrama. Bajo cada uno de ellos enumero a continuación sus sub-pasos, limitando también su número a un máximo de 5-6 sub-pasos. Éste tipo de diagramas resaltan las actividades esenciales del proceso y me permiten ver cómo sería el proceso sin aquellos pasos que me generan ineficiencias o fallos en el proceso.
- **Diagrama de flujo en detalle (detailed flow diagram):** muestra en detalle qué es lo que ocurre en cada paso y en el mismo orden en el que se suceden a lo largo de todo el proceso. Se utilizan los símbolos mostrados anteriormente colocando dentro sus respectivas descripciones del paso concreto y luego se unen mediante flechas. Un símbolo representa una única acción o decisión. Resaltaré aquel ciclo de retrabajo en el que me concentraré. Las ventajas de éste tipo de diagramas son: 1) te muestra lo que realmente está ocurriendo en cada paso e incluye lo que ocurriría cuando se da algún evento fuera de lo habitual/estándar. 2) resalta las redundancias y otros esfuerzos malgastados 3) se le pueden añadir rendimientos y tiempos de ciclo a cada uno de los pasos 4) podría resaltar dónde hay pasos que podrían eliminarse

- **Flujograma desplegado o flujo a través de las distintas funciones (deployment flow diagram or Cross-functional process map):** muestra la interrelación de aquello que se realiza y quién lo hace. Diagrama de flujo a través de las distintas funciones ó departamentos de la empresa. Se separan en el eje vertical las distintas funciones que intervienen en el proceso y en el eje horizontal se sigue el flujo del proceso. Este tipo de diagramas muestra cómo la gente involucrada encaja entre sí y te permite estar al tanto de lo que cada persona debería de hacer y cuando. Te permiten ver si la gente adecuada se involucra en el proceso en el momento adecuado, si hay intervenciones innecesarias o demasiada gente involucrada, si hay barreras entre personas que deberían trabajar juntas para que el proceso funcione,etc

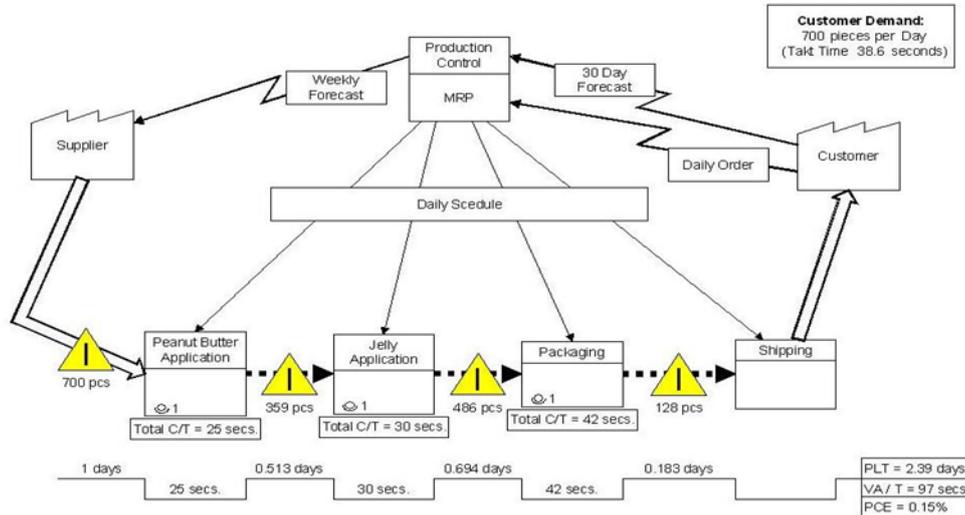


- **Gráficas del tiempo sin valor (desperdiciado) y de Actividad (valueless time and activity charts):** Se trata de una foto lineal del tiempo y actividades que sí y que no aportan valor añadido. Trazo una línea horizontal que represente el tiempo total que se lleva el proceso. Enumero todos los pasos del proceso en detalle para decidir luego si éstos le aportan valor al cliente o no. A cada paso le asigno líneas verticales con un determinado grosor, en función del tiempo que se necesite para completarlo y las pongo encima o debajo de la horizontal si añade a no añade valor. Etiqueto cada línea vertical con su respectivo paso del proceso. La gran ventaja de éste tipo de gráficos es que gráficamente se muestra la cantidad de tiempo del proceso que no aporta valor alguno.

A visit to the doctor's office

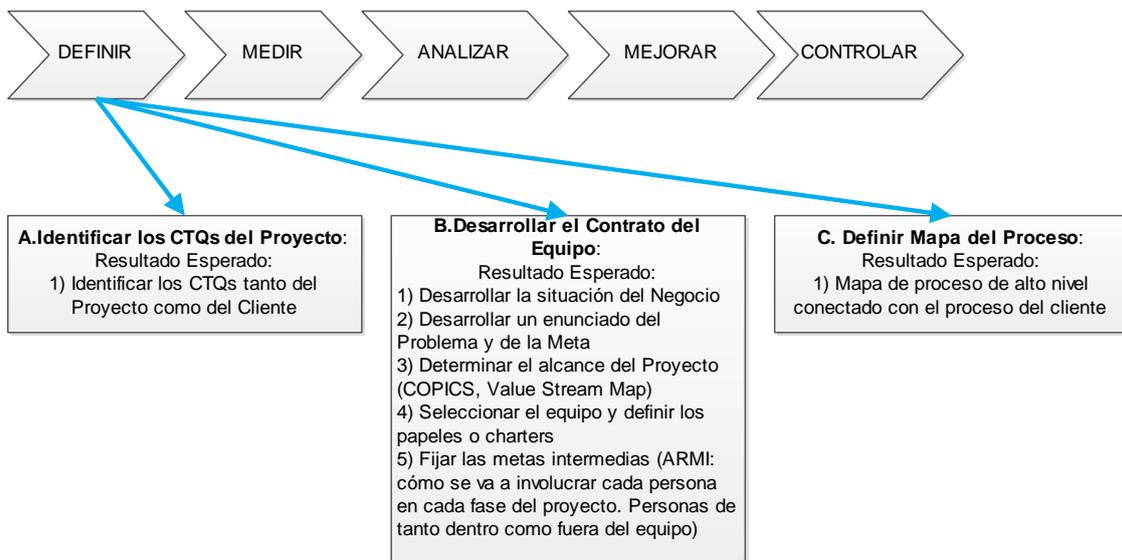


- **Mapa de flujo de valor (Value stream map).** Se han de indicar todas las tareas (con y sin valor) requeridas para que un producto/servicio pase a lo largo del proceso desde su punto inicial (proveedores) hasta su punto final (Cliente). A cada operación o fase se le asigna el número de empleados necesarios para su correcta ejecución, una tasa de buena calidad (>90%), tiempo de ciclo en segundos, ... etc



I=Inventory: Cantidad esperando a ser procesada / PLT: Process Lead time or Cycle time. /VA/T = Process Time.

Pasos (3) de la Fase Definir según General Electric:



ANEXO-1. CAP Tools (tools for Change Acceleration Process).

CAP Tools (Tools for Change Acceleration Process)		
CAP Phase	CAP tools	
DEFINE PHASE.	Project Definition	<ul style="list-style-type: none"> - Is / Is Not - In/Out of Frame - COPIS for business process mapping - 15 Words - Critical Success Factors - Project Scope Contract
	Team definition and Team Performance	<ul style="list-style-type: none"> - Responsibility Grid. Working Sheet with the responsibilities of each team member. - GRPI checklist - ARMI model
	Creating a Shared Need	<ul style="list-style-type: none"> - Threat vs. Opportunity Matrix

In/Out of the Frame /// Dentro-fuera del marco

To determine the Scope of the Project.

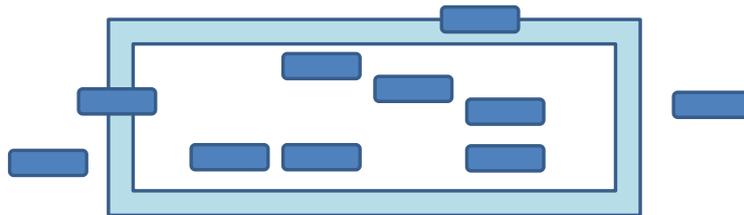
This is a visual tool based on the analogy of a picture frame. It challenges the team to identify those aspects of the project (the type and extent of end results or deliverables, the people impacted, timing, product lines impacted, sites involved, etc.) which are "in the frame" (meaning clearly within the scope of work), "out of the frame", or "half-in-half-out" (meaning this is either up for debate, or some aspects are in the scope of work but only in a partial way-Needs to be discussed).

USES: Not as complex as COPIS, but useful when you feel there are many "boundary issues" facing the team (differences of opinion as to what is and isn't in the scope of work).

Para determinar el Alcance del Proyecto.

Se trata de una herramienta visual análoga al marco de un cuadro. Reta al equipo a identificar aquellos aspectos del proyecto (el tipo y extensión de los resultados finales, la gente que se ve impactada, los plazos de tiempo, las líneas de productos afectadas, las ubicaciones o plantas envueltas,...) que estén "dentro del marco" (indicando claramente que están dentro del alcance del trabajo), "fuera del marco" ó "medio-dentro-medio-fuera" (indicando que o bien hay que someterlo a debate o algunos aspectos están dentro del alcance pero sólo de una manera parcial).

USOS: No es tan complejo como el COPIS pero es muy útil cuando creas que el equipo va a tener que afrontar muchos temas dudosos o en tierra de nadie.



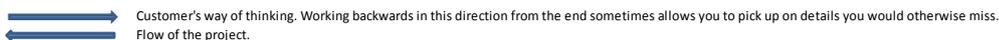
COPIS or SIPOC tool or worksheet. /// Hoja de trabajo COPIS o SIPOC (según la dirección en que se mire)

Another way to document the process. It is a representation of the total availability. CTQ(s) or external-internal customer expectations. The Outputs must exceed the requirements from our customer.

Es otra manera de documentar el proceso. Se trata de una representación de la disponibilidad total. Las CTQ(s) son las expectativas de mis clientes tanto externos como internos. Las salidas deben de exceder a los requisitos de mis clientes.

Process Name: Wind turbine operation and color of tower
Process Start: Time limit of 6 months dictated by the local authorities to reduce noise and tonality levels. Liquidated damages of 4000€ a day after first measurements.
Process Step:

CTQ's	C (customers)	O (outputs) (use nouns)	P (high-level process steps) (use verbs)	I (inputs) (use nouns)	S (supplier)
Acceptable Noise (<104dB) and tonality difference levels to avoid penalties from customer.	Client Neighbours Local Authorities My Service Dpt My Sales Dpt		1.- Check input measurements 2.- Root Cause Analysis 3.- Review design 4.- Prototype validation	Complains Local regulations Actual Measurements Marketing Info Engineering Info	



HOJA DE TRABAJO. RESPONSABILIDADES DE LOS MIEMBROS.

1.- ¿Sobre qué te has puesto de acuerdo con el Champion?

- Tipo y regularidad de las reuniones
- Hitos
- Recursos
- Manera para toma de decisiones
- Otros

2.- ¿Sobre qué te has puesto de acuerdo con el equipo?

- Recursos
- Compromisos de tiempo
- Expectativas
- Comunicación con los directores
- Reglas básicas
- Otros

G.R.P.I. Checklist.

This tool is based on a simple model for Team formation , identification of the Functions and definition of the Project Scope. It challenges the team to consider 4 critical and interrelated aspects of team work. It is invaluable in helping the group to become a team. Team evaluation during the first steps of the project to diagnose why a team might be struggling.

Esta herramienta se basa en un simple modelo para la creación de equipos, identificación de las funciones y definición del Alcance del proyecto. Reta al equipo a considerar 4 aspectos críticos e interrelacionados para el trabajo en equipo. Es de gran ayuda para que el grupo se convierta en un equipo. Evaluación del equipo durante los primeros pasos del proyecto para diagnosticar el por qué un equipo podría estar atascándose.

OBJETIVOS: ¿Son claros los objetivos y la misión de nuestro proyecto/equipo? ¿Estamos de acuerdo con ellos?

PAPALES O ROLES: ¿Entendemos bien las responsabilidades/papeles de cada uno? ¿Estamos de acuerdo?
 ¿Cada uno actúa según su papel? ¿Soportan totalmente los distintos roles las metas que les fueron impuestas?
 ¿Tienen los miembros los recursos y competencias adecuadas para cumplir con sus responsabilidades?

PROCESOS: ¿Hasta qué punto estamos de acuerdo con la metodología que nuestro equipo va a seguir durante el proyecto?
 (procedimientos y maneras de realizar nuestras tareas y de gestionar al equipo. Métodos de resolución de problemas, procedimientos de comunicación, procesos para toma de decisiones,.....etc). ¿Son éstos procesos perfectamente entendibles y aceptados? ¿dan soporte a las distintas metas y roles?

RELACIONES INTERPERSONALES: ¿Funcionan bien las relaciones dentro del equipo? ¿somos abiertos y confiamos en los demás miembros del equipo?
 ¿aceptamos al resto de miembros del equipo?

	Low				High
1	2	3	4	5	
1	2	3	4	5	
1	2	3	4	5	
1	2	3	4	5	

ARMI Model. ARMI worksheet or matrix.

Tool to determine the functions of each member or individual.

Tool to identify the key stakeholders and what roles they will play throughout all phases of DMAIC process. This tool is dynamic and can change as the project progresses.

Someone who has a share or interest in the process that will be improved. It includes the process owner as well as those participating in the improvement efforts.

Herramienta para determinar las funciones de cada miembro u individuo. Herramienta para identificar las partes interesadas clave y qué papeles jugarán a lo largo de todas las fases DMAMC del proceso.

Se trata de una herramienta dinámica que puede cambiar conforme progresa el proyecto. Toda persona que tome parte o tenga un interés en el proceso a mejorar. Incluye al propietario del proceso así como a todos aquellos que participan en los esfuerzos de mejora.

A: Approval of team decisions outside of their charter authorities, i.e., sponsor, business leader, ... etc. The approval of this person is required for any decision outside the charter of the team.

A: Aprobación de aquellas decisiones del equipo que sean ajenas a su responsabilidad directa. Se requiere la aprobación de ésta persona para cualquier decisión que éste fuera del alcance del equipo.

R: Resource to the team, one whose expertise, skills, or clout may be needed on an ad hoc basis

R: Recurso para el equipo, uno cuya experiencia, habilidades o influencia pudiera ser necesitada para conseguir ésto concreto.

M: Member of the team, with the authorities and boundaries of the charter

M: Miembro del equipo con las autoridad esy limitaciones marcadas/especificadas.

I: Interested party, one who will need to be kept informed on direction, findings, conclusions, if later support is to be forthcoming ... Person that will be kept informed as project progresses

I: Parte interesada que necesita ser informada de la dirección, hallazgos, conclusiones, de si se necesitará posteriormente un mayor apoyo,.....Persona que deberá de ser informada conforme progresa el proyecto

Key Stakeholders	PROJECT PHASES		
	Startup / Planning	Implementation	Evaluation

	Define	Measure	Analyze	Improve	Control
Mary (manager)	A	A	A	A	A
Edwin (Engineer)	M	M	M	M	M
Stan (Sales)	R	M	R	R	M

MATRIZ OPORTUNIDAD-AMENAZA:

Prepara para el éxito al equipo y le define cuales serán sus expectativas. Es útil para crear una voluntad de cambio.

Amenazas: Las respuestas a la siguiente pregunta ¿Qué pasaría si mi proyecto no se ejecutara?.

¿recomendarías comprar de un determinado proveedor a tus conocidos?

NPS (Net Promoter Score)=[% promoters -% detractors] 1-6: detractors / 9-10: promoters

NPS(puntuación neta de promoción)=[%promotores - % detractores] 1-6: detractores /9-10: promotores

	Amenaza	Oportunidad
C.P.	1	3
L.P.	2	4

ANEXO-2: Diferentes hojas de trabajo o “checklists” de la Fase Definir.

CUSTOMER WORKSHEET

STEP 1. LIST CUSTOMERS

CUSTOMERS	INTERNAL OR EXTERNAL

STEP 2. DEFINE CUSTOMER SEGMENTS.

CUSTOMER SEGMENTS	DESCRIPTION
directly affected	
indirectly affected	

STEP 3. List customer segments that will be the focus for the project

CUSTOMER SEGMENTS	RATIONALE

PROJECT CHARTER WORKSHEET

RESOURCE PLAN:	GENERAL INFORMATION:	REVIEW TIMING:
Project No.:	Business:	Start:
Project Name:	Business Process:	D:
BB/GB:	Project CTQ(s):	M:
MBB:		A:
Sponsor:		I:
		C:
		Close:
<u>Business Case:</u>		
<u>Problem Statement:</u>		
<u>Goal Statement:</u>		
<u>Project Scope:</u>		
<u>Project Milestones:</u> (refer to more detailed project plan, if necessary)		
<u>Resources/Team members:</u>		
<u>Signatures:</u>		
	Name:	Date:
Functional Mgr:		
Champion:		
MBB:		
BB/GB:		
Other:		

GOAL STATEMENT WORKSHEET

VERB (like reduce, eliminate, control, increase):
FOCUS OF THE PROJECT (like cycle time, accuracy,...):
TARGET (like by 50%, by 75%,.....)
DEADLINE (by when):
ADDITIONAL INFORMATION TO BE INCLUDED IN GOAL STATEMENT:

PROJECT SCOPE WORKSHEET

Are there any sub-sets of customers, offices, locations, plants, or products you will focus on?
What is the name of the specific process that you will focus on?
What is the starting point of the process? What is the end point?
A. From the customer's perspective?
B. For your green belt project?
What, if anything, is out of bounds for the team?
Under what constraints, if any, must the team work?
Additional information to be included in the scope statement:

2.- MEDIR:

Durante ésta etapa habrá que buscar una relación entre las necesidades de mi cliente y los procesos medibles e internos de mi proceso. Se verá que mediciones son las más importantes para el proyecto, determinaré cómo medirlas y comenzaré a registrar los datos. La intención de ésta fase es la de traducir las necesidades de mi cliente en requisitos cuantificables de mi producto o proceso.

Al medir hay dos barreras de peaje principales que son la “creación del plan de recolección de datos” y su “ejecución” a fin de mejorar la eficacia y la eficiencia del proceso en el que se trabaja.

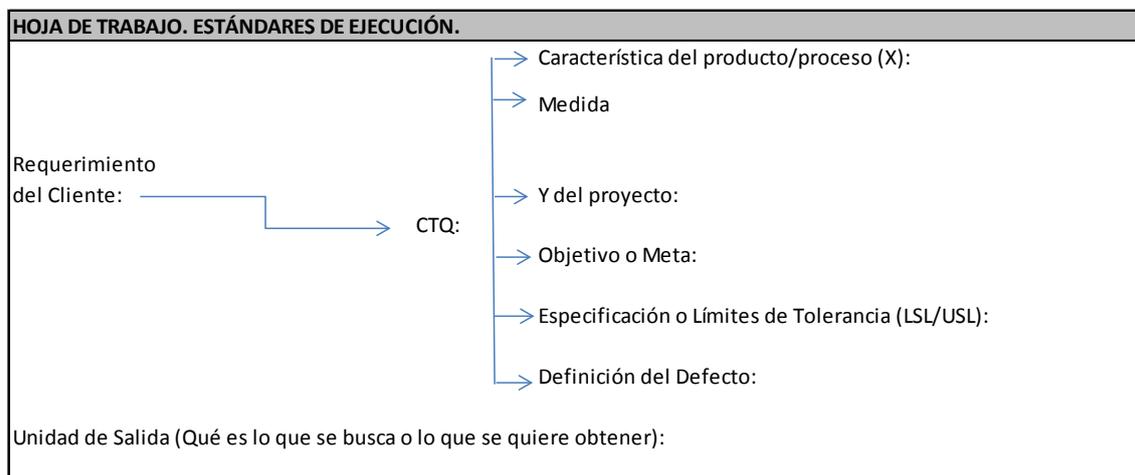
Áreas que requieren tomar medidas:

- A) Medidas de Insumos (eficacia de los proveedores---medidas clave de calidad que se exigen a los proveedores). Insumo es aquello más importante para que uno pueda hacer su trabajo.
- B) Medidas de eficiencia del proceso (eficiencia del equipo): Tiempo del ciclo, costo, valor, mano de obra.
- C) Medidas del producto (eficacia de la compañía): Medidas del grado en que se satisfacen los requisitos de los clientes.

Definición de “estándar de ejecución”: El propósito de un estándar de ejecución es traducir el requerimiento del cliente (“Voz del Cliente”) a una característica o requerimiento medible/cuantificable de nuestro proceso (“voz del proceso”) o producto.

- Definición operacional (para una oportunidad)
- Objetivo
- Límites de la especificación
- Definición de Defecto

Generalmente mediante un fishbone o brainstorming de causas y efectos se obtienen las X's potenciales que podrían causar el defecto en cuestión. Estas X's habrá que incluirlas en el plan de recogida de datos.



“Definiciones Operacionales”: Una definición operacional es una descripción precisa que explica cómo conseguir una valor para la característica CTQ que estás intentando medir. Incluye “lo qué es” y “cómo se mide”. Propósito de la misma:

- Eliminar la ambigüedad para que todos puedan entender la medición de una misma manera.
- Definir una manera clara de medir la característica
- Identificar lo que hay que medir
- Identificar cómo medirlo
- Asegurar que sea quien sea el que realice la medida, el resultado sea el mismo
- Tiene que ser útil tanto para ti como para tu cliente

Como mínimo se requiere una definición clara e inequívoca de lo que es un Defecto.

MEDIR 1. CREACIÓN DEL PLAN DE RECOLECCIÓN O RECOGIDA DE DATOS: Tiene nueve columnas y cada una desempeña un papel importante para ayudar al equipo a calcular la última, que es la línea de base Sigma.

- @ Se centra en la Y del proyecto y en los estándares de desempeño de ésta Y.
 - @ Considera las X's potenciales para la Y seleccionada.
 - @ Te asegura que recoges sólo los datos que son críticos para el éxito del proyecto.
- Esta fase no te ayuda a decidir qué CTQ medible es la que hay que mejorar.

Columna#1: Qué medir. Aquí se colocan los requisitos determinados en la etapa Definir.

Columna#2: Tipo de Medida. Se suelen cometer los errores de o bien no medir lo suficiente o bien medir demasiado. Esta 2ª columna determina si el equipo de proyecto va a recoger demasiado o muy poco. En general deben de hacerse 2-3 medidas del producto, 1-2 del insumo y por lo menos una del proceso a fin de saber si es suficiente con lo que se ha medido.

Columna#3: El tipo de datos. Los DISCRETOS o discontinuos son binarios (sí/no, bueno/malo, encendido/apagado, conteo de errores de un sistema,.....etc) y los CONTINUOS describen magnitudes que existen en continuo (altura, peso, minutos, longitud, temperatura.....etc). Los datos continuos son preferibles ya que nos aportan más información del proceso.

Columna#4: Definiciones Operativas. Descripción de algo sobre lo cual todas las personas afectadas e interesadas han de tener una comprensión común y sin ambigüedades. De ésta manera se obtendrá acuerdo/entendimiento en relación a los datos que se estén midiendo y así se acepten de manera conjunta los resultados.

Columna#5 y #6: Metas y especificaciones. La meta mide el comportamiento ideal del producto o servicio para el cliente. Una especificación es el producto o servicio menos aceptable para el cliente. Por ejemplo, en el proyecto de entrega de alimentos la meta es las 18:00pm y las especificaciones las 16:00 y 20:00 horas.

Columna#7: Formularios para recoger datos del tipo Discreto o del tipo Continuo. En el formulario para datos discretos tenemos cuatro pasos: Determinar qué es un defecto, enumerar razones o categorías por las cuales se dan el defecto en cuestión, determinar el marco de tiempo de recogida de datos y determinar un casillero para los datos que se recogen.

Formulario para recogida de datos DISCRETOS.

Razones por las que se espera más de 5' en la fila de una tienda comestibles.

Razón o motivo del defecto	Frecuencia	Comentario
Comprobar el precio	142	
Falta de dinero	14	
No hay empaquetador	33	
La caja registradora no tiene papel	44	
Artículo olvidado	12	
Revocación	86	Se precisa de ayuda del gerente
Artículo equivocado	52	
Varios	8	

Para los datos CONTINUOS se debe de usar una hoja de comprobación de distribución de frecuencias, la cual determina el número de veces que ocurre un determinado hecho por cada medida o serie de medidas y lo lleva a lo que se llama celdas.

Hoja de comprobación de la distribución de frecuencias. Tiempo de entrega de los víveres.

			X			
X		X	X	X		
X	X	X	X	X		
X	X	X	X	X	X	
X	X	X	X	X	X	
Días previos	12:00-14:00	14:01-16:00	16:01-18:00	18:01-20:00	20:01-22:00	Días posteriores

HOJA DE TRABAJO. PLAN DE RECOGIDA DE DATOS.							
Objetivo de recoger datos:							
Qué medir: (Medida de la salida y de las X's potenciales)							
	Y medida	X1 medida	X2 medida	X3 medida	X4 medida	X5 medida	X6 medida
Nombre de la medida:							
Tipo de datos:							
Definición Operacional:							
Rango(Continuo)							
Valores(Discreto)							
Especificaciones:							
Cómo medir:							
Plan de muestra (Cómo, Frecuencia, Cantidad)							
Procedimiento de medición: (Hacer referencia a documentación más detallada si fuera necesario)							

Columna#8: Muestreo. Proceso de aprovechar solamente una porción de los datos disponibles en aquellos casos en los que medir la población total sería demasiado costoso o excesivo. Para que el muestreo sea correcto la muestra tiene que ser representativa de la población total y tiene que tomarse al azar (para que el equipo del proyecto 6-sigma no introduzca ningún prejuicio en el muestreo). Una muestra representativa es aquella que representa a toda la población.

MEDIR 2. PUESTA EN MARCHA Ó EJECUCIÓN DEL PLAN DE RECOGIDA DE DATOS PARA ASÍ GENERAR-CALCULAR LA LÍNEA DE BASE DEL RENDIMIENTO SIGMA:

Columna#9: Calculo de la línea de base sigma. Existen varias maneras de realizar éste cálculo. La más fácil es la de determinar qué es una unidad, qué es un defecto y qué es una oportunidad para su proyecto. En el ejemplo ó proyecto de pedido de alimentos una unidad es un pedido de entrega, un tipo de defecto puede originarse por una entrega demasiado temprana o demasiado tardía (incumplimiento del requisito de entrega en plazo) y para éste defecto concreto habría que calcular su rendimiento sigma. El rendimiento sigma podría calcularse para cada tipo de defecto de manera individual o calcularse de manera combinada en uno sólo para todos los posibles tipos de defecto (lo que se llama defectos por millón de casos ó "sigma madre"). Ejemplo de defectos por millón de casos:

Unidad de pedido: Una entrega

Defectos del pedido: Entrega demasiado pronto o demasiado tarde. Inexactitud en la cantidad pedida. Alimentos que no son frescos.

Número de oportunidades: 3 (una por cada una de las tres maneras de generar un defecto)

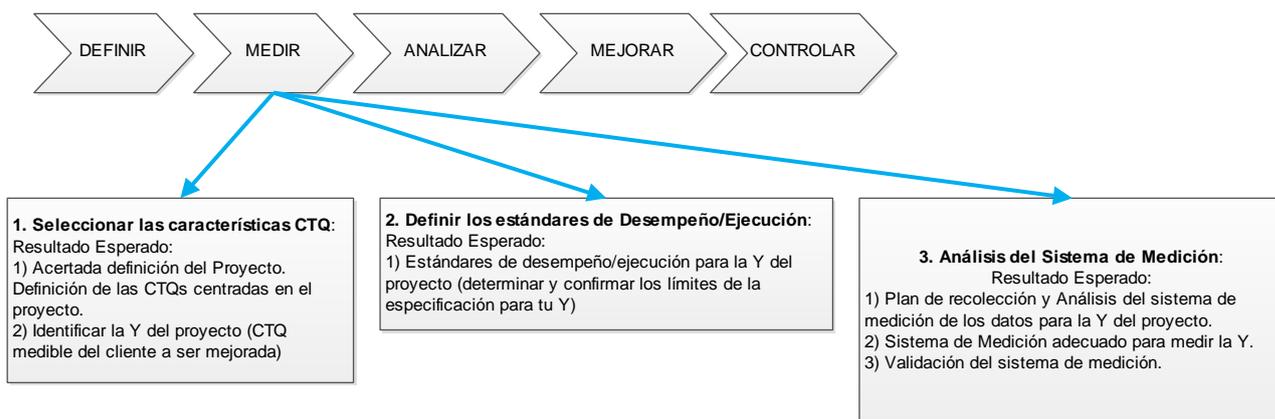
Tras examinar 50 entregas se obtiene que: 13 se entregaron adelantadas o retrasadas / 3 con cantidad incorrecta / 0 caducadas

Defectos por millón de casos: $\frac{n^{\circ} \text{ defectos}}{\text{unidades.oportunidades}} \cdot 1000000 = \frac{16}{50.3} \cdot 1000000 = 106.666,7$

Lo que equivaldría a un rendimiento sigma entre 2,7 y 2,8

(rendimientos sigma a CP de entre 2,7 y 2,8)

LAS TRES FASES DE LA ETAPA MEDIR SEGÚN GENERAL ELECTRIC:



1.- HALLAR EL SUBPROCESO ESPECÍFICO Y SELECCIONAR LA CARACTERÍSTICA/S

CTQ (LA "Y" DEL PROYECTO): Hay que identificar el "por qué" del proyecto, el aspecto concreto en el que hay que trabajar para que el cliente sienta un impacto positivo. Para ello hay que concentrarse en las tareas o características específicas del proceso. Resultado esperado: Identificar la CTQ medible a mejorar.

Herramientas que me pueden ayudar a identificar el problema del proyecto: QFD(Quality Function Deployment) o Casa de la Calidad*, Mapeo de procesos*, Árbol de definición del problema (muestra el alcance y las relaciones entre la gran Y, los CTQ's y las X's potenciales), AMFE, Datos Discretos frente a Continuos, Diagrama de Pez o Diagrama de causas y efecto, Prueba de Hipótesis, ... etc

Herramientas*: Para la selección de las características CTQ de mi proyecto.

2.- DEFINIR EL ESTÁNDAR DE RENDIMIENTO O ESTÁNDAR DE EJECUCIÓN DE ESE

SUBPROCESO: Este estándar de rendimiento me permitirá obtener medidas numéricas que luego podré presentar a mi cliente. El propósito de éste paso#2 es el de traducir las necesidades del cliente en requisitos cuantificables de mi producto o proceso.

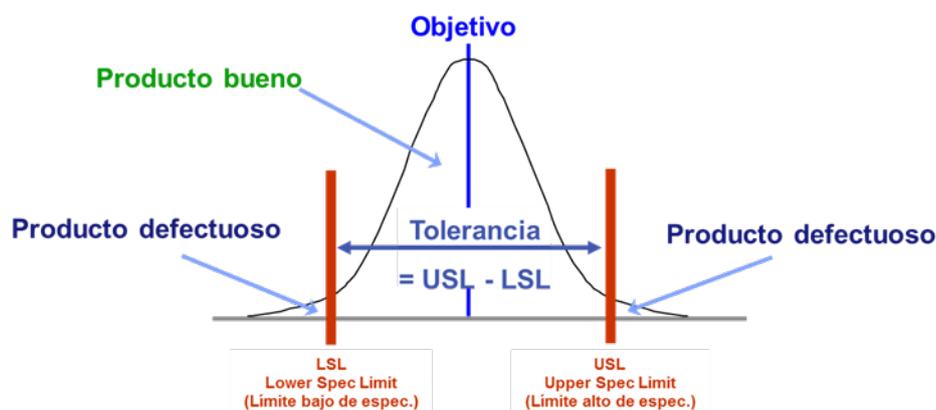
Resultado esperado: Determinar y confirmar los límites de las especificaciones para mi Y. Se dimensiona la tarea y establezco un rendimiento del proceso.

- Describir los componentes de un buen estándar de rendimiento como pueden ser los límites de la especificación, el rendimiento objetivo, los defectos,.....etc
- Definir las clasificaciones de los datos discretos y continuos y clasificar apropiadamente los datos dados. Tipos de mediciones.
- Crear un estándar de rendimiento para un proceso dado.

Componentes de un buen **estándar de rendimiento**:

- **Definición Operativa:** ¿De qué proceso estamos hablando? ¿cómo lo mido?
Ejemplo: la puntualidad en el aeropuerto considerando la hora de salida como el preciso momento en el que el avión despegue.
Descripción precisa que elimina cualquier tipo de ambigüedad de un proceso y que ofrece una manera clara de medir dicho proceso. Disponer de una definición operativa es un paso clave para obtener un valor de la CTQ que se esté midiendo.
- **Objetivo de rendimiento:** Objetivo al que quiero llegar con un proceso o característica del producto. Si no existieran variaciones en el producto o proceso, éste sería el valor que se obtendría permanentemente.
- **Límites de la Especificación:** Cantidad de variación que el cliente encuentra aceptable en mi proceso o en su producto. Esto se indica habitualmente por medio de unos límites superior e inferior que provocarán el rechazo del cliente del proceso/producto si son traspasados.
- **Definición de Defecto:** Cualquier característica del proceso/producto que se aparte de los límites de la especificación.

Los límites de la especificación nos permiten diferenciar la satisfacción y la decepción del cliente y han de basarse en la definición de mi cliente de un defecto.



DATOS “DISCRETOS Ó ATRIBUTOS”, DATOS ORDINALES Y “DATOS CONTINUOS Ó VARIABLES”.

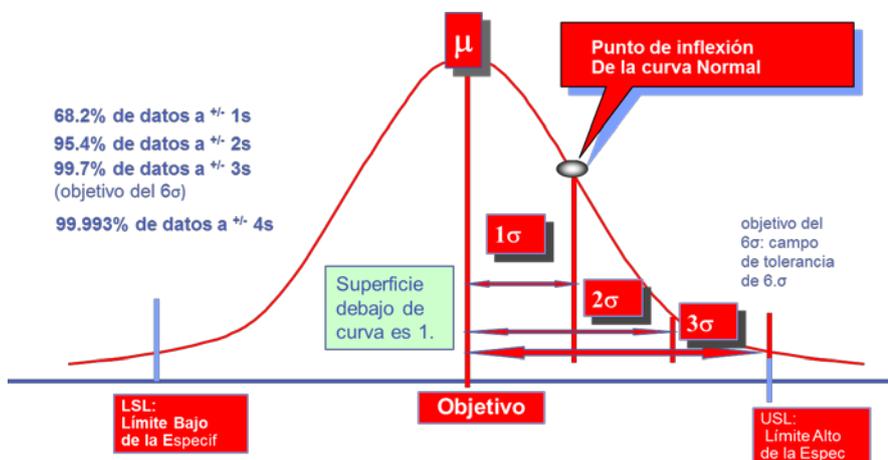
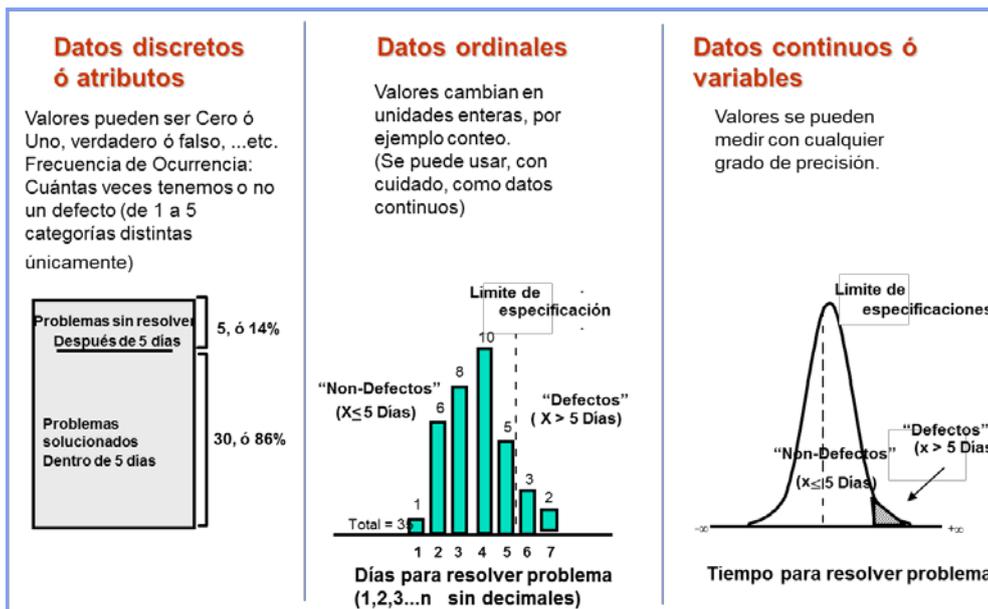
Datos discretos ó atributos: Datos que sólo pueden ser contados (elementos o eventos) como un Pasa/No-pasa, %fallido, Sí/No, Nº de defectos de un proceso,.....etc

- Cuenta la frecuencia de ocurrencia: por ejemplo, cuantas veces algo pasa ó no pasa.
- No tiene sentido dividir estos datos en incrementos más precisos.
- La validez de deducciones hechas a partir de datos discretos depende mucho de la cantidad de observaciones.
- Distribuciones: Los modelos binomial y de Poisson se utilizan con este tipo de datos.

Datos Ordinales: cambian en unidades enteras (orden, conteos,...)

Datos continuos ó variables: Datos medidos en unidades divisibles de manera continuada (\$, longitud, tiempo, peso,.....etc)

- Caracteriza un proceso ó producto en términos de tamaño, peso, voltios, tiempo ó dinero.
- Podría tener sentido dividir la escala de medición en incrementos de precisión cada vez más finos.
- Distribuciones: Las distribuciones normales sólo existen con datos continuos.



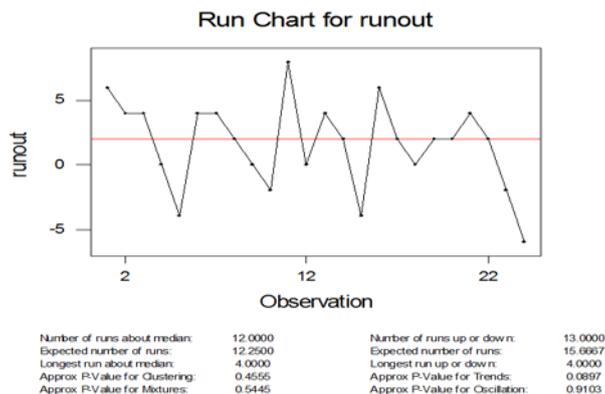
El decir que los **Datos son Normales** quiere decir que:

- El proceso se puede describir con 2 parámetros..... la Media (μ) y la desviación estándar ($SD = \sigma$). SD se usa para caracterizar la variabilidad de los datos y la varianza ($=\sqrt{SD}$) da una medida de la dispersión.
- El proceso es estable y su variación es aleatoria.

Podemos usar muchas **pruebas estadísticas** para verificar cambios del proceso y verificar si:

- es Aleatorio
- es Estable
- la Media
- la Mediana
- la Moda ("Mode")
- la Desviación Estándar Normal
- el Valor P

- 1) **PRUEBA ESTADÍSTICA PARA VER SI EXISTE UN CARÁCTER ALEATORIO ("RUN-CHART")**: Estadísticas>Herramientas de Calidad>Gráfica de corridas... Si los datos estuvieran todos en una misma columna selecciono columna individual y tamaño 1 de subgrupo si no hubiera más que un solo subgrupo. Se trata de una representación gráfica de los datos en series secuenciales de tiempo que te da un análisis estadístico de las capacidades y probabilidades.



Hipótesis Nula (Ho): El proceso es aleatorio. Interpretación Estadística: Si todas las P's > 0,05 → Acepto Ho.

Aparentemente no hay problemas con los datos representados. Hay una prueba significativa (si o no) de:

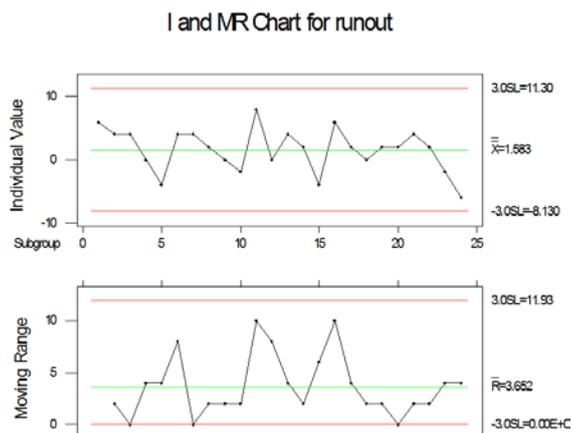
Clustering? __0.4555 (agrupamiento)

Trends? __0.0897 (tendencia)

Mixtures? __0.5445 (mezclas)

Oscillation? __0.9103 (oscilación)

- 2) **PRUEBA ESTADÍSTICA PARA VER SI EXISTE ESTABILIDAD**: ("control chart") Estadísticas>Gráficas de Control>Gráficas de variables para subgrupos>"X-barras-R... ó Gráfica I-MR-R/S". Si los datos estuvieran todos en una misma columna selecciono columna individual y tamaño 1 de subgrupo si no hubiera más que un solo subgrupo.



HIPÓTESIS: Todos los procesos son ESTABLES.

Si no hay puntos fuera de las líneas rojas, consideramos que el proceso es estable.

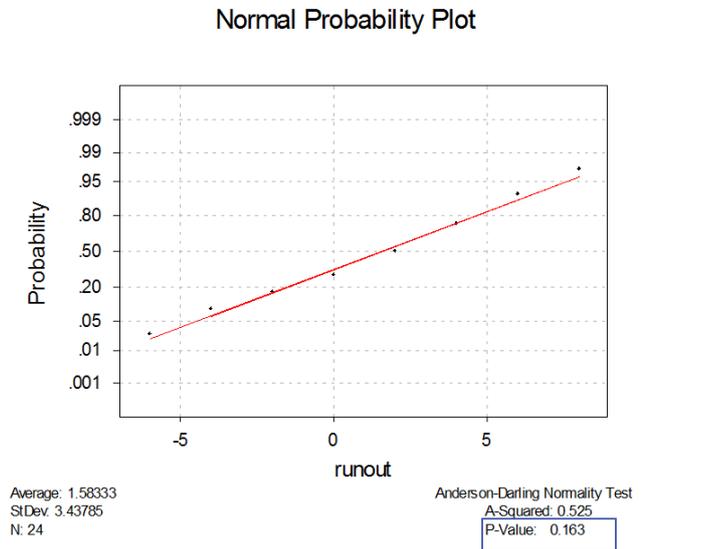
Si un punto está fuera de las líneas rojas, investigar si se puede asignar a una causa especial. Corregir el proceso. Si puedes asegurar que no volverá a pasar, se puede descartar este punto. Un "outlier" es un punto externo a ignorar sólo si se ha identificado la causa raíz y corregido el proceso. Entonces se puede descartar el outlier con seguridad.

3) PRUEBA ESTADÍSTICA PARA VER SI EXISTE **NORMALIDAD (NORMALITY TEST)**:

Tras poner todos los datos en una sólo columna o bien evaluando Subgrupo a subgrupo de manera individual vería si los datos son normales.

[Estadísticas>Estadística Básica>Prueba de Normalidad...](#)

Método gráfico para investigar si una muestra podría haber venido de una población de distribución normal. A menudo se usa para comprobar la validez del uso posterior de la herramienta ANOVA.



HIPÓTESIS NULA H_0 : Todos los procesos son NORMALES

Interpretación estadística -Si valor $P > 0.05$ entonces acepto H_0 , el proceso es NORMAL.

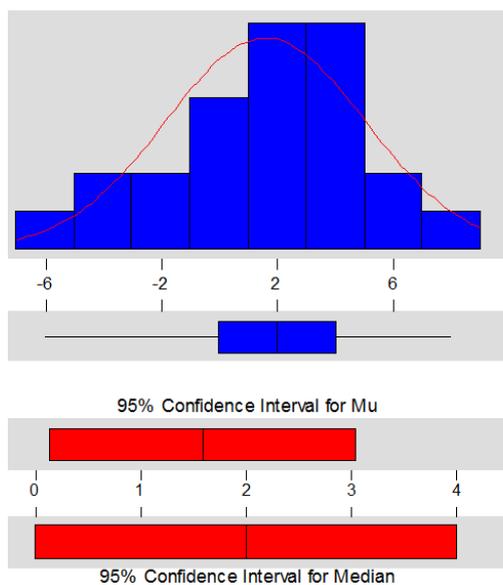
Nota práctica – Si has pasado las pruebas de carácter aleatorio y de estabilidad y todos los puntos caen más o menos cerca de la línea roja: puedes suponer normalidad y seguir con cuidado. En un proceso no-normal, la desviación estándar podría darte conclusiones erróneas.

Otro modo para ver de una vez si todos mis subgrupos o muestras son Normales:

[ESTADÍSTICAS>ESTADÍSTICA BÁSICA>RESUMEN GRÁFICO...](#)

[STAT>BASIC STATISTICS>Display Descriptive Statistics](#) Luego pincho en GRAPH y selecciono [GRAPHICAL SUMMARY](#) (ver en la página siguiente).

Descriptive Statistics



Variable: runout

Anderson-Darling Normality Test

A-Squared: 0.525
P-Value: 0.163

Mean 1.58333
StDev 3.43785
Variance 11.8188
Skewness -4.3E-01
Kurtosis -9.3E-02
N 24

Minimum -6.00000
1st Quartile 0.00000
Median 2.00000
3rd Quartile 4.00000
Maximum 8.00000

95% Confidence Interval for Mu

0.13165 3.03501

95% Confidence Interval for Sigma

2.67195 4.82249

95% Confidence Interval for Median

0.00000 4.00000

HIPÓTESIS Nula H_0 : Todos los datos de mi proceso son NORMALES. Si $p > 0,05$: Acepto H_0 (Anderson Darling p-value)
En una distribución Normal la Media, la Mediana y la moda deberían de ser iguales.

Interpretación estadística –

Mean = Media, valor promedio.

StDev = desviación estándar, mide la variación.

N = Cantidad de puntos de la muestra.

Q1 = percentil 25 ó punto del 25% de los datos.

Median = mediana ó percentil 50, punto del 50% de los datos.

Q3 = percentil 75 ó punto del 75% de los datos.

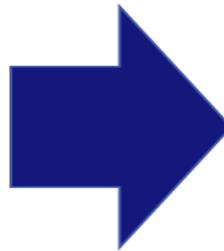
95% confidence of mean – 95% de probabilidad de que la media de la población esté dentro del intervalo de confianza. Para reducir el intervalo hay que reducir la variación ó ampliar la cantidad de puntos.

Cuando los datos no son Normales generalmente es porque o bien existe algún dato erróneo o bien porque los datos no pertenecen a un solo proceso bien diferenciado. Se podrían presentar en una misma gráfica de probabilidad varias columnas de datos distintos a la vez.

Si no fuera por ninguna de las dos razones anteriores, podría quizás ser porque la media y la desviación estándar me están orientando equivocadamente. Entonces podría usar otros indicadores estadísticos como son la tendencia central y la mediana, la varianza y el rango ó “span” 5-95.

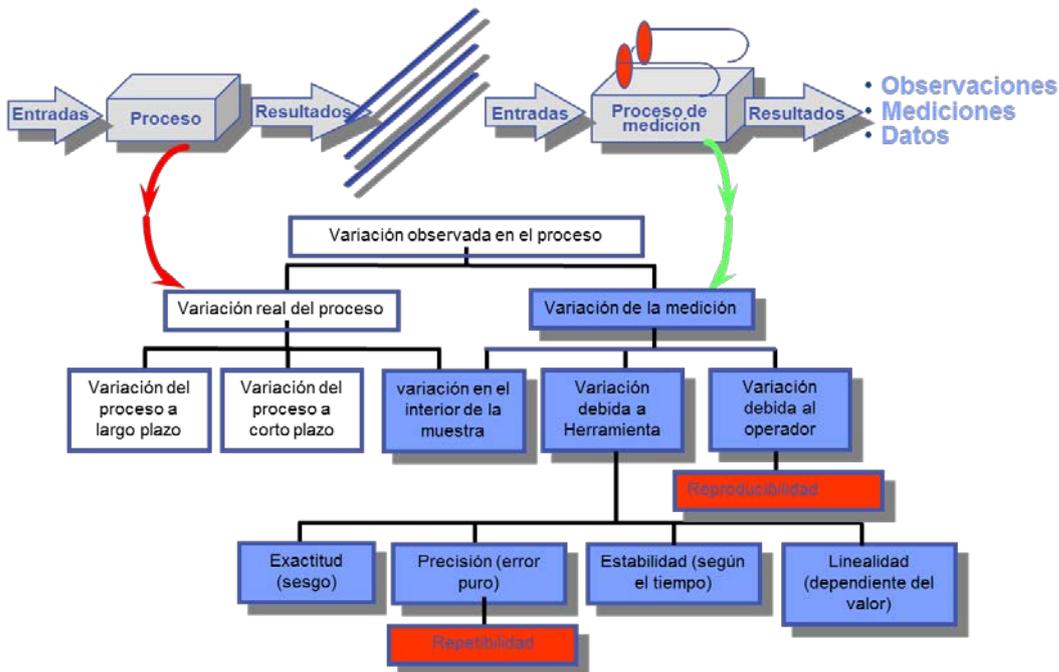
MEDIR 3.- ANÁLISIS DEL SISTEMA DE MEDICIÓN: Establecer el plan de recopilación de datos, se valida el sistema de medición y se empieza a recoger datos. Resultado esperado: Ver que el sistema de medición es adecuado/válido para medir mi Y. Herramientas: **Regla de medir continua R&R**, **Prueba-Reprueba**, **Regla de medir característica R&R**. Por ejemplo, una vez fijada la cantidad de piezas a medir y el número de operarios (“appraisers”), se apuntan los datos obtenidos de la siguiente manera:

First Measurement Set			Second Measurement Set		
Part	Operator	Response	Part	Operator	Response
1	1	0.65	1	1	0.60
2	1	1.00	2	1	1.00
3	1	0.85	3	1	0.80
4	1	0.85	4	1	0.95
5	1	0.55	5	1	0.45
6	1	1.00	6	1	1.00
7	1	0.95	7	1	0.95
8	1	0.85	8	1	0.80
9	1	1.00	9	1	1.00
10	1	0.60	10	1	0.70
1	2	0.55	1	2	0.55
2	2	1.05	2	2	0.95
3	2	0.80	3	2	0.75
4	2	0.80	4	2	0.75
5	2	0.40	5	2	0.40
6	2	1.00	6	2	1.05
7	2	0.95	7	2	0.90
8	2	0.75	8	2	0.70
9	2	1.00	9	2	0.95
10	2	0.55	10	2	0.50
1	3	0.50	1	3	0.55
2	3	1.05	2	3	1.00
3	3	0.80	3	3	0.80
4	3	0.80	4	3	0.80
5	3	0.45	5	3	0.50
6	3	1.00	6	3	1.05
7	3	0.95	7	3	0.95
8	3	0.80	8	3	0.80
9	3	1.05	9	3	1.05
10	3	0.85	10	3	0.80

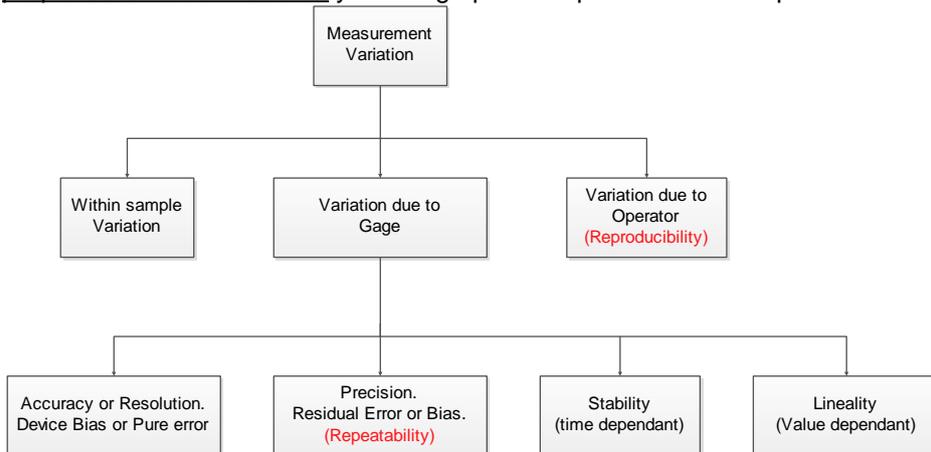


All Measurements		
Part	Operator	Response
1	1	0.65
2	1	1.00
3	1	0.85
4	1	0.85
5	1	0.55
6	1	1.00
7	1	0.95
8	1	0.85
9	1	1.00
10	1	0.60
1	2	0.55
2	2	1.05
3	2	0.80
4	2	0.80
5	2	0.40
6	2	1.00
7	2	0.95
8	2	0.75
9	2	1.00
10	2	0.55
1	3	0.50
2	3	1.05
3	3	0.80
4	3	0.80
5	3	0.45
6	3	1.00
7	3	0.95
8	3	0.80
9	3	1.05
10	3	0.85
1	1	0.60
2	1	1.00
3	1	0.80
4	1	0.95
5	1	0.45
6	1	1.00
7	1	0.95
8	1	0.80
9	1	1.00
10	1	0.70
1	2	0.55
2	2	0.95
3	2	0.75
4	2	0.75
5	2	0.40
6	2	1.05
7	2	0.90
8	2	0.70
9	2	0.95
10	2	0.50
1	3	0.55
2	3	1.00
3	3	0.80
4	3	0.80
5	3	0.50
6	3	1.05
7	3	0.95
8	3	0.80
9	3	1.05
10	3	0.80

Las 3 posibles fuentes de variación de la Medición podrían representarse de la siguiente manera:



Para tratar la variabilidad real del proceso primero se debe identificar la variación debida al propio sistema de medición y así luego poder separarla de la del proceso.



EXACTITUD (Sesgo): la diferencia entre la medición promedio observada y un estándar externo a mi medición. Ej.: Mi micrómetro siempre mide 0,001 m de menos.

REPETIBILIDAD: variación que se produce cuando una misma persona mide repetidamente lo mismo con el mismo equipo de medición.

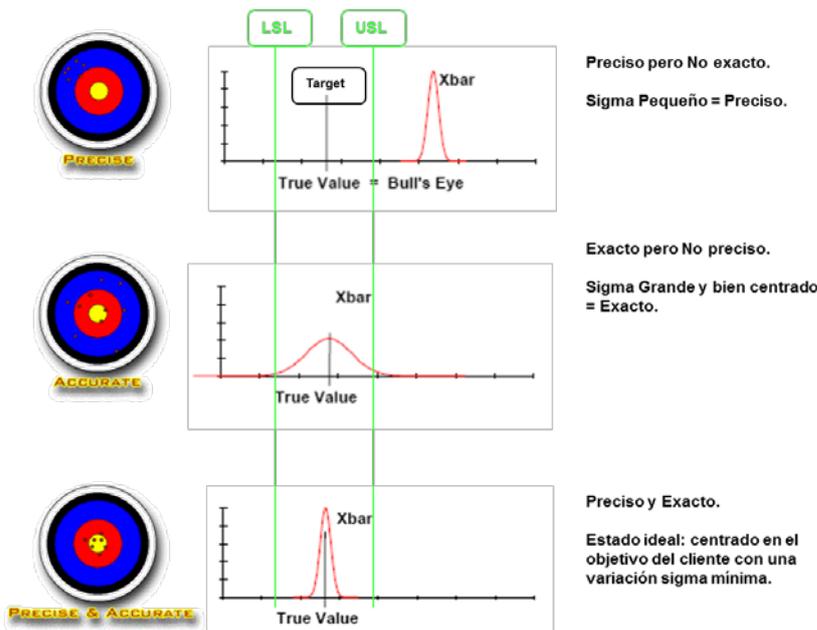
REPRODUCIBILIDAD: variación que se produce cuando dos o más personas miden lo mismo usando el mismo equipo de medición.

ESTABILIDAD: variación obtenida cuando la misma persona mide lo mismo con el mismo equipo varias veces durante un periodo de tiempo prolongado.

LINEALIDAD: la coherencia del sistema de medición en todo su rango. Depende del valor a medir.

Para mejorar un equipo de medición o el propio sistema de medición primero he de arreglar su precisión (disminuir la variación al máximo) y luego su exactitud (acercar la media lo más posible a la medida real).

**Analogía de la diana. Exactitud frente a precisión.
Accuracy vs. Precision**



Analogía de la Diana. Exactitud frente a precisión. Naturaleza de los problemas estadísticos. LSL, Target, USL, Xbar o Media son todas medidas estadísticas.

Checklist para analizar el Sistema de Medición. Preguntas para cuando estas planificando tu estudio MSA (“Measurement System Analysis/Adequate”):

- 1.- ¿Qué se mide? (nombrar la pieza y su característica/s a medir)
- 2.- ¿Quién mide?
- 3.- ¿Existe un procedimiento para medir? ¿Cómo se mide? (procedimiento operacional estándar) ¿Cuáles son los estándares aplicables? ¿Se usan?
- 4.- Cuando aplique, ¿Qué dice el proveedor de la herramienta de medición de su?
 - Discriminación o Resolución (también llamada escala de escrutinio)
 - Exactitud o Sesgo (tras calibración)

Inaccuracy = Device Accuracy or Device Bias or Pure Error = \bar{X} bar – True value
 - Falta de precisión o error residual de la medición
- 5.- ¿Tienes resultados de un(a)?:
 - Prueba-Reprueba (determina el error de la medición o la falta de precisión)
 - Estudio Gage R&R (distribuye o reparte el error entre la herramienta y el operario)
- 6.- ¿Es aceptable la resolución de tu sistema de medición? (debe de ser inferior a la Tolerancia/10).
- 7.- ¿Cuál es la precisión (error residual de la medición ó Bias) del sistema? ¿Cómo fue determinada? ¿Es aceptable?.....Por ejemplo en un Test/Re-test si $s < (Tol/10)$ entonces es aceptable.
- 8.- ¿Cuál es la Exactitud (Error Puro o Sesgo) de tu sistema de medición? ¿Cómo fue determinada? ¿Es aceptable?..... Por ejemplo en un Test/Re-test si el Sesgo está dentro de lo especificado por el fabricante entonces es aceptable.
- 9.- ¿Cuál de los siguientes te preocupa más?
 - Reproducibilidad (Reproducibility): Variación cuando dos ó más personas miden la misma unidad con el mismo equipo de medición.
 - Exactitud (Accuracy): La diferencia entre la media observada de una medida y un estándar
 - Repetibilidad (Repeatability): Variación cuando una persona mide repetidamente la misma unidad con el mismo equipo de medición.
 - Estabilidad (Stability): Variación obtenida cuando la misma persona mide la misma unidad con el mismo equipo a lo largo de un periodo extenso de tiempo.
 - Linealidad (Linearity): Consistencia del sistema de medida a través del rango entero del sistema de medición.
- 10.- ¿Se usan más de una herramienta para recoger datos similares? Identifica qué datos provienen de cada herramienta

Otras preguntas adicionales para planificar el MSA:

- ¿Qué es una pieza?
- ¿Cuántas piezas vas a incluir en tu estudio?
- ¿Cuántos “operarios” o técnicos de medición van a participar en tu estudio?
- ¿Quiénes son? (si son seleccionados al azar o no)
- ¿Cómo vas a hacer medidas repetidas? (si se les entregarán las piezas mezcladas, tiempo de espera entre mediciones,.....)
- ¿Cuántas medidas repetidas (ensayos) hará cada operario de cada pieza?
- ¿Tienes definiciones operacionales y buenos procedimientos para medir?

Ensayo del sistema de medición (MSA) para Datos CONTINUOS:

- A. Pautas para el estudio Prueba-Reprueba (Test-Retest) con la plantilla Excel:
- **Precisión del equipo:** en realidad la falta de precisión debería de ser de menos de 1/10 de la tolerancia. **$SD < (Tolerancia/10)$** . Si SD superara a la (Tolerancia/10) entonces el sistema de medición es inaceptable ya que el equipo introduciría un ruido/error excesivo dentro de los datos, tendría un problema de repetibilidad. Se requieren acciones para encontrar y quitar las fuentes de éste ruido y generalmente pasa por sustituir al equipo de medición por otro distinto.
 - **Exactitud del equipo:** Podría ser estimada si conocemos el valor real de la unidad a medir.

$$Inaccuracy = Device Accuracy or Device Bias or Pure Error = \bar{X} - True\ value$$

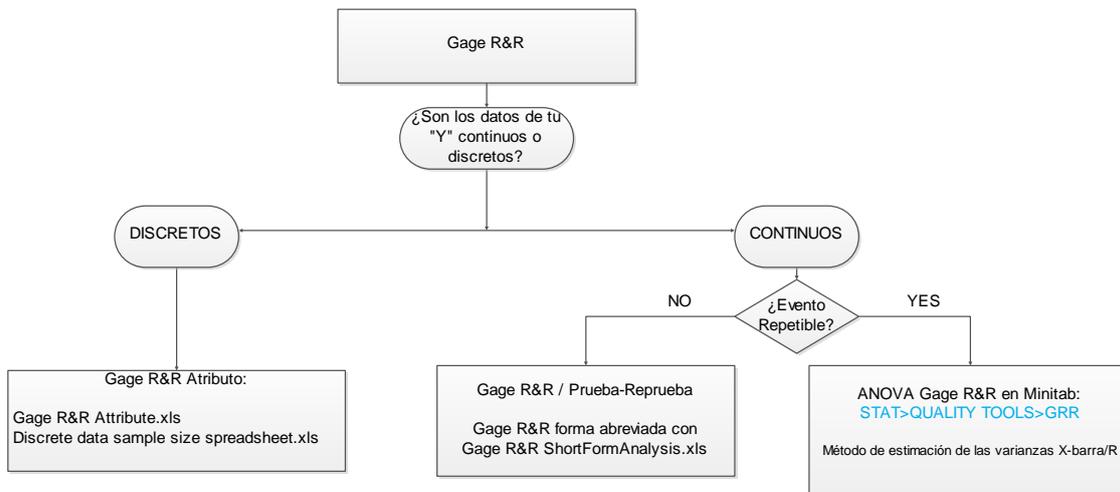
Si usamos una "Unidad Estándar" su valor real es conocido. Si no es de ésta manera no sabrás el valor real y por lo tanto no será posible determinar la exactitud del equipo.

- B. Método Reducido o Corto con una plantilla Excel (Short Method)
- C. Método de "Análisis de la varianza ANOVA" ó "Método de Estimación de las Varianzas (\bar{X} barra/R)", ambos con Minitab .

Comprobación del sistema de Medición en cuanto a su repetividad (entre una misma persona) y su reproducibilidad (entre varias personas u operarios). Gage Repeatability & Reproducibility (Gage R&R).

Prueba	¿Por qué?	¿Cómo se hace la prueba?	Conclusiones
A) Prueba-reprueba	Método rápido cuando hay pocos recursos.	1 persona, 1 pza x 10 veces. Plantilla Excel.	Repetividad=precisión ó exactitud de mi instrumento (SD)= error de medición
B) Forma abreviada (Short method)		Varias personas, varias pzas, 1 vez por pza cada persona. Plantilla Excel.	R&R mezclados, sin poder distinguir entre uno y otro. No sabemos si el problema viene del operario o de la hrta. Ej.: para pruebas destructivas.
C) ANOVA (Analysis Of Variance)	Método muy completo.	Varias personas, varias pzas, varias veces, misma CTQ ó Y. Se resuelve con MINITAB.	Se difiere entre Repetividad y Reproducibilidad.

GageR&R: Se trata de un análisis del porcentaje del total de la variación de una distribución que podría ser atribuido a la variación del propio sistema de medición. Pruebas que utilizaré para evaluar mi sistema de medida tanto si los datos son continuos como discretos:



METODO GAGE R&R ATRIBUTO (datos discretos o atributos):

Gage R&R Atributo: Para ver si mi inspector cuando mide y dice que la pieza está bien ó mal es porque así es realmente. Atributo=Valor Verdadero.

Y/N Agree: si los operarios están de acuerdo y coinciden entre sí = Reproducibilidad.

Tanto la Repetibilidad como la Reproducibilidad han de ser mayores del 90%.

%GR&R < 10%, porque no conozco la Tolerancia. Son datos discretos sí/no.

		Operator 1		Operator 2		Operator 3		Y / N
Sample	Attribute	Trial 1	Trial 2	Trial 1	Trial 2	Trial 1	Trial 2	Agree
1	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Yes
2	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Yes
3	Pass	Pass	Fail	Fail	Fail	Pass	Pass	No
4	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Yes
5	Fail	Fail	Fail	Pass	Pass	Pass	Fail	No
6	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Yes
7	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Yes
8	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Fail	No
9	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Yes
10	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Yes
11	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Yes
12	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Yes
13	Pass	Pass	Pass	Pass	Fail	Pass	Pass	No
14	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Fail	No
15	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Yes
16	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Yes
17	Fail	Pass	Pass	Fail	Fail	Pass	Fail	No
18	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Yes
19	Pass	Fail	Fail	Pass	Fail	Fail	Fail	No
20	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Yes
Repeatability		= (35/40)*100 =	87,50%	= (34/40)*100 =	85,0%	= (34/40)*100 =	85,0%	= (13/20)*100
		Reproducibility						65%

En éste caso se suelen emplear las plantillas en Excel llamadas “Gage R&R attribute.xls” y “discrete data sample size spreadsheet.xls”.

En Minitab hay varios ejemplos acerca de éste tema en: [Ayuda>Tutoriales>Análisis de sistemas de medición>Análisis de concordancia de Atributos.](#)

ESTUDIO PRUEBA-REPRUEBA (datos continuos). Ejemplo de un estudio de “Prueba/Re-prueba” en un equipo de medición (test/re-test study): Se tomaron 30 mediciones repetidas de un estándar de producción de un espesor dado de 50mm. Se utiliza el sistema de medición para hacer una medida en la que el campo de tolerancia para el espesor es de 20, ya que la especificación del proceso es de 50 +/-10mms.

Mediciones del espesor de una chapa en mms:

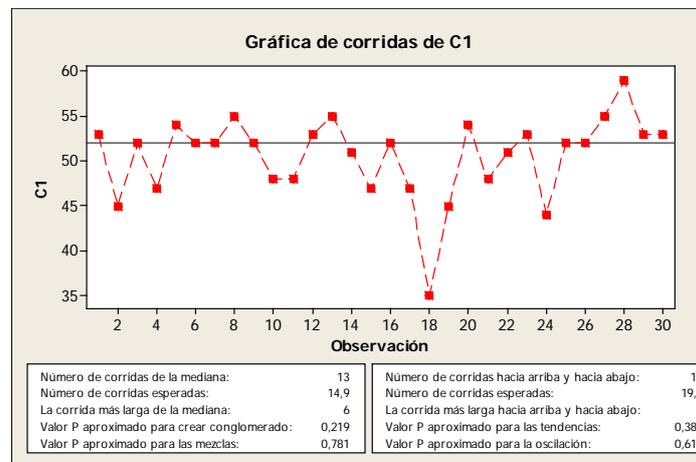
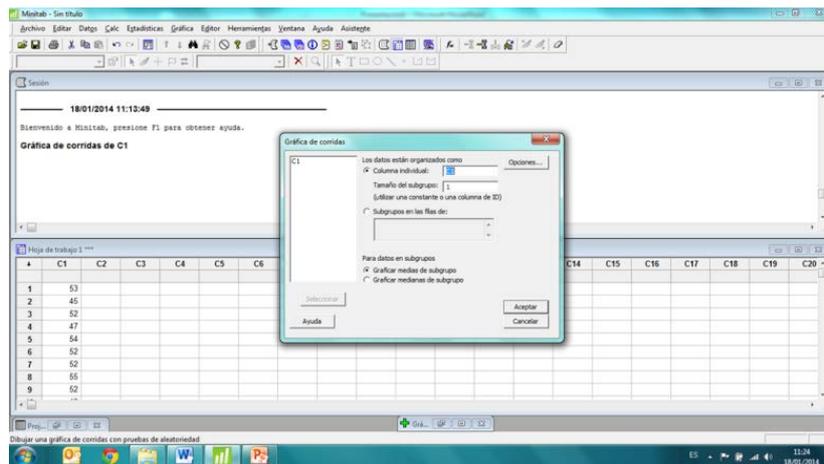
53	48	48
45	53	51
52	55	53
47	51	44
54	47	52
52	52	52
52	47	55
55	35	59
52	45	53
48	54	53

PASO1: Representar gráficamente las 30 medidas en el orden en el que fueron tomadas, los 30 valores en una sola columna dentro de Minitab. Hay que buscar patrones o tendencias que nos puedan indicar que el equipo “cambia” según se tomen las medidas.

Aleatoriedad: [Mininitab>Herramientas de Calidad>Gráficas de corridas \(Run-chart en inglés\)](#), pongo todos los datos en la columna C1 y elijo tamaño subgrupo 1.

[Minitab>Runchart>Test for Randomness](#) /// [Statistics>Nonparametrics>Run Test](#)

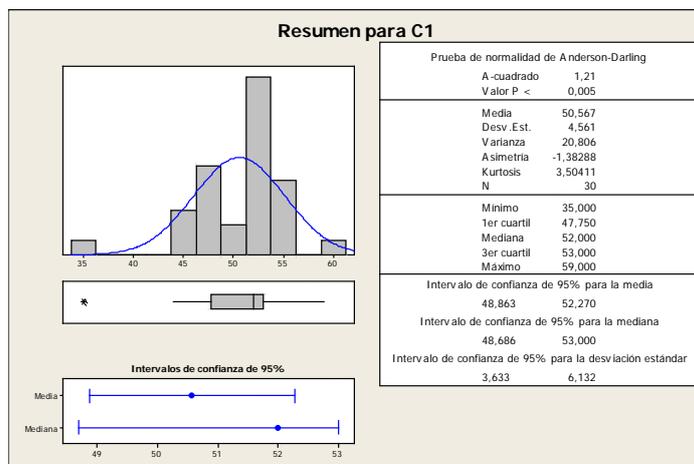
H₀: Los datos son aleatorios. Si $p > 0,05$ aceptaré H₀.



Hay que verificar el valor de P par aver cuáles son las tendencias, los agrupamientos, la oscilación o mezclas. Si el valor de $P < 0,05$ los datos NO serán aleatorios y habrá que investigar por qué. En éste ejemplo mis datos tienen **carácter Aleatorio ($P > 0,05$)**.

PASO 2: Calculo las estadísticas de la muestra (Xbarra y DE) y hago un **histograma** de las medidas. En el ejemplo se ve que la media es 50,6 y la desviación estándar es 4,6.

Minitab>Estadísticas>Estadística Básica>Resumen Gráfico; Nivel de confianza: 95.



Se presenta en éste gráfico los márgenes de confianza al 95% de la media (μ), de la mediana y de la desviación estándar (σ).

PASO 3: Conclusiones. Dado el campo de tolerancia del espesor es 20mms, los datos de prueba/re-prueba muestran un nivel inaceptable de imprecisión en el equipo, ya que:

$$DE=4,6 \gg (20/10)=2$$

El equipo tiene problemas con el error de la medición. Como el estándar utilizado tiene un espesor conocido de 50mm, la estimación de la Exactitud será:

$$\text{Inexactitud}=\text{Sesgo}=(\text{Media} - \text{Valor Real})=(50,6 - 50)= +0,6\text{mms}$$

Lo aceptable o no aceptable de éste nivel de sesgo dependerá del tipo de aplicación. Si éste permaneciera constante de lectura en lectura, entonces podría "ajustar" todas las mediciones posteriores si les restara el valor conocido de sesgo de 0,6mms.

Formulario para registrar resultados del Prueba/Reprueba y de la Forma Abreviada

Preliminares:

- 1) ¿Cuál es la herramienta? ¿y la pieza? ¿y la característica?
- 2) ¿Cuál es la unidad de medición? ¿y la resolución de la herramienta? (la unidad de escala)
- 3) ¿Tienes un estándar? Sí No
- 4) ¿Cuál es la banda de tolerancia?
- 5) ¿Es aceptable la resolución de la herramienta? (tiene que dividir a la tolerancia en 10 partes por lo menos) Sí No

Estudio Prueba/Reprueba. Fecha en la que se hizo el estudio:

- 1) Herramienta probada (descripción o código):
- 2) Estándar Usado (descripción o código):
- 3) # de medidas realizadas:

Salida Gráfica:

- 1) Run Chart---¿Hay alguna tendencia, pauta o patrón, ó desvío? Sí No

Cálculos:

- 1) Media: Desviación estándar:
- 2) ¿Es la precisión aceptable? Sí No (para ser aceptable: Desviac. Std < (Rango Tol/10))
- 3) ¿Está la Exactitud aprobada por el fabricante del equipo? Sí No (Inaccuracy=Xbar-True value)

Conclusiones y pasos siguientes: Si todo va bien entonces se puede proceder con el ANOVA Gage R&R

Análisis Forma Abreviada. Fecha en la que se realizó el estudio:

- 1) Número de piezas medidas:
- 2) Número de operarios:

Cálculos:

- 1) Gage R&R como % de Tolerancia: ¿Es aceptable? Sí No

Conclusiones y pasos siguientes:

GAGE R&R FORMA ABREVIADA (Datos Continuos): Se emplea éste método para determinar la Exactitud y Precisión del dispositivo, sistema ó herramienta “gage” de medición.

“Exactitud” = Error del equipo medición = Repetitividad.

“Precisión” = Reproducibilidad

Directrices:

- 1) La resolución/exactitud de la herramienta o dispositivo (su unidad de escala) ha de ser como máximo la tolerancia dividida entre 10. La precisión debería ser inferior a 1/10 de la tolerancia : $SD < 1/10 \times \text{Tolerancia}$.

Ejemplo: Un equipo se ensaya en cuanto a su precisión sobre un patrón conocido de 60 mils. La anchura de la tolerancia es de 20mils (+/-10mils) y se toman 30 mediciones. ¿Es aceptable el nivel de precisión del equipo? **Solución: NO.**

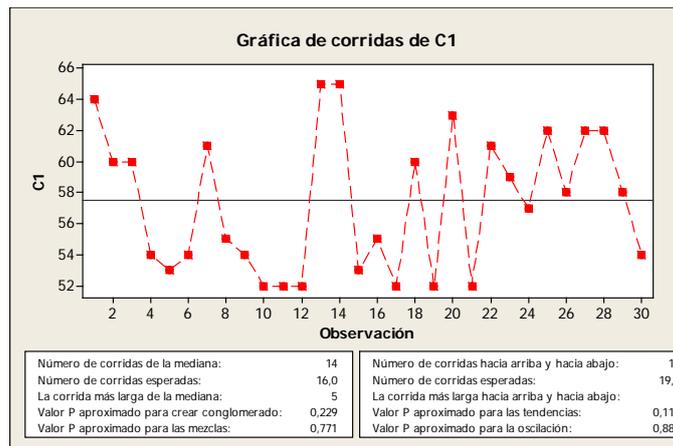
Mediciones: 64,60,60,54,53,54,61,55,54,52,52,52,65,65,53,55,52,60,52,63,52,61,59,57, 62,58,62,62,58,54.

$$\text{mean } \bar{x} = 57.3667 \quad \text{Std Dev} = 4.4527$$

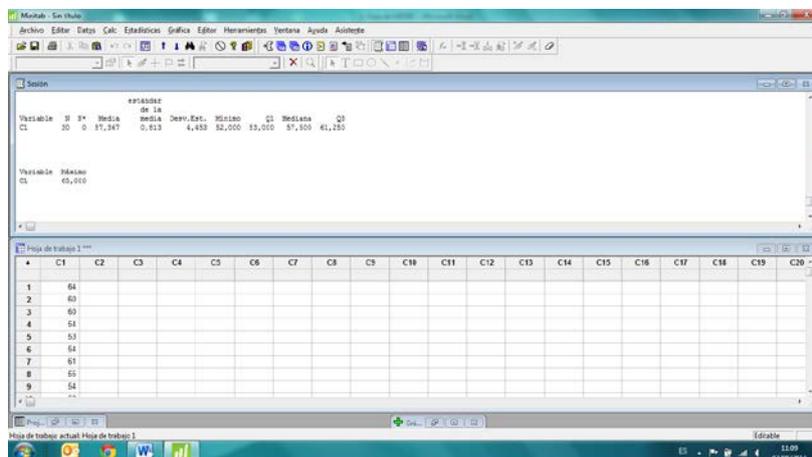
$$\text{Para que mi sistema sea Aceptable} \quad SD < \left(\frac{1}{10} \cdot \text{Tolerance}\right)$$

Como $4.45 > (20/10) = 2$ entonces Nivel inaceptable de precisión

En Minitab: **Estadísticas>Herramientas de Calidad>Gráfica de corridas (Run-chart with a sub-group size of 1)** para determinar la aleatoriedad de los datos. Como todas las P's>0,05 el proceso es aleatorio.



Estadísticas>Estadística Básica>Mostrar estadísticas descriptivas para obtener el valor de la desviación estándar.



- 2) La **exactitud** del dispositivo se puede estimar si se conoce el valor verdadero de la unidad de test:

Imprecisión = Sesgo del equipo = X barra (media de mis valores ó mediciones) - "Valor verdadero"

Ejemplo: Sobre el mismo conjunto de mediciones del ejemplo anterior calcular el "device vías" si el margen de error es de +/-0.01 mils.

$$\begin{aligned} \text{Device vías} &= \text{Inaccuracy} = \text{Mean}(\text{ó } X \text{ bar}) - \text{True value}(\text{patrón conocido}) = \\ &= 57.3667 - 60 = -2.634 \text{ (quito el tercer decimal acorde al margen de error)} \end{aligned}$$

Modo de realizar éste Estudio:

- Midiendo repetidamente el mismo elemento.
- Manteniendo las mismas condiciones, el mismo operador, y "posición" sobre elemento.
- Montando y desmontando por completo cada elemento antes de obtener cada grupo de mediciones, tal y como si debe de hacer durante su uso normal.

Para poder obtener alguna conclusión he de tener veinte (20) ó más mediciones. He de calcular la media de la muestra (X barra) y la desviación estándar o típica (s ó SD) de las mediciones repetidas. La SD la obtendré con Minitab utilizando todas las mediciones ó puntos de mi estudio, parámetro que es intrínseco a mi proceso de medición.

El ratio %GR&R: Compara la variación de mi sistema de medición contra lo que quiere el cliente. Probabilidad de decirle al cliente que la pieza es buena cuando no lo es.

- R&R menos de 10% — sistema de medición aceptable.
- R&R de 10% a 30% - podría ser aceptable – decida según la clasificación de la característica, su aplicación, opinión del cliente, etc.
- R&R mayor de 30% - inaceptable. Encuentre el problema, revise el diagrama de causa y efecto y elimine la causa raíz.

30% de la Tolerancia Total: Límite que si es superado me confirma que mi sistema de medición no es aceptable o válido.

Para evaluar la Reproducibilidad mediante éste método se puede emplear la plantilla en Excel "**Gage R&R ShortFormAnalysis.xls**".

A modo de ejemplo:

PIEZA	OPERARIO A	OPERARIO B	RANGO (A-B)
1	4	2	2
2	3	4	1
3	6	7	1
4	5	7	2
5	9	8	1
Sumas totales:	27	28	7
		Rango promedio ó Sigma Measurement Variation (7/5pzaz):	1.4

Tolerancia (Overall process tolerance width)= 20
 Rango promedio(Average range)= R = [Sumatorio(Rangos)/5] = (7/5) = 1.4
 Error del instrumento (Gage error or Gage R&R) = (5.15 x R)/1.19 = (5.15 x 1.4)/1.19 = 6.1
 La constante 1.19 se obtiene de la tabla de debajo para 5 piezas (eje y) y 2 operarios (eje x).
 Una envergadura (span) de 5.15 STD ó desviaciones estándar representa un 99% de confianza para el estudio de variación en una distribución Normal.

Gage R&R como % de tolerancia (%GageR&R): (Gage R&R x 100) /Tolerancia = (6.1 x 100/20) = 30.5%
 Ésto quiere decir que el 31% de tu tolerancia está cubierta por la variación del sistema de medición. Así que el sistema de medición no será eficaz para medir posibles mejoras del proceso.

# of parts OR # Samples (k)	# of operators OR Size of samples (n)														
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	1.414	1.912	2.239	2.481	2.673	2.830	2.963	3.078	3.179	3.269	3.350	3.424	3.491	3.553	
2	1.279	1.805	2.151	2.405	2.604	2.768	2.906	3.025	3.129	3.221	3.305	3.380	3.449	3.513	
3	1.231	1.769	2.120	2.379	2.581	2.747	2.886	3.006	3.112	3.205	3.289	3.366	3.435	3.499	
4	1.206	1.750	2.105	2.366	2.570	2.736	2.877	2.997	3.103	3.197	3.282	3.358	3.428	3.492	
5	1.191	1.739	2.096	2.358	2.563	2.730	2.871	2.992	3.098	3.192	3.277	3.354	3.424	3.488	
6	1.181	1.731	2.090	2.353	2.558	2.726	2.867	2.988	3.095	3.189	3.274	3.351	3.421	3.486	
7	1.173	1.726	2.085	2.349	2.555	2.723	2.864	2.986	3.092	3.187	3.272	3.349	3.419	3.484	
8	1.168	1.721	2.082	2.346	2.552	2.720	2.862	2.984	3.090	3.185	3.270	3.347	3.417	3.482	
9	1.164	1.718	2.080	2.344	2.550	2.719	2.860	2.982	3.089	3.184	3.269	3.346	3.416	3.481	
10	1.160	1.716	2.077	2.342	2.549	2.717	2.859	2.981	3.088	3.183	3.268	3.345	3.415	3.480	
11	1.157	1.714	2.076	2.340	2.547	2.716	2.858	2.980	3.087	3.182	3.267	3.344	3.415	3.479	
12	1.155	1.712	2.074	2.3439	2.546	2.715	2.857	2.979	3.086	3.181	3.266	3.343	3.414	3.479	
13	1.153	1.710	2.073	2.338	2.545	2.714	2.856	2.978	3.085	3.180	3.266	3.343	3.413	3.478	
14	1.151	1.709	2.072	2.337	2.545	2.714	2.856	2.978	3.085	3.180	3.265	3.342	3.413	3.478	
15	1.150	1.708	2.071	2.337	2.544	2.713	2.855	2.977	3.084	3.179	3.265	3.342	3.412	3.477	
d_2	1.128	1.693	2.059	2.326	2.534	2.704	2.847	2.970	3.078	3.173	3.259	3.336	3.407	3.472	

Duncan A. J (1986), Quality Control and Industrial Statistics Appendix D3

Values of d_2^* and d_2 . Distribution of the Average Range.

En ésta forma abreviada no es posible separar o diferenciar entre lo que es Repetividad y lo que es Reproducibilidad.

Otro ejemplo del "Gage R&R Short form". Calcular el porcentaje total de la tolerancia para los siguientes datos:

#Pieza	Operario#1	Operario#2	Rango (#1-#2)	Rangos en valor Absoluto
1	2,003	2,001	0,002	0,002
2	1,998	2,003	-0,005	0,005
3	2,007	2,006	0,001	0,001
4	2,001	1,998	0,003	0,003
5	1,999	2,003	-0,004	0,004
Sumas:	10,008	10,011		0,015
				0,003

Rango Promedio ó Sigma Measurement Variation (0,015 / 5 piezas)

$$Gage Error(Gage R\&R) = \frac{5,15 \cdot (R)}{(d^*)} = \frac{5,15 \cdot 0,003}{1,19} = 0,013$$

$$Gage R\&R \text{ as a \% of Tolerance} = \frac{Gage R\&R}{Tolerance} \cdot 100 = \frac{0,013}{0,030} \cdot 100 = 43,3\%$$

NOTAS:

- 1) Para +/-0,015 el rango total de tolerancia es 0,030
- 2) Para 5 piezas y 2 operarios $d^*=1,191$

GAGE R&R MÉTODO ANOVA (“Analysis of Variance”). Datos Continuos:

Se trata del mejor método cuando se pueden repetir las mediciones sobre una misma pieza o piezas. Método para determinar diferencias en los valores centrales usando la variación de las mediciones. El escenario ideal se da cuando a los operarios no se les dice que se está desarrollando un estudio ya que éstos podrían prejuzgar (“to bias”) los resultados. Importante: ésta prueba es para evaluar la cordura del sistema de medición y no para evaluar la variación en las piezas.

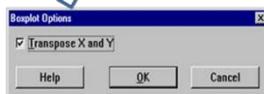
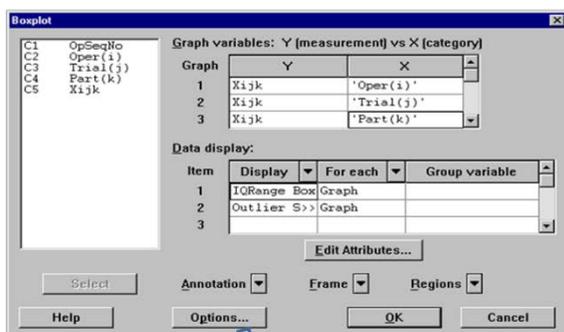
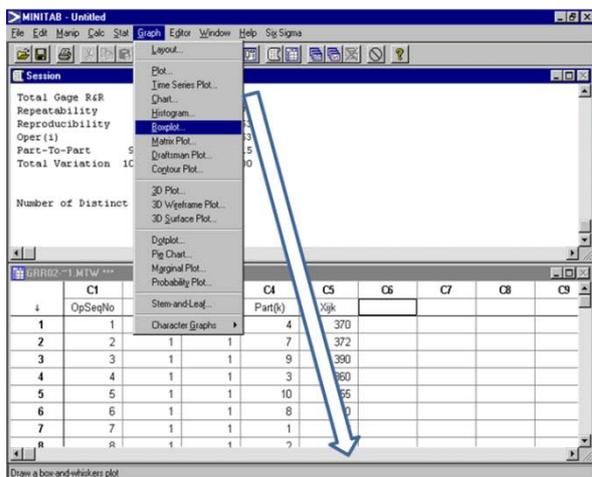
Ejemplo: La mejor manera de explicar éste método es mediante la realización de un ejemplo en Minitab (archivo Minitab Grr02-gvl6-97.mtw). Validar el sistema de medición actual utilizado para medir la longitud de un tornillo si:

- 3 Operarios (i), 3 ensayos o repeticiones (j), 10 piezas ó pernos (k) = 90 puntos de datos o mediciones.
- Datos en milímetros sin decimales (escala de la regla).
- Rango de X_{ijk} = 342 a 390; X barra = 364.54
- Rango de especificación (tolerancia) = (USL - LSL) = 20 mm

En Minitab se trabaja mejor con una sola columna de datos.

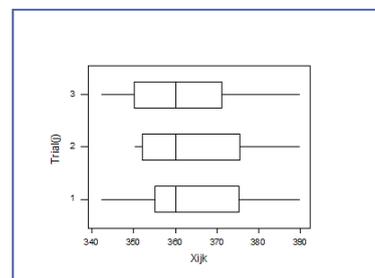
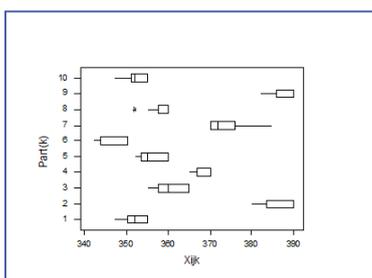
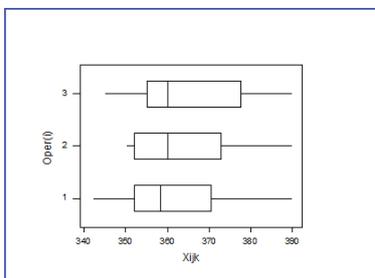
OpSeqNo	Oper(i)	Trial(j)	Part(k)	Xijk
1	1	1	4	370
2	1	1	7	372
3	1	1	9	390
4	1	1	3	360
5	1	1	10	355
6	1	1	8	360
7	1	1	1	352
8	1	1	2	390
9	1	1	6	342
10	1	1	5	360
11	2	1	8	360
12	2	1	1	355
13	2	1	4	370
14	2	1	3	365
15	2	1	6	350
16	2	1	9	390
17	2	1	10	352
18	2	1	7	372
19	2	1	5	360
20	2	1	2	390
21	3	1	3	365
22	3	1	2	390
23	3	1	4	369
24	3	1	9	390
25	3	1	7	385
26	3	1	1	355
27	3	1	8	360
28	3	1	5	360
29	3	1	10	355
30	3	1	6	350
31	1	2	5	352
32	1	2	7	370
33	1	2	9	387
34	1	2	6	350
35	1	2	2	382
36	1	2	10	352
37	1	2	4	370
38	1	2	1	352
39	1	2	8	352
40	1	2	3	357
41	2	2	10	352
42	2	2	8	360
43	2	2	3	360
44	2	2	4	370
45	2	2	1	352
46	2	2	5	360
47	2	2	2	390
48	2	2	9	390
49	2	2	7	375
50	2	2	6	350
51	3	2	1	355
52	3	2	5	355
53	3	2	2	380
54	3	2	9	387
55	3	2	7	377
56	3	2	8	360
57	3	2	6	350
58	3	2	10	355
59	3	2	4	365
60	3	2	3	358
61	1	3	7	370
62	1	3	9	382
63	1	3	10	347
64	1	3	1	347
65	1	3	8	355
66	1	3	5	352
67	1	3	3	355
68	1	3	4	365
69	1	3	2	385
70	1	3	6	342
71	2	3	6	350
72	2	3	2	390
73	2	3	4	370
74	2	3	9	390
75	2	3	3	365
76	2	3	10	352
77	2	3	7	370
78	2	3	5	355
79	2	3	1	350
80	2	3	8	360
81	3	3	4	370
82	3	3	10	350
83	3	3	1	350
84	3	3	3	363
85	3	3	2	385
86	3	3	8	360
87	3	3	9	385
88	3	3	6	345
89	3	3	5	355
90	3	3	7	375

Antes de nada miraremos los datos y realizaremos un análisis gráfico de los mismos en Minitab de la siguiente manera: [Graph > Boxplot](#) .



¿Qué factores afectan a las mediciones X_{ijk} en mayor medida? ¿El operario (i), el ensayo (j) ó la pieza (k)? Organizo los gráficos en subgrupos para visualmente poder hacer consideraciones.

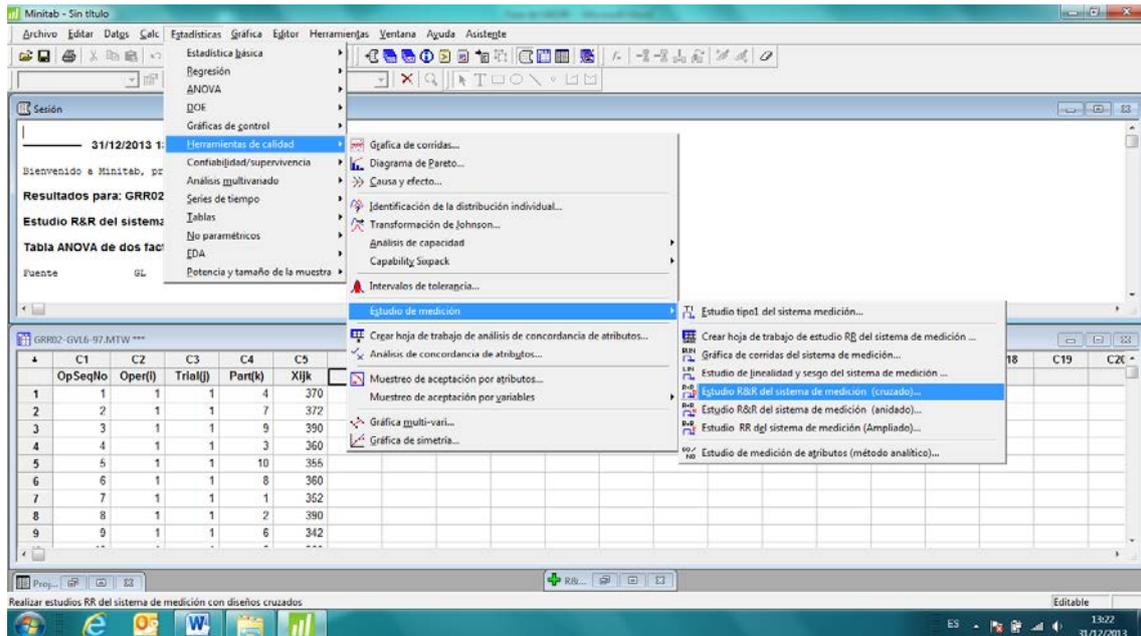
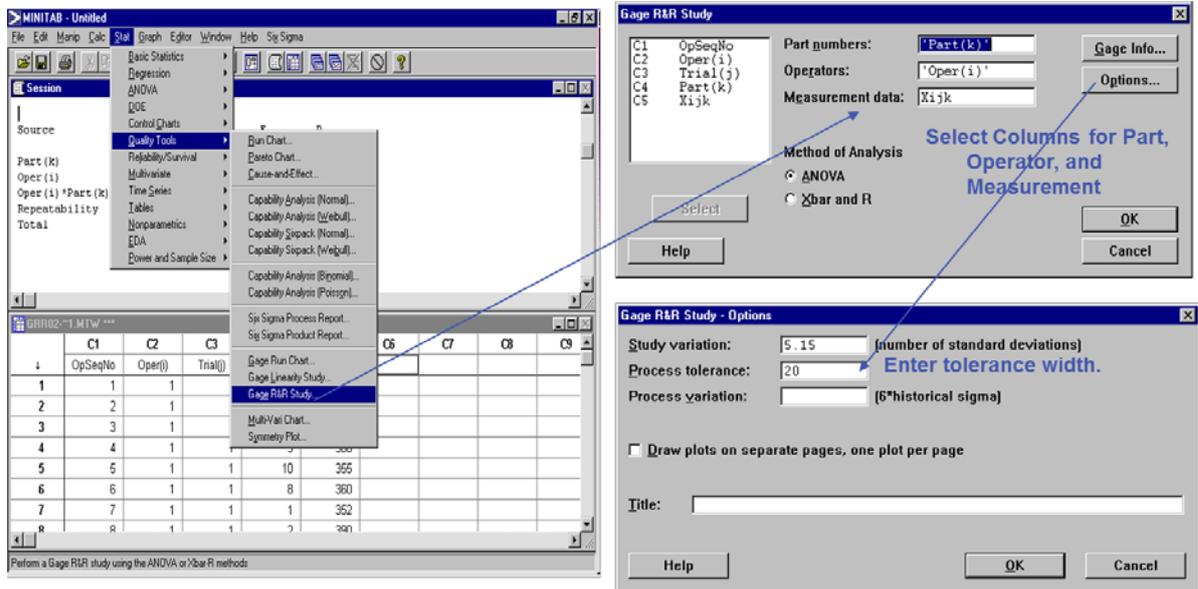
¿Qué conclusiones podéis sacar sobre el sistema de medición en base a los diagramas de cajas ó Box-plots?



Cada box-plot consta de 5 puntos:

- Valor Mínimo
- Percentil Q1 ó percentil del 25% de los datos
- Percentil Q2 ó percentil 50 ó MEDIANA
- Percentil Q3 ó percentil 75
- Valor Máximo.

Procedemos con el análisis de la varianza ANOVA en Minitab: **Stat > Qlty Tools > Gage R&R Study (crossed) > Options**. Se elige la opción cruzada porque cada pieza es medida por cada uno de los operarios varias veces.



Análisis de los resultados del “Gage R&R” Método ANOVA.REGLAS BÁSICAS:**A.) % de tolerancia de R&R: Pautas:**

- R&R menor de 10% - sistema de medición “aceptable”
- R&R de 10% a 30% - Puede ser aceptable – decida según la clasificación de la característica, aplicación, cliente, etc.
- R&R superior al 30% - Inaceptable. Encuentre el problema, revise el diagrama de pez, elimine la causa raíz. ¿Hay un equipo mejor de medición en el mercado? ¿Está justificado el coste adicional? A modo de ejemplo, en un departamento donde varias personas preparan las ofertas a los clientes, al no tratarse de tiempos de ciclo de carácter único (ya que cada persona tarda lo que tarda) no se podría usar Anova; el sistema de medición no sería válido ya que estaría íntimamente ligado al LSL y USL del cliente (los plazos límite que cada cliente me dé a la hora de recibir mis ofertas o presupuestos).

B.) % Contribución (ó StdDev del Gage R&R) (Cuando el objetivo es reducir la variación del proceso): La variación del Gage R&R debe ser pequeña comparada con la variación de pieza a pieza—se aplica en casos donde no hay una tolerancia significativa, y el % de tolerancia no está disponible como por ejemplo en las especificaciones de un solo lado o límite.

C.) Número de categorías distintas (Cuando el objetivo es reducir la variación del proceso) :

Relación “señal-ruido” = $(\text{StdDevparts}/\text{StdDevGR\&R}) \times 1.41$ y redondeada. Pautas:

- < 2 : no sirve para el control de proceso, todas las piezas “se ven” iguales
- = 2 : puede ver 2 grupos—alto/bajo, bueno/malo
- = 3 : puede ver 3 grupos—alto/medio/bajo
- >= 4 : sistema de medición aceptable (cuanto más alto, mejor)

D.) Resolución efectiva: Cuando el 50% o más del gráfico de X-barra está fuera de los límites de control —la variación entre piezas “excede” la variación del sistema de medición.

Ventana de sesión MINITAB: resultado de análisis para ANOVA GR&R

Source		%Contribution	%Study Var	%Tolerance
Total Gage R&R	5.62	23.70	90.04	A
Repeatability	4.29	20.70	78.66	
Reproducibility	1.33	11.53	43.81	
Operator	1.33	11.53	43.81	
Part-to-Part	94.38	97.15	369.12	
Total Variation	100.00	100.00	379.94	

Number of Distinct Categories = 6 **C**

Reglas básicas:

R&R% of Tolerance : error del sistema de medición como % de la tolerancia (si el objetivo es reducir defectos)

% Contribution (ó StdDev del Gage R&R): Cuando el objetivo es reducir la variación del proceso. La variación de pieza a pieza representa el 94.38% del total de la variación de mi procedimiento de medida (muy bueno).

Number of Distinct Categories: Número de categorías distintas. Cuando el objetivo es reducir la variación del proceso >4. Porciones en las que podría dividir mi tolerancia y cuantas más mejor; nunca <2 porque si no todas las piezas se verían iguales.

Effective Resolution: resolución efectiva.

Regla A: Referirse a ella sólo cuando te preocupe la Tolerancia. Se usa cuando mi objetivo sea reducir defectos.

Reglas B,C y D son independientes de los Límites de la especificación y son útiles cuando el objetivo sea reducir la variación entre piezas.

Regla B: regla a leer. La variación del equipo de medición debe de ser inferior a la variación entre piezas.

Regla C: cuantas más categorías pueda diferenciar el equipo de medición mayor será la variación que se puede reducir.

Regla D: las líneas rojas sobre el gráfico “X-bar chart by Operator” son los límites de error del equipo de medición. Si todos los puntos están dentro de los límites de error, todas las piezas le parecerían ser iguales al sistema de medición. Por lo tanto queremos como mínimo que el 50% de los puntos estén por fuera de las 2 líneas rojas (ver la “D” en el gráfico de debajo).

Resultados para: GRR02-GVL6-97.MTW**Estudio R&R del sistema de medición - método ANOVA****Tabla ANOVA de dos factores con interacción**

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Part(k)	9	16728,1	1858,68	186,698	0,000
Oper(i)	2	192,4	96,18	9,661	0,001
Part(k) * Oper(i)	18	179,2	9,96	1,089	0,385
Repetibilidad	60	548,7	9,14		
Total	89	17648,3			

Alfa para eliminar el término de interacción = 0,25

Tabla ANOVA dos factores sin interacción

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Part(k)	9	16728,1	1858,68	199,181	0,000
Oper(i)	2	192,4	96,18	10,307	0,000
Repetibilidad	78	727,9	9,33		
Total	89	17648,3			

R&R del sistema de medición

Fuente	CompVar	%Contribución (de CompVar)
R&R del sistema de medición total	12,226	5,62
Repetibilidad	9,332	4,29
Reproducibilidad	2,895	1,33
Oper(i)	2,895	1,33
Parte a parte	205,483	94,38
Variación total	217,709	100,00

La tolerancia del proceso es = 20

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. del estudio (5,15 * DE)
R&R del sistema de medición total	3,4966	18,0077
Repetibilidad	3,0548	15,7321
Reproducibilidad	1,7014	8,7624
Oper(i)	1,7014	8,7624
Parte a parte	14,3347	73,8236
Variación total	14,7550	75,9881

Fuente	%Var. del estudio (%VE)	%Tolerancia (VE/Toler)
R&R del sistema de medición total	23,70	90,04
Repetibilidad	20,70	78,66
Reproducibilidad	11,53	43,81
Oper(i)	11,53	43,81
Parte a parte	97,15	369,12
Variación total	100,00	379,94

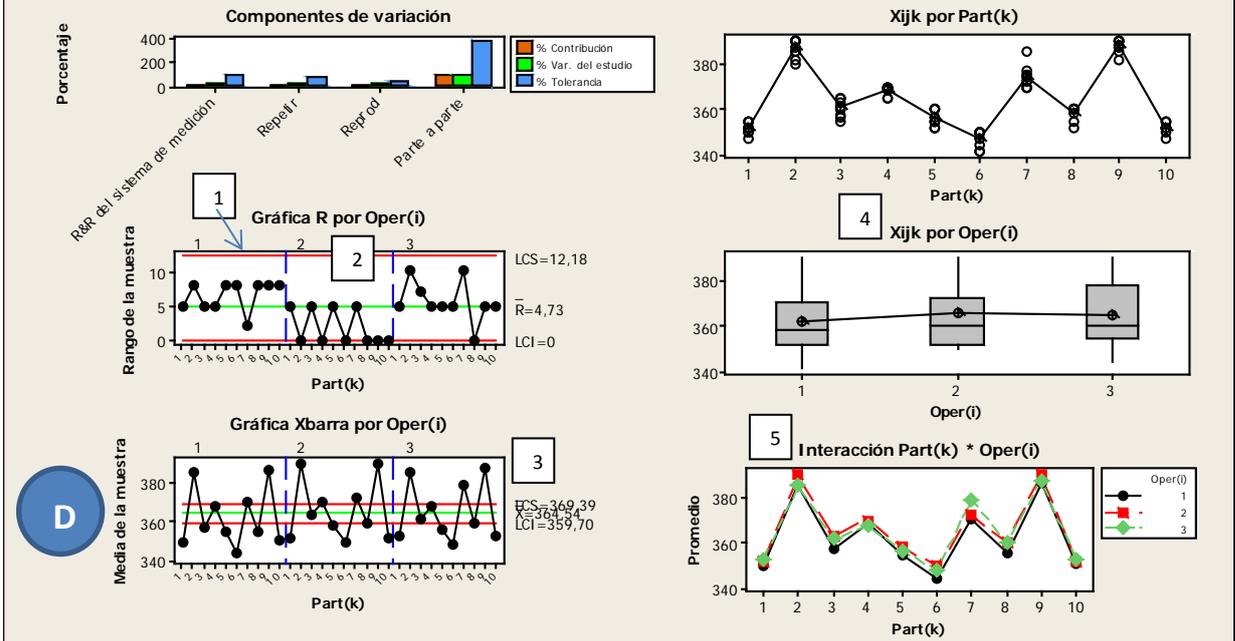
Número de categorías distintas = 5

R&R del sistema de medición para Xijk

R&R del sistema de medición (ANOVA) para Xijk

Nombre del sistema de medición :
 Fecha del estudio:

Notificado por:
 Tolerancia:
 Misc:



1. **Estabilidad:** Verificar el gráfico “R Chart”. Si no hay puntos por encima del límite de control superior LCS entonces va bien el ensayo.
2. **Homogeneidad dentro:** Verificar que el patrón de cada operario sea homogéneo. En el ejemplo se ve que no se cumple para el operario#2 en “Gráfica R por Operario”.
3. **Resolución efectiva:** Verificar el gráfico Xbarra por operario. Si más del 50% de los puntos están fuera de los límites de control quiere decir que la variación entre piezas es mucho mayor que la variación de Gage R&R (de la herramienta). Cuantos más puntos estén fuera mejor (en éste ejemplo tenemos 19 fuera del total de 30).
4. **Homogeneidad entre los operarios:** Hay que verificar el Xbarra para ver la homogeneidad entre los operarios (en éste ejemplo todo parece coherente).
5. **Desplazamiento sistemático:** Verificar el gráfico de interacción entre el operario y la pieza. Estará bien si las líneas de los operarios se superponen ó se cruzan, lo cual sería indicativo de una variación aleatoria.

Objective: Describe five steps to evaluate graphical output.

- 1) Stability: Check the R Chart ...OK if no points are above the UCL.
- 2) Consistency Within: Check the Pattern for all appraisers to be consistent (Note “inconsistency” in R for Op2 vs. Op1 & Op3—why?).
- 3) Effective Resolution: Check the Xbar Chart ...OK if > 50% points are outside control limits; shows Part Variation >> Gage R&R Variation ... more out is better! (in this case 19 of 30 are out of control limits).
- 4) Consistency Between: Check Xbar for consistency between operators (Nothing stands out as inconsistent).
- 5) Systematic Shift: Check Operator/Part Interaction Plot. OK if individual operator plots overlay & cross-over (Indicates random variation).

Note: 5 step approach per G.A. Skattum - Rock Valley College, Rockford, Ill.

Reporte Estudio ANOVA Gage R&R					
Preliminares:					
1) ¿Tienes resultados de Prueba/Reprueba? Por favor apuntar resultados					
2) ¿Se ha hecho un análisis de forma abreviada? Por favor apuntar resultados					
Resultados Gage R&R Two-Way ANOVA. Fecha en la que se realizó el estudio: <input type="text"/>					
¿Es significativo?					
1) Pieza	p-value	<input type="text"/>	Sí	<input type="text"/>	No <input type="text"/>
2) Operario	p-value	<input type="text"/>	Sí	<input type="text"/>	No <input type="text"/>
3) Operario*Pieza	p-value	<input type="text"/>	Sí	<input type="text"/>	No <input type="text"/>
Reglas Generales:					
¿OK?					
1) % Tolerancia	<input type="text"/>	[≤ 30%]	Sí	<input type="text"/>	No <input type="text"/>
2) % Contribución	<input type="text"/>	[≤ 8%]	Sí	<input type="text"/>	No <input type="text"/>
3) % Estudio	<input type="text"/>	[≤ 30%]	Sí	<input type="text"/>	No <input type="text"/>
4) # de Categorías Distintas	<input type="text"/>	[≥ 4]	Sí	<input type="text"/>	No <input type="text"/>
Salida Gráfica:					
¿Aceptable?					
1) Resolución efectiva [≥ 50%]			Sí	<input type="text"/>	No <input type="text"/>
2) Estabilidad [R Chart]			Sí	<input type="text"/>	No <input type="text"/>
3) <u>Consistencia entre:</u> Consistencia de X-barra entre operarios			Sí	<input type="text"/>	No <input type="text"/>
4) <u>Desplazamiento (desvío sistemático):</u> Gráfica interacción op./pza			Sí	<input type="text"/>	No <input type="text"/>
5) <u>Consistencia:</u> Patrón de la gráfica R para inspector			Sí	<input type="text"/>	No <input type="text"/>
Conclusiones:					
Es aceptable el sistema de medición: ¿Aceptable?					
1) ¿ Para la tolerancia que tenemos?	Sí	<input type="text"/>	No	<input type="text"/>	
2) ¿ Para ver la variación entre piezas?	Sí	<input type="text"/>	No	<input type="text"/>	
Comentarios adicionales:					
.....					
.....					
.....					

De forma similar al METODO GAGE R&R ANOVA (“Analysis of Variance”) también para datos Continuos se puede emplear el METODO DE ESTIMACIÓN DE LAS VARIANZAS X-Barra/R para datos continuos. Veámoslo en la página siguiente.

Estudio R&R del sistema de medición - Método XBarra/R

R&R del sistema de medición para Xijk

Nombre del sistema de medición :
 Fecha del estudio: Mayo 2014
 Notificado por: Dpto Calidad
 Tolerancia:
 Misc:

Datos introducidos pinchando en el botón de "Información del sistema de medición"

Fuente	CompVar	%Contribución (de CompVar)
R&R del sistema de medición total	10,602	6,21
Repetibilidad	7,817	4,58
Reproducibilidad	2,785	1,63
Parte a parte	159,984	93,79
Variación total	170,586	100,00

Descomposición de la Varianza

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. del estudio (6 * DE)
R&R del sistema de medición total	3,2560	19,5363
Repetibilidad	2,7958	16,7750
Reproducibilidad	1,6689	10,0133
Parte a parte	12,6485	75,8910
Variación total	13,0609	78,3652

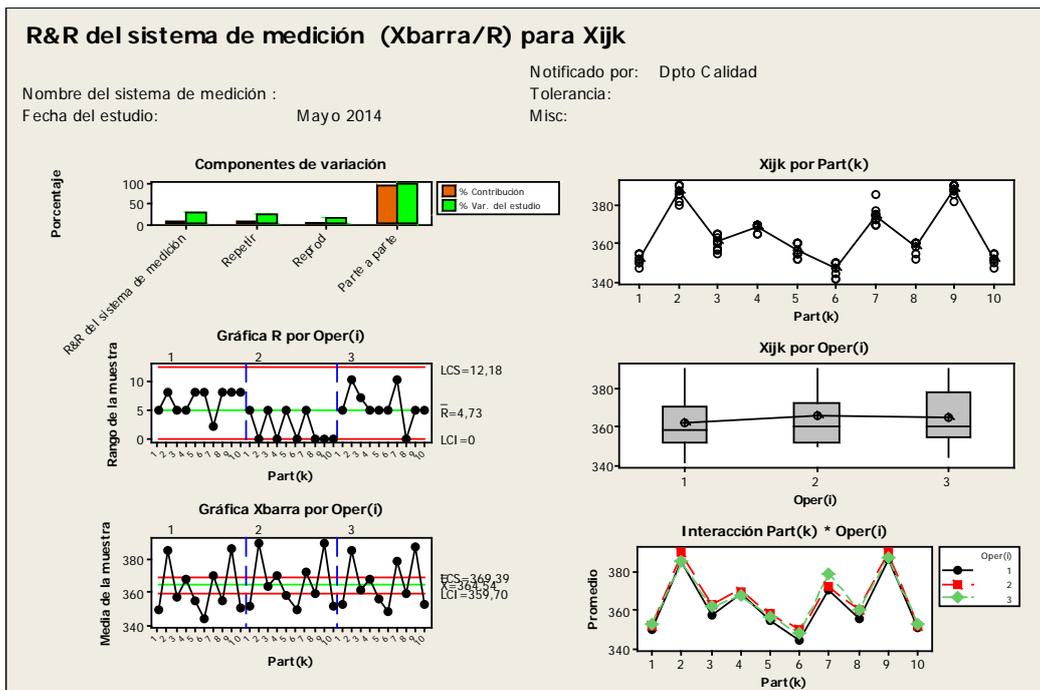
Análisis con las desviaciones Típicas

Fuente	%Var. del estudio (%VE)
R&R del sistema de medición total	24,93
Repetibilidad	21,41
Reproducibilidad	12,78
Parte a parte	96,84
Variación total	100,00

Número de categorías distintas = 5

R&R del sistema de medición para Xijk

Se puede observar que en la descomposición de la Varianza la suma de "pieza a pieza" y la "variación total de R&R" es 100, mientras que esta suma ya no se mantiene cuando son las desviaciones típicas las que se analizan.



Herramientas para seleccionar las características CTQ de mi proyecto (“The 5 CTQ tools”):

- **QFD.** Ver plantilla “QFD worksheet.xls”.
- **FMEA**
- **Pareto Chart or Diagram**
- **Process Mapping**
- **Cause and Effect diagrams. Fishbone or Ishikawa Diagram.**

QFD (Quality Function Deployment). Casa de la Calidad o gráfico del despliegue de la función de Calidad. Se trata de conectar la voz del Cliente con el proceso de planificar y diseñar de la siguiente manera:

- 1.- Identificar requisitos del Cliente. Qué quiere el cliente.
- 2.- Priorizar entre los requisitos.
- 3.- Identificar métricas a fin de medir el nivel de cumplimiento de los requisitos del Cliente. Definir cómo vamos a medir nuestra ejecución en relación con éstos deseos.
- 4.- Determinar cómo cada medida está vinculada con cada requisito (generalmente lo estarán con más de uno). Determinar la importancia de la relación entre los deseos (los “qué”) y las métricas (los “cómo”).
5. Evaluar qué medidas son las más importantes (CTQs). Calcular la importancia relativa de cada medida.

Determinar las interrelaciones entre las métricas.

Fila en blanco: Indica que la necesidad es importante.

Columna en blanco: Indica que no hay relación entre ésta característica y las necesidades del cliente.

QFD: Quality Function Deployment. House of Quality Summary.

Correlations in Roof (strong + or negative O)
Conflict resolution. Identify trade-offs

Target Direction:

Gráfico de despliegue de la función de calidad.

Nos proporciona un marco para clasificar la relación entre los CTQ's y mis procesos internos.
Traducir los CTQ's del cliente en subprocesos o características medibles del proceso.
Flujo entre el CTQ del cliente y un proceso o característica medible del producto, mediante la clasificación de la relación existente entre ellos.

1a.- Customer Needs (WHAT's). What does the customer want? Voice of the Customer.
1b.- Customer importance. How important are the customer wants to the customer?
2.- Competitive Assessment. Where are we and competitors relative to customer importance?
3.- Characteristics/measures (HOW's). How do you satisfy the wants?
4.- Relationships. H Strong 9 / M Medium 3 / L weak 1.

Importance Ratings
Target Values of HOW's (units)
Competitive Benchmarks. How do competitors perform relative to each HOW? If low means Poor long-term market performance.

Blank/Empty columns in grey area: Perhaps an unnecessary measure characteristic signaling it does not affect customer wants. It indicates that there is no relationship between this characteristic and the customer's needs.
Blank/Empty row in grey area: Unaddressed customer want which would be a major problem. This need is very important to the customer.
Highest score on Competitive Comparison- Able to lead the market with existing product/service
Low score on Competitive Comparison BUT high score on Competitive Benchmarks- Market technical advantages to improve customer perception

Example on QFD_CTQs

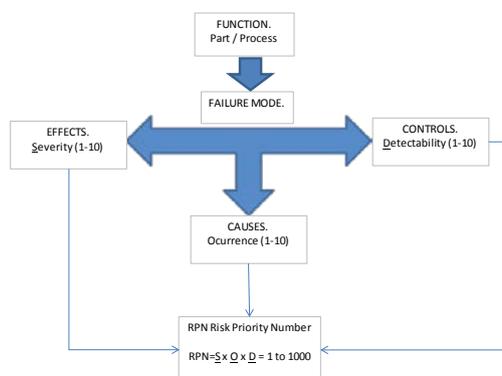
QFD or House of Quality on customer CTQs. Example about the quality in a coffee

Product Requirements. How can these CTQs impact on ...? (1/3/9)

WHAT's. Customer Expectations or CTQs.	Importance	c/w ratio	water qty	supplier of coffee	c-machine maker	c-operator	Total:
Taste	5	9	3	9	3	9	165 = (9*3*5)+(3*2*5)
Strength	4	9	1	3	3	9	100
Color	3	9	1	3		9	66
Smell	5	3	3	9		3	90
Availability	5			3	1	9	65
temperature	3				3	1	12
Total:		123	37	126	41	171	

$(5*9)+(9*3)+(3*9)+(3*3)+(5*3)+(3*1)+(3*1)=123$

ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (AMFE ó en inglés FMEA). Identificación de los modos en los que un subproceso o la característica de un producto pueden fallar y desarrollo de un plan para la prevención de dichos fallos. Se trata de un proceso vivo que se irá modificando o actualizando a lo largo de la vida de todo el proyecto. Se emplea para proyectos de alto riesgo (por coste, por seguridad,.....etc).



Calculating RISK PRIORITY NUMBER:
 A numerical calculation of the relative risk of a particular Failure Mode.
 The combined weighting of Severity, Likelihood and Detectability.
 $RPN = SEV \times OCC \times DET$
 This number is used to place priority on which items need additional quality planning

RISK RATINGS. On a SCALE of 1 (BEST) to 10 (WORST)

SEVERITY (SEV): How significant is the impact of the Effect to the customer (internal or external)? Rate the severity of each Failure (10: most severe).

OCCURRENCE (OCC) FREQUENCY OR LIKELIHOOD: Showing-up probability/frequency of the Cause of Failure. How likely is the Cause of the Failure Mode to occur?

Write down the potential cause(s) and rate the likelihood of each Failure (10: most likely).

DETECTION (DET): Level of difficulty to detect the Cause or Failure Mode. How likely will the current system detect the Cause or Failure Mode if it occurs? Rate the detectability of each Failure (10: least detectable).

Método estructurado y enfoque proactivo que:

- Identifica los modos en los que un proceso puede o no cumplir con los requisitos críticos de un cliente.
- Estima el riesgo de las causas específicas con respecto a estos fallos
- Evalúa el plan de control actual para evitar o prevenir que estos fallos ocurran
- Da prioridad a las acciones que se deben tomar para mejorar el proceso

Beneficios:

- Mejora la calidad, fiabilidad y seguridad de los productos
- Aumenta la satisfacción del cliente
- Reduce el tiempo y coste para desarrollar un nuevo producto
- Se trata de un método muy bueno para documentar y hacer seguimiento de las acciones tomadas para la reducción de riesgos.

Definiciones:

- **Modo de fallo:** cómo una pieza o un proceso pueden dejar de cumplir con las especificaciones. Habitualmente está asociado con un defecto o una no-conformidad dentro del proceso. Ej: el freno funciona mal
- **Causa:** deficiencia que da lugar a un modo de fallo. Son las fuentes de variabilidad asociadas a las variables clave de la entrada del proceso. Ej: falta líquido de frenos
- **Efecto:** Impacto en el cliente y en sus requisitos si el modo de fallo no se previene ni se corrige, pudiendo ser el cliente el siguiente en el proceso o el mismo cliente final. Ej: un accidente.

Proceso AMFE:

- Identificar los modos de fallo potenciales de mi producto o de mi proceso
- Identificar y clasificar la gravedad del efecto o los efectos relacionados con los modos de fallo potenciales
- Evaluar la probabilidad de que tengan lugar causas y la capacidad de detectarlas
- Alinear el riesgo de los modos de fallo según el nº de prioridad de riesgo (RPN)
- Centrarse en la eliminación de las preocupaciones del producto y del proceso.
- Prevención planificada de los fallos

Preparación:

- 1.- seleccionar el equipo del proceso
- 2.- desarrollar el mapa del proceso e identificar los pasos del mismo
- 3.- Enumerar las salidas dominantes del proceso para satisfacer los requisitos del cliente tanto externo como interno
- 4.- Enumerar las entradas del proceso para cada paso del proceso
- 5.- Definir la relación de las salidas del producto y las variables del proceso
- 6.- Ordenar las entradas según su importancia

Proceso AMFE:

- 7.- Enumerar los modos en los que las entradas del proceso pueden variar (las causas) e identificar los modos de fallo y sus efectos asociados.
- 8.- Asignar puntuación a la gravedad, al hecho de que ocurra y a la detección de cada causa para calcular el RPN ("Risk Priority Number") o número de prioridad del riesgo.

Severidad. Lo significativo que es el Efecto para el cliente (interno ó externo).

Ocurrencia. La frecuencia más probable de que ocurra la CAUSA del modo de fallo.

Detectabilidad. Probabilidad de que no seamos capaces de detectar el fallo cuando éste ocurra.

RPN=SEV x OCC x DET Cálculo numérico del riesgo relativo a un modo de fallo específico, el cual me permite priorizar entre aquellos puntos que necesitan mejoras de calidad adicionales.

Puntuación Numérica	Ocurrencia Probabilidad	Detección Certidumbre
1	1 en 10 ⁶	100%
2	1 en 20.000	99%
3	1 en 5.000	95%
4	1 en 2.000	90%
5	1 en 500	85%
6	1 en 100	80%
7	1 en 50	70%
8	1 en 20	60%
9	1 en 10	50%
10	1 en 2	<50%

Mejoras:

- 9.- Determinar las acciones recomendables para reducir los RPN's
- 10.- Establecer las fechas límite para las acciones correctivas
- 11.- Adoptar las acciones apropiadas e implementación de los controles necesarios
- 12.- vuelvo a calcular todos los RPN's

FASE#2: MEDIR

FMEA Calculations. STANDARDIZATION OF RATINGS			
RATING 1: Good 10: Bad	DEGREE OF SEVERITY. SEVERITY SCALE CRITERIA.	LIKELIHOOD OF OCCURRENCE. OCCURRENCE SCALE. Time period & Probability	ABILITY TO DETECT. DETECTION SCALE. Definition.
1	Customer will not notice the adverse effect or it is insignificant. A failure could be unnoticed and not affect the performance.	Likelihood of occurrence is remote. Once every 6-100 years. <=2 per Billion.	Sure that the potential failure will be found or prevented before reaching the next customer. Defect is obvious and can be kept from affecting the customer.
2	Customer will probably experience slight annoyance. A failure could be unnoticed and have only the effect on performance.	Low failure rate with supporting documentation. Once every 3-6 years. <=3 per 10 Million.	Almost certain that the potential failure will be found or prevented before reaching the next customer. All units are automatically inspected.
3	Customer will experience annoyance due to the slight degradation of performance. A failure could cause a minor nuisance, but be overcome with no performance loss.	Low failure rate without supporting documentation. Once every 1-3 years. <=6 per Million.	Low likelihood that the potential failure will reach the next customer undetected. SPC as above with 100% inspection surrounding out-of-control conditions.
4	Customer dissatisfaction due to reduced performance. A failure could cause minor performance losses.	Occasional failures. Once per year. <=6 per 100,000.	Controls may detect or prevent the potential failure from reaching the next customer. SPC is used with an immediate reaction to out-of-control conditions.
5	Customer is made uncomfortable or their productivity is reduced by the continued degradation of the effect. A failure could cause a loss of performance that is likely to result in a complain.	Relatively moderate failure rate with supporting documentation. Once every 6 months. <=1 per 10,000.	Moderate likelihood that the potential failure will reach the next customer. Process is monitored (SPC) and manually inspected.
6	Warranty repair or significant manufacturing or assembly complaint. A failure could result in partial malfunction.	Moderate failure rate without supporting documentation. Once every 3 months. <=0,03%	Controls are unlikely to detect or prevent the potential failure from reaching the next customer. Units are manually inspected with mistake-proofing modifications.
7	High degree of customer dissatisfaction due to component failure without complete loss of function. Productivity impacted by high scrap or rework levels. A failure could cause extreme customer dissatisfaction.	Relatively high failure rate with supporting documentation. Once per month. <=1%.	Poor likelihood that the potential failure will be detected or prevented before reaching the next customer. All units are manually inspected.
8	Very high degree of dissatisfaction due to the loss of function without a negative impact on safety or governmental regulations. A failure could render product or service unfit for use.	High failure rate without supporting documentation. Once per week. <=5%.	Very poor likelihood that the potential failure will be detected or prevented before reaching the next customer. Units are systematically sampled and inspected.
9	Customer endangered due to the adverse effect on safe system performance with warning before failure or violation of governmental regulations. A failure could be illegal.	Failure is almost certain based on warranty data or significant DV testing. Once every 3-4 days. <=30%.	Current controls probably will not even detect the potential failure. Occasional units are checked for defect.
10	Customer endangered due to the adverse effect on safe system performance without warning before failure or violation of governmental regulations. A failure could injure a customer or employee.	Assured of failure based on warranty data or significant DV testing. More than once per day. >30%.	Absolute certainty that the current controls will not detect the potential failure. Defect caused by failure is not detectable.

FMEA Worksheet. Failure Mode and Effects Analysis (Design & Process FMEA)										Response Plans and Tracking						
Item# Process step# Design Function#	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Severity	Potential Cause(s) Mechanism(s) of Failure	Probability Occurrence Likelihood	Current Controls	Detection	RPN	Recommended Action(s)	Responsible person for each action & Target Completion Date	Actions Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN	
	How can this step fail? Failure Mode1	What is the impact of this failure over the customer? Potential Consequence(s) of Failure Mode1		Causes of the Failures or Defects		Detecting Actions to prevent the recurrence of the Cause			To reduce Severity and Occurrence. To increase Detectability of Failure Mode.		Supressing and detecting actions already completed				To be recalculated everytime an action is completed	
Coolant Containment Hose connection	Crack/Break. Burst. Bad seal. Poor Hose retention.	Leak	8	Over pressure	8	Burst, validation pressure cycle	1	64	Test included in prototype and production validation testing	J.Aguirre / 30 Jun.14						
Moulding	Low resistance of mould	Sand Inclusion in the part														
								Σ								Σ



PARETO DIAGRAM OR PARETO CHART.

Focuses on efforts or the problems that have the greatest potential for improvement by showing relative frequency and/or size in a descending bar graph. Based on the proven Pareto principle: 20% of the sources cause 80% of any problems. 20% of causes account for 80% of the effect.

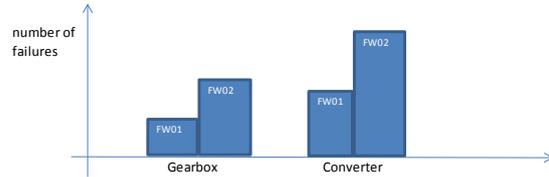
Herramienta Cuantitativa para identificar un área sobre la que concentrarse en base a datos históricos que sean válidos => sólo unos factores vitales tienen verdadera importancia sobre el rendimiento.

PURPOSE:

- To separate the vital few from the trivial many in a process
- To compare how frequently different causes occur
- To identify the contribution of each cause in your organization

WHEN:

- To choose which causes to eliminate first
- To display information objectively to others



PROCESS MAPPING.

Illustrated description of how things get done, which enables participants to visualize an entire process and identify areas of strength and weaknesses. It helps to reduce cycle time and defects while recognizing the value of individual contributions.

A process map for a project contains:

- customer and main CTQs
- Output
- Process Steps
- Input
- Supplier

A process map is a graphical representation of steps, events, operations and relationships of resources in a PROCESS used to identify potential breakdowns, rework loops, sources of variation in the process and also the factors that are involved in the process

Advantages of doing it in a team:

- you create a shared vision of the process
- the unnecessary steps show-up
- you compare the real process with the ideal one

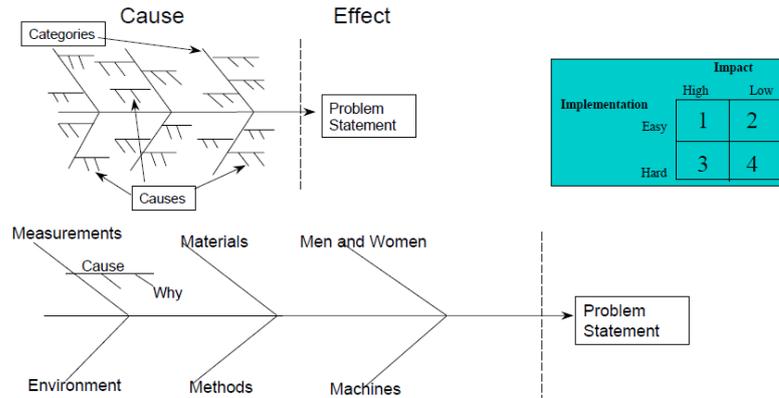
Root Cause Analysis: Study of original reason for non-conformance with a process. When the root-cause is removed or corrected the non-conformance will be eliminated.

Cause&Effect diagrams (Fish-bone). It is recommended to start the project with this tool.

Visual tool used by a team to brainstorm and logically organize all possible causes for a specific problem or effect. Purpose: To provide a visual display of all possible causes of a specific problem.

Different categories: Machines, Methods, Materials, Measurement, "Mother Nature or Environment" and Men&Women.....(Highest Level CTQ's). Also sometimes Policies, Procedures, People and Plant

For each category there could be different and several **Potential High Level Causes**. All causes together will generate the specific "Effect" or "Problem Declaration" that i defined at first step.



Implementation	Impact	
	High	Low
Easy	1	2
Hard	3	4

STEPS OF A FISH-BONE DIAGRAM PREPARATION:

- 1) Define your problem statement
- 2) Label branches with categories appropriate to your problem
- 3) Brainstorm possible causes and attach them to appropriate category branch
- 4) For each individual cause ask "why does this happen?" and assign a value to it
- 5) Analyze results. Any causes repeat?
- 6) As a team determine the 3 to 5 most likely causes
- 7) Determine which likely causes you will need to verify and follow-up with data

3.- ANALIZAR

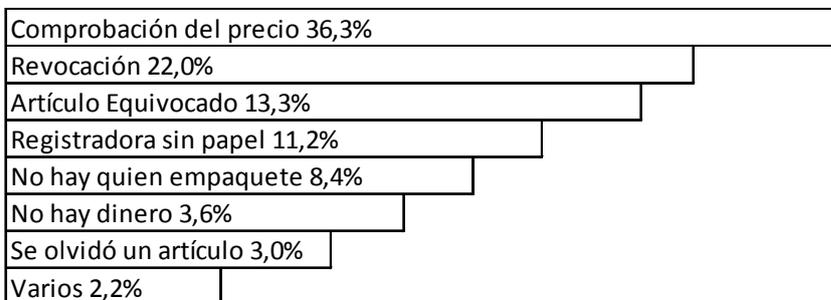
ANALIZAR: Hay tres barreras de peaje del análisis: datos, proceso y causas radicales. Tras la fase de Medir no se puede saltar a mejorar un proceso sin haber verificado antes por qué existe el problema (Fase de Análisis de los datos recogidos durante la fase de Medir). Hay que dejar al margen las ideas preconcebidas de mejora o de resolución de los problemas. El análisis es el paso más importante de los que se deben ejecutar de cara al éxito de un proyecto.

ANALIZAR 1. ANÁLISIS DE LOS DATOS. Se analizan los datos recogidos durante la fase de Medir ya que la meta del equipo 6-sigma no es otra que la de mejorar la eficacia en la satisfacción de las necesidades de los clientes.

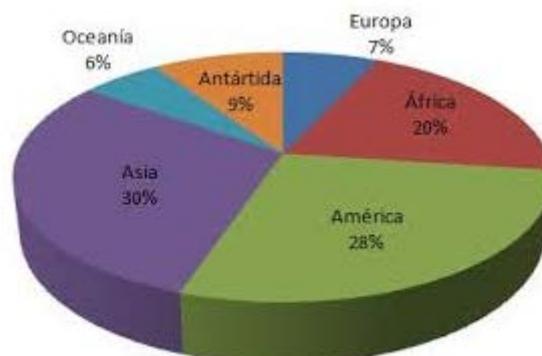
ANÁLISIS DE DATOS DISCRETOS: El mayor enemigo del rendimiento Sigma es la variación del proceso. Siguiendo el viejo dicho según el cual “es más fácil pelear con un enemigo al que se puede ver” crearemos un cuadro estadístico del enemigo que llamaremos variación y para datos discretos las herramientas estadísticas que usaremos son el DIAGRAMA DE PARETO y el DIAGRAMA DE PASTEL.

- **DIAGRAMA DE PARETO:** Debe su nombre al economista y matemático Vilfredo Pareto, quien demostró matemáticamente que el 80% de la riqueza del mundo la controla el 20% de la población. Es una manera de observar fácilmente aquellos factores que tienen un mayor impacto, factores sobre los que se debe de actuar en una primera instancia. El 20% de las causas explican el 80% de los defectos. Diagrama de barras para representar sucesos con respecto a una métrica común (# de veces, tiempo,...etc)

Ejemplo de Diagrama de Pareto para esperas de más de 5' en una tienda de comestibles.



- **DIAGRAMA DE PASTEL:** Divide las razones por categorías de defectos, separando los factores de mayor impacto o vitales de aquellos que no lo son tanto.



3.- ANALIZAR

ANÁLISIS DE DATOS CONTINUOS: Los datos continuos recogidos en la fase de Medir se reúnen en la hoja de comprobación de distribución de frecuencias. Las ventajas de los datos continuos es que muestran la magnitud del problema que tenemos entre manos e informan sobre los factores que tienen influencia en el comportamiento del proceso.

- **HOJA DE DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS:** Factores principales que afectan al rendimiento de un proceso:
 - o Maquinaria del proceso
 - o Materiales empleados
 - o Métodos del proceso
 - o Madre naturaleza o entorno
 - o La medición
 - o El personal

Cuando ninguno de éstos factores tiene una influencia excesiva en el proceso, los datos continuos adquieren una distribución con forma de campana, con la mayor parte de las medidas en el centro mientras que los demás datos van disminuyendo en ambas direcciones.

En el ejemplo de la entrega de pedidos, la meta del proyecto es mejorar el tiempo de espera en la fila sin perjudicar a la exactitud de los pedidos. El tiempo promedio de espera máximo se considera 5'.

Hoja de comprobación de la distribución de frecuencias. Proceso de entrega de los pedidos. Variación de causa Común.

							X			
					X	X	X			
				X	X	X	X	X		
		X	X	X	X	X	X	X	X	
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Como sabemos que ningún factor tiene influencia excesiva en el proceso ni en los datos continuos obtenidos se habla de variación de causa común (la inherente al proceso) porque la variación es causada por los 6 factores principales en su conjunto.

Como la mayoría de las medidas caen a la derecha de la vertical azul éste proceso puede tener una variación de causa común pero es un proceso de bajo rendimiento sigma.

Veamos ahora un proceso en el que la variación no es al azar sino de causa especial ya que uno o más de los 6 factores principales tienen una influencia excesiva o especial sobre el proceso y porque los datos no decrecen en ambas direcciones:

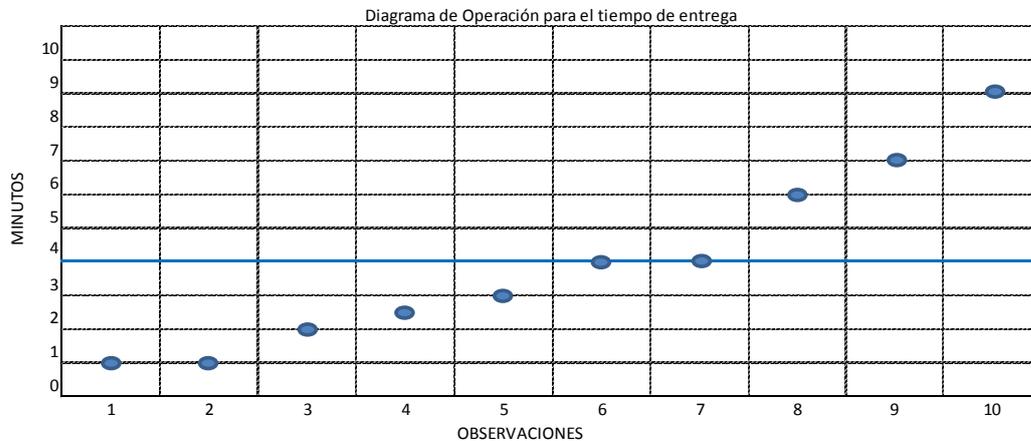
Hoja de comprobación de la distribución de frecuencias. Proceso de entrega de los pedidos. Variación de causa Especial.

										X
									X	X
								X	X	X
						X	X	X	X	X
				X	X	X	X	X	X	X
		X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Generalmente del 5 al 15% se debe a las personas, en los procesos de fabricación la máquina es la influencia predominante y en la industria de servicios suele ser el método.

3.- ANALIZAR

- **EL DIAGRAMA DE OPERACIÓN:** Es otra herramienta de análisis de datos continuos. Con ella se sigue el comportamiento de algún valor en el transcurso del tiempo, lo cual permite ver si existen desplazamientos o tendencias en los datos.



La línea gruesa horizontal azul indica que el término medio de espera es de 4 minutos.

Con éste diagrama se ve claramente una tendencia al aumento, definiendo tendencia como siete puntos seguidos o más en orden ascendente o descendente (lo cual es un indicio de una variación de causa especial y tendré que investigar las 5M y la 1P). Una tendencia está presente cuando una o más de las 5M y 1P tienen una influencia excesiva sobre el proceso y el enfoque u investigación deberá de centrarse en el método.

ANALIZAR 2. ANÁLISIS/ESTUDIO DEL PROCESO EN MAYOR DETALLE. Para mejorar la eficiencia el análisis del proceso es crítico. Para ello hay que crear un gráfico detallado del proceso y analizarlo para descubrir dónde están las mayores ineficiencias.

- **ELABORACIÓN DE GRAFICOS DE SUBPROCESOS:** Básicamente se trata de coger los pasos del diagrama original de alto nivel del proceso y profundizar en cada uno de ellos hasta 5-7 subpasos por debajo de dicho nivel (pasos de cada subproceso). Con frecuencia se revelan pasos ineficientes que no agregan valor que el equipo deberá modificar o eliminar.
- **NATURALEZA DEL TRABAJO:** Una vez creados los gráficos de cada subproceso (ó solo de aquellos subprocesos que vamos a analizar) con sus respectivos pasos hay que saber que un paso agrega valor cuando satisface los siguientes criterios:
 - o El cliente de ese paso lo considera importante
 - o Hay un cambio real/palpable en el producto o servicio
 - o Es necesaria su realización y se ejecuta de forma correcta sin fallos.

3.- ANALIZAR

Todo paso que no agregue valor se debe de categorizar en una de las siguientes actividades carentes de valor:

- o Fallo interno: pasos a repetir
- o Fallo externo: fallo del proceso detectado por el cliente
- o Demoras: esperas en el proceso
- o Control e Inspección: pasos para verificar que el proceso se realiza correctamente.
- o Preparación: pasos de preparación para el siguiente paso a dar
- o Movimiento: paso para mover un producto o elemento en servicio de un lugar a otro
- o Capacitación de valor: un paso que no agrega valor al proceso pero que es necesario para el funcionamiento de la organización.

Análisis de valor o no valor del subproceso "negociación de un pedido"

#Paso	Paso del subproceso	Si aporta valor	Actividad que No agrega valor	Tiempo que consume en hrs cada paso
1	Pedir ofertas a proveedores	X		24
2	Esperar propuestas por fax		Esperar	48
3	Revisar ofertas	X		1
4	Contacto con finalistas	X		1
5	Se renegocia oferta		Fallo Interno	24
6	Acudir a proveedor alternativo		Preparación	48
7	Esperar propuesta final		Esperar	48
8	Adjudicar contrato	X		1
9	Contacto con proveedor	X		1

TOTAL: 5 4 196

28 hrs que dan valor

168 hrs que No aportan valor

- DECLARACIÓN DE MICROPROBLEMA. ULTIMO PASO DEL ANALISIS DE DATOS Y PROCESOS: Ya se estén analizando datos o bien procesos, el último paso antes de entrar en las causas radicales es crear una o más declaraciones de microproblemas las cuales han de comenzar de la siguiente manera....¿Por qué...?. De ésta manera se concretará/especificará el problema que se tenga entre manos y como máximo se deben de realizar 2-3 declaraciones si es que el análisis de los datos o del proceso ha sido realizado por el equipo 6 sigma de una manera acertada.

3.- ANALIZAR

ANALIZAR 3. ANÁLISIS DE LAS CAUSAS RADICALES del actual comportamiento Sigma.

Es el tercer y más importante hito de la fase de análisis, ya que hay que saber dejar al margen las teorías que los miembros del equipo 6-sigma tengan acerca de cómo mejorar el proceso y dejarse llevar por los datos. Este hito es clave para que el proyecto 6-sigma tenga éxito y se fundamenta en una tormenta de ideas para validar una serie de variables del proceso que podrían constituir las causas radicales del actual rendimiento sigma.

TRES PASOS DEL ANÁLISIS DE CAUSA RADICAL:

1.-) Paso de apertura: Sesión de tormenta de ideas para buscar todas las explicaciones posibles del comportamiento sigma actual en base a los conocimientos técnicos y experiencia de los miembros del equipo.

Fórmula sencilla para ayudar al equipo a buscar las causas radicales: $Y = f(x)$ en la que Y representa a cada una de las declaraciones de microproblemas.

El equipo hace una tormenta de ideas de todas las posibles x's que podrían explicar el problema planteado en la declaración del microproblema (la Y), de la siguiente manera:

- Todas las ideas se documentan
- Se generan ideas y no discusiones
- No se hace ninguna evaluación de las ideas durante éste paso
- Todos los miembros del equipo participan. A veces es bueno guardar silencio y cada uno que ponga sus ideas en notas autoadhesivas.

La herramienta más utilizada es la del DIAGRAMA DE CAUSA EFECTO ó diagrama de cola de pez, en la que habrá que determinar las posibles causas (separadas por los bloques de Maquina/Métodos/Medición/Leyes de la Madre Naturaleza/Personal/Materiales) que me llevan a la Y en cuestión (uno de los enunciados microproblema, ¿Por qué.....?).

2.-) Paso de reducción: En ésta fase el equipo reduce la lista de posibles explicaciones. Se trata de reducir la lista de x's (causas potenciales) que podrían explicar la declaración del microproblema Y. Se recogen aquellas ideas que sean análogas (para eliminar alguna) y se aclaran aquellas que no se entiendan, sin falta de evaluar ni criticar ninguna. Luego se vota por aquellas causas x's que sean más probables (3-5 votos por miembro del equipo) a fin de poder reducir la lista a unas 10 posibles causas radicales. Aun cuando una causa no reciba suficientes votos habrá que mantenerla si uno de los miembros del equipo estuviera muy convencido de la misma. Si analizamos una posible causa mirando a nuestra competencia quizás podamos determinar que ésta no tiene apenas influencia y que habría que desestimarla.

3.-) Paso de cierre: Durante ésta fase se valida la lista reducida de explicaciones. Aquí se ponen a prueba las teorías/hipótesis de los miembros con los datos. Se puede probar la lista restringida de causas potenciales por medio de los siguientes métodos y así validar la fórmula $Y=f(x)$:

- Recolección de datos básicos.

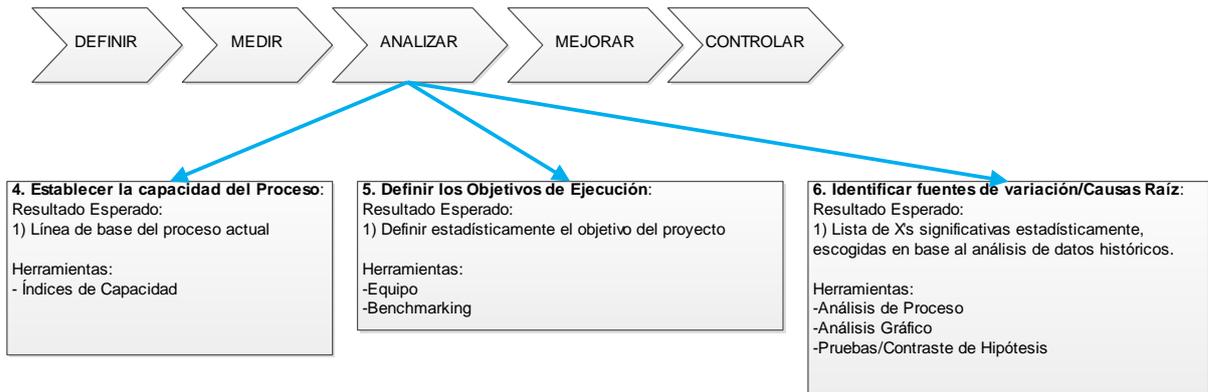
- Análisis de dispersión. En un diagrama de dispersión se introduce alguna x que se pueda medir de forma continua y se mide el comportamiento de la correspondiente Y (en un gráfico de 2 ejes). De ésta manera se sabrá si hay que validar o desestimar la causa radical a estudio. Se observarán correlaciones directas positivas (si una sube la otra también) muy o poco pronunciadas, negativas, una imposible correspondencia, existencia de patrones especiales, ... etc.

- Diseño de Experimentos (DoE's); Pruebas/ensayos para ver si una x concreta aplica o no. Es raro que una sola x explique la Y en su totalidad por lo que habrá que realizar experimentos variando los métodos asociados a las x's para ver su influencia en la Y. Inclusive se encontrarán variables x's relacionadas entre sí.

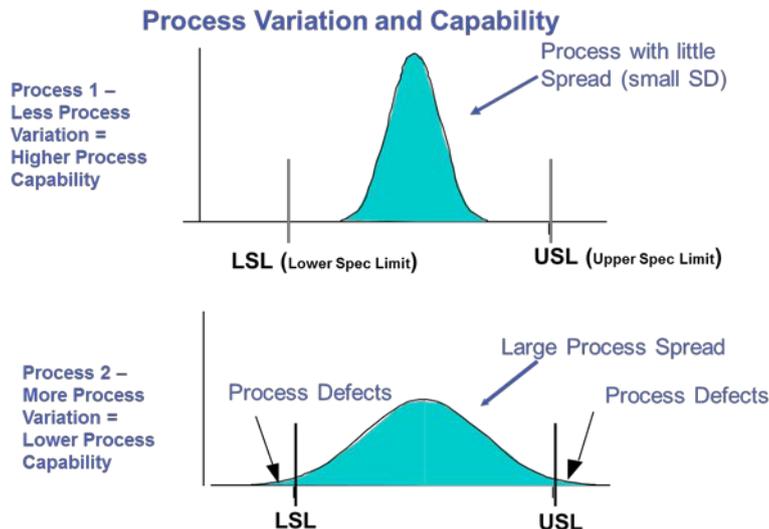
Una vez validadas las causas radicales del proyecto, el equipo ya puede pasar a la fase Mejorar del DMAMC.

3.- ANALIZAR

Veamos a continuación el desarrollo de las mismas tres fases descritas con anterioridad según la empresa GE:



ANALIZAR Etapa#4: Establecer la Capacidad del proceso: El objetivo es el de entender el concepto y los cálculos asociados al mismo. Tras recoger datos de nuestro proyecto Y podemos ver cómo opera realmente nuestro proceso y su capacidad.



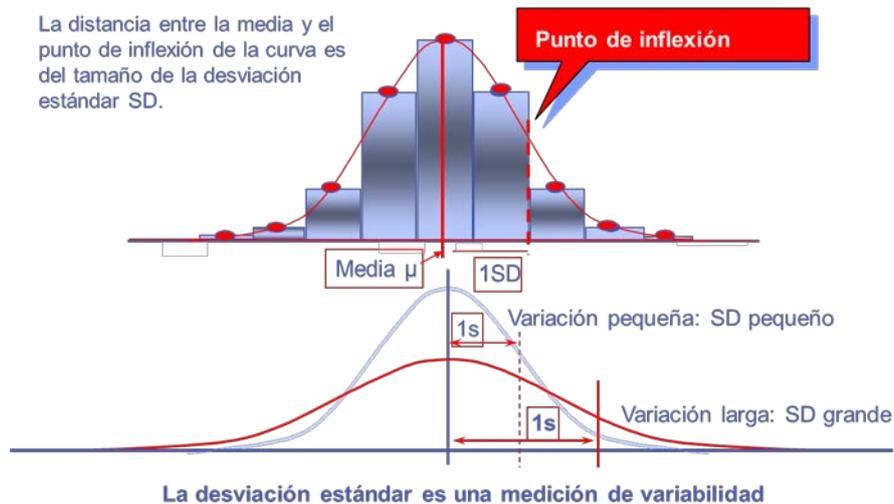
Todos los procesos tienen una variación que puede ser medida y así poder ver cómo de bien o mal está nuestro proceso con respecto a las expectativas de nuestro cliente. Nuestra meta será la de entender la naturaleza del problema en términos de dispersión/variación, en términos de centrado o en ambos términos a la vez. Querremos saber la capacidad actual de nuestro proceso para así podernos marcar un objetivo de mejora razonable. La capacidad del proceso es una propiedad medible del proceso con respecto a la especificación.

Capacidad: Es la habilidad del proceso de permanecer entre las especificaciones y sobre el objetivo.

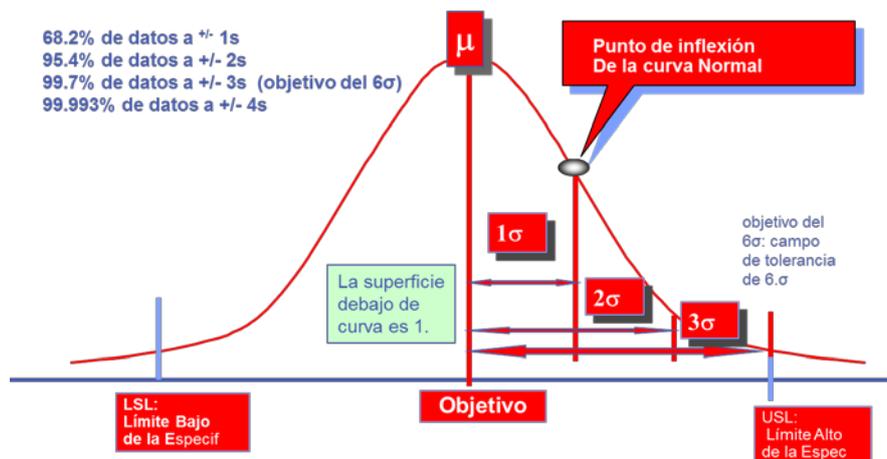
LSL/USL: límites del criterio de diseño.

LCL/UCL: límites estadísticos del Diagrama de Control. Límites de confianza inferior y superior empleados en T-test, ANOVA,.....etc.

3.- ANALIZAR



Hay que entender los fundamentos de la distribución normal y de la desviación estándar (SD: "standard deviation") para estimar la capacidad del proceso. A ambos lados de la media tenemos una misma área bajo la curva. El punto de inflexión está siempre a una desviación estándar de la media y es el punto en donde la curva pasa de convexa a cóncava. La capacidad del proceso es una medida del número de desviaciones estándar que cabrían entre los límites de la especificación.



En probabilidad y estadística la desviación estándar σ es una medida de la dispersión de un conjunto de valores. Le aplica tanto a una distribución de probabilidad, a una variable aleatoria, a una población como a un set de datos. Se define como la desviación media cuadrática (RMS: root mean square) de los valores a su valor medio, o como la raíz cuadrada de la varianza.

Cuanto mayor sea σ mayor es la variación de nuestro proceso. Cuantas más desviaciones estándar quepan entre los límites superior e inferior de la especificación mejor será nuestro proceso (mayor capacidad). Podemos decir que tenemos una **capacidad 6 σ** si caben 3 σ entre la media y el límite inferior/superior.

El proceso se puede describir con dos parámetros: la media μ y la desviación estándar σ . Si bien habrá que confirmar que son datos continuos y para ello tendré que confirmar que:

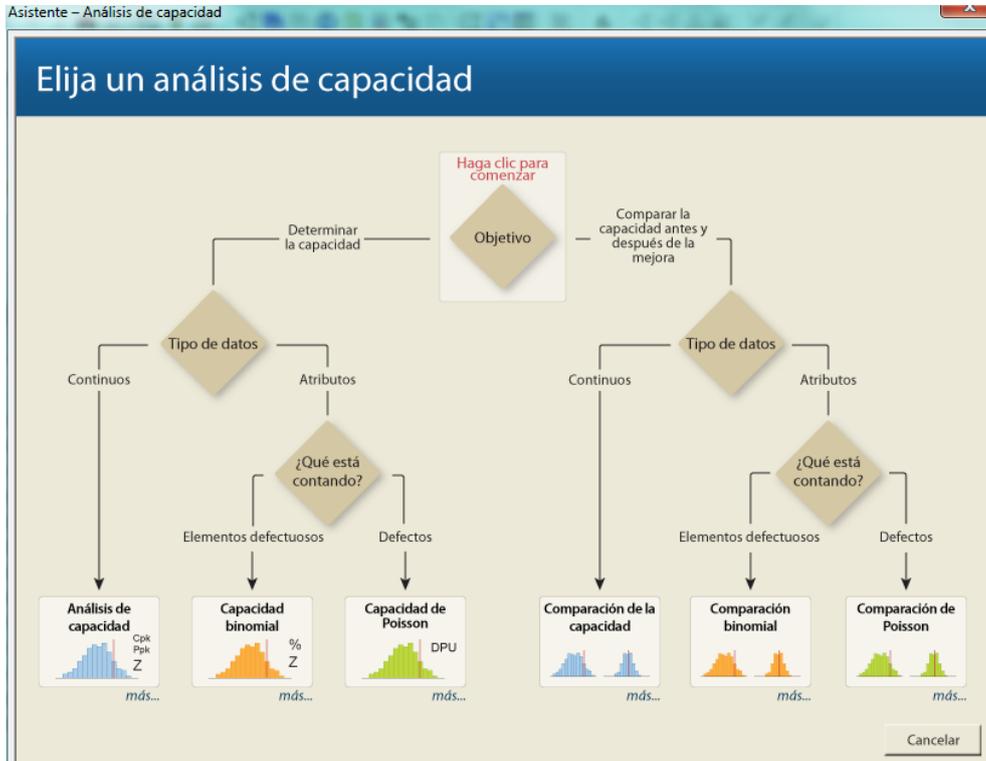
- el proceso es Estable (prueba de estabilidad; control chart)
- la variación del proceso es Aleatoria. Datos con carácter aleatorio (Run chart).
- los datos son Normales (Test de Normalidad)
- Evaluar la forma de la distribución mediante la estadística Descriptiva

Existen infinidad de pruebas estadísticas para poder verificar cambios en el proceso.

3.- ANALIZAR

Veamos un ejemplo. Las X's son las fuentes de variación de mi "Y" teniéndose tres X's potenciales: Retrabajar / Achatarrar / Hacer horas extras. El margen de tolerancia dado por el cliente es de 6 días: 2 días antes y 4 días tarde.

Minitab>Asistente>Análisis de Capacidad...



Elijo la opción inferior izquierda:

	C1	C2	C3	C4	C5
	Delta	Rework	Scrap	Overtime	
1	2,2	6275	375	1,8	
2	1,1	6030	200	2,7	
3	1,3	6070	245	3,1	
4	-0,9	5610	450	1,7	
5	0,0	5903	250	0,0	
6	3,3	6500	500	0,1	
7	-3,5	5301	640	3,8	
8	-0,7	5775	200	2,6	
9	-5,9	4705	275	0,6	
10	3,9	6805	875	1,2	
11	-6,3	4559	65	2,4	
12	3,0	6470	400	1,1	

Análisis de capacidad

Tipo de análisis:
 Completo
 Instantánea (utilícese solamente con datos individuales que no estén en orden cronológico)

Datos del proceso
 ¿Cómo están ordenados sus datos en la hoja de trabajo?
 [Los datos se encuentran en una columna]

Columna: [Delta]

Tamaño del subgrupo: [1]

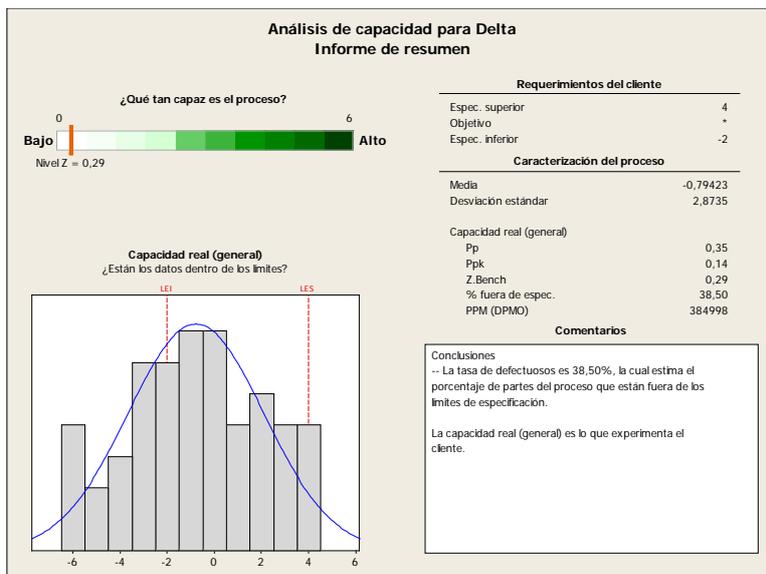
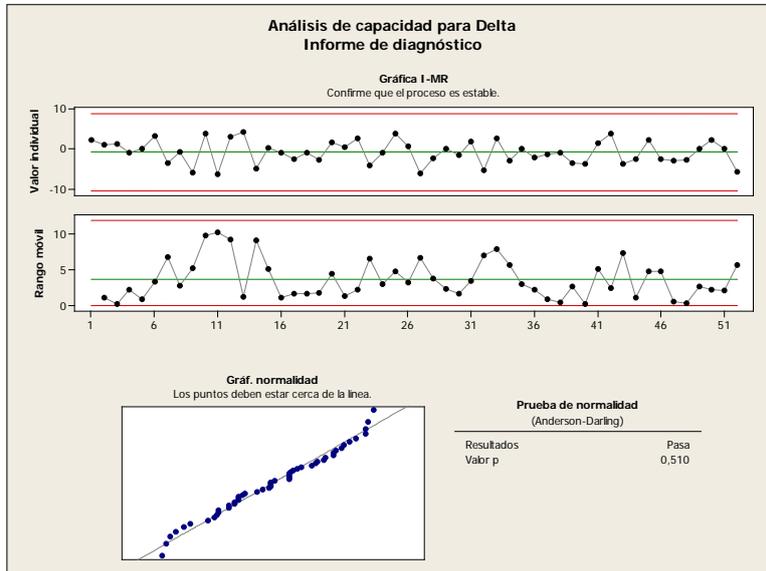
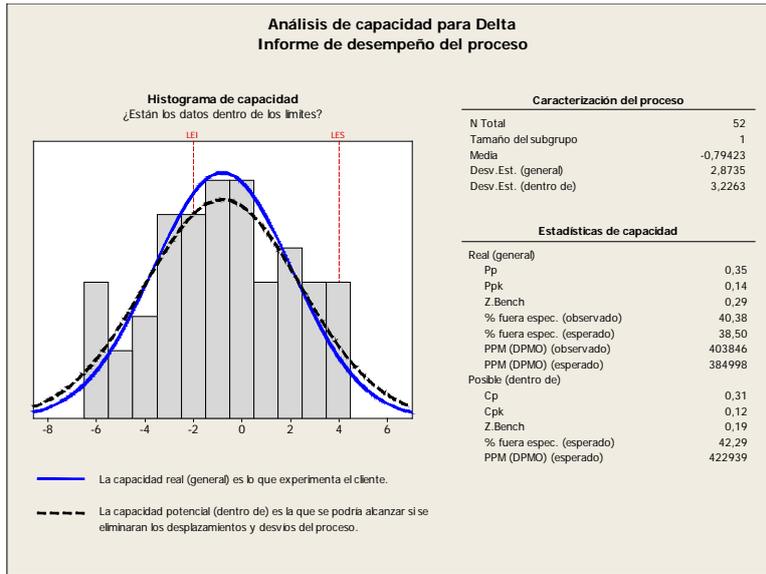
Límites de especificación (se requiere por lo menos 1)
 Espec. inferior: [-2]
 Espec. superior: [4]

Prueba de la media (opcional)
 Ingrese el valor objetivo para la media del proceso.
 Objetivo: []

[Seleccionar] [Aceptar] [Cancelar]

Si sólo hubiera un límite de especificación dejaría en blanco la casilla para la cual no dispongo de límite.

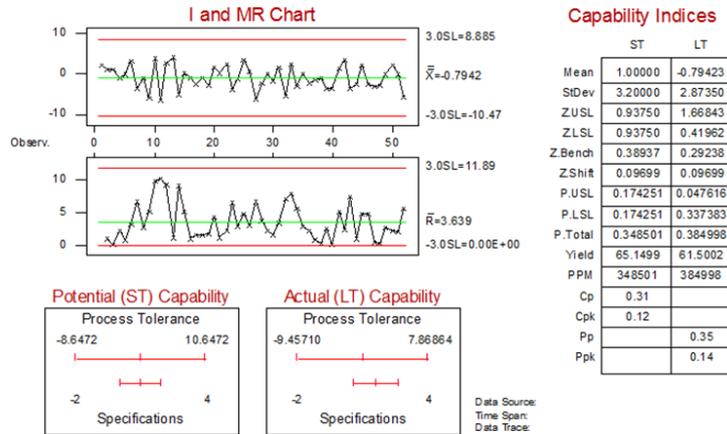
3.- ANALIZAR



3.- ANALIZAR

Veamos otro ejemplo gráfico obtenido con una versión anterior de Minitab:

Report 2: Process Capability for Delta



P_{USL} serían por ejemplo las probabilidades (a CP y LP) de salirse fuera de la especificación por arriba, es decir, por encima del límite superior de la especificación.

Z_{bench} o Z_{TOTAL} : Valor Z que incluye o combina los defectos de las dos colas de la campana de Gauss (defectos tanto por debajo del LEI como por encima del LES).

Z_{USL} : valor Z para el límite alto de la especificación ("upper specification limit")

P_{USL} : probabilidad de estar por encima del LES

P_{Total} : probabilidad total de estar fuera de los límites de la especificación.

Estudio de capacidad de Proceso/Producto:

- Datos Continuos: [Six Sigma>Process Report \(subgroup size 1\)](#). Sólo los valores a LP serán válidos con tamaño de subgrupos de 1; para CP el tamaño subgrupo >1 (ya que sino Z_{st} , Z_{shift} y $DPMO_{st}$ resultarían erróneos en la mayoría de los casos).
- Datos Discretos Defectuosos: [Six Sigma>Product Report \(metiendo 1 como nº de oportunidades por unidad\)](#)
- Datos Discretos-Defectos (total defectos y total oportunidades conocidas): [Six Sigma>Product Report](#). Veamos el resultado en un ejemplo ([Minitab calcula el \$Z_{bench}\(CP\)\$ a partir del PPM ó DPMO](#)):

Característica	Nº Defectos	Cantidad Piezas	Nº Oportunidades por pieza	Total Oportunidades= Cant. Piezas x Nº Oportunidades	DPU: Defectos por unidad	DPO: Defectos por Oportunidad	PPM ó DPMO LP	Zshift	Zbench
Pulido	7	100	2	200	0,07	$=(7/200)=0,035$	$=-0,035 \times 1000000 = 35000$	1,5	3,312
Total	7	100	2	200	0,07	0,035	35000	1,5	3,312 Zbench ST

Minitab por defecto toma $Z_{shift}=1,5$

PPM(partes por millón)=DPMO(defectos por millón de oportunidades)=DPOx1000000

Minitab supone por defecto que $Z_{shift}=1,5$ (a no ser que cambie yo la casilla de "shift factor").

Itero con el $DPMO_{LP}$ en la tabla de capacidades para obtener el $Z_{benchLT}=1,812$ (asumo que tengo datos a LP)

Luego utilizo la fórmula: $Z_{bench ST} = Z_{bench LT} + Z_{shift}$

- Datos Discretos-Defectos (oportunidades desconocidas):

$$FTY(\text{First time yield}) = \frac{\% \text{ defect free parts}}{\text{Total\# of parts inspected for the 1st time}} = e^{-DPU}$$

Con $P(d) = 1 - FTY$ voy a la tabla de Z y obtengo $DPMO = P(d) \cdot 100000$

3.- ANALIZAR

Con el valor del DPMO podría calcular la “capacidad del proceso Z_{bench(CP)}” y viceversa:

	Zbench LT	Zbench ST
Long term DPMO	Actual Sigma σ (Long Term)	Reported Sigma Z: Sigma Capability (Short Term)
500.000	0	1,5
460.172	0,1	1,6
420.740	0,2	1,7
382.089	0,3	1,8
344.578	0,4	1,9
308.538	0,5	2
274.253	0,6	2,1
241.964	0,7	2,2
211.855	0,8	2,3
184.060	0,9	2,4
158.655	1	2,5
135.666	1,1	2,6
115.070	1,2	2,7
96.801	1,3	2,8
80.757	1,4	2,9
66.807	1,5	3
54.799	1,6	3,1
44.565	1,7	3,2
35.930	1,8	3,3
28.716	1,9	3,4
22.750	2	3,5
17.864	2,1	3,6
13.903	2,2	3,7
10.724	2,3	3,8
8.198	2,4	3,9
6.210	2,5	4
4.661	2,6	4,1
3.467	2,7	4,2
2.555	2,8	4,3
1.866	2,9	4,4
1.350	3	4,5
968	3,1	4,6
687	3,2	4,7
483	3,3	4,8
337	3,4	4,9
233	3,5	5
159	3,6	5,1
108	3,7	5,2
72	3,8	5,3
48	3,9	5,4
32	4	5,5
21	4,1	5,6
13	4,2	5,7
9	4,3	5,8
5	4,4	5,9
3,4	4,5	6

Ejemplo:

Total defectos	Total piezas	Oportunidades por pieza	Total Ops	Defectos por unidad	Defectos por Oportunidad	DPMO
20	10	5	50	=20/10=2	=20/50=0,4	400000

Interpolamos en la tabla DPMO(a LP), Sigma(a LP) y Zbench(a CP):

$$\frac{420.740 - 400.000}{1,7 - x} = \frac{400.000 - 382.089}{x - 1,8}$$

$$x = \text{Zbench(a CP)} = 1,753$$

3.- ANALIZAR

METRICAS DEL SEIS SIGMA:

El **valor central** o “mean” es la tendencia central de los datos de una variable (media, mediana,.....etc).

Rendimiento “yield”: porcentaje de un proceso libre de defectos.

El **rango** o “range” es la varianza estadística de pieza a pieza (“statistical part-to-part variance”). Es la diferencia entre los valores superiores e inferiores de una muestra de un “subgrupo”.

Índice Z: Es la métrica de capacidad de procesos de mayor uso en el 6 sigma. Se trata de otra forma de medir la capacidad de un proceso que consiste en calcular la distancia entre las especificaciones y la media del proceso en unidades de desviación estándar, o lo que es lo mismo, el cálculo de cuantas sigmas caben entre la salida media del proceso y el límite de la especificación más cercano. De ésta manera para un proceso con doble especificación se tendría:

$$Z_s = \frac{(LSE - \mu)}{\sigma} \quad Z_i = \frac{(\mu - LIE)}{\sigma}$$

La capacidad de un proceso medida en términos del índice Z es igual al valor más pequeño entre Zs y Zi:

$$Z = \min[Z_s, Z_i]$$

Índice Z_{CP}: valor del índice Z en el cual se emplea la desviación estándar a CP (asume que el proceso está centrado y que la variación es a CP). Representa la capacidad del proceso cuando elimino los factores especiales y el proceso está bien centrado. Métrica adimensional en base a la cual se comparan los procesos.

Índice Z_{LP}: valor del índice Z en el cual se emplea la desviación estándar a LP. Es el Z_{bench} calculado a partir de la desviación estándar total y la salida media actual del proceso. Se usa con datos continuos y representa la capacidad total del proceso y se puede usar para determinar la probabilidad de hacer piezas fuera de la especificación con el proceso actual.

La diferencia entre la capacidad de CP y la de LP se conoce como **desplazamiento o movimiento del proceso Z_{shift}** y se mide con el siguiente índice:

$$Z_{shift} = Z_{CP} - Z_{LP}$$

Éste índice de desplazamiento del proceso representa la habilidad para controlar la tecnología. Cuanto mayor sea más capaz será de controlar los factores especiales identificados en los subgrupos. Hay estudios que dicen que la media de un proceso se puede mover a lo largo del tiempo hasta un promedio de 1,5 sigmas a cualquiera de los dos lados de su valor actual. Cuando puedo calcular el Z_{shift} y éste es inferior a 1,5 asumo que mi proceso tiene un mejor control que la media de aquellos procesos con un control pobre, y si es superior a 1,5 entonces el control de mi proceso es muy malo. Si desconozco Z_{shift} le supondré un valor de 1,5.

Se podría demostrar de una manera muy fácil que:

$$\begin{aligned} 3. c_{pk} &= Z_{CP} \\ 3. P_{pk} &= Z_{LP} \end{aligned}$$

Z_{bench} ó Z_{total}: Puede ser a CP o a LP y se trata del Z que incluye los defectos a ambos lados de la campana de Gauss, es decir, los defectos en las dos colas (por debajo del LEI y por encima del LSE). Valor de Z que se corresponde con la probabilidad total de un defecto.

P_{total}: Puede ser a CP o a LP y trata de la probabilidad de estar fuera de los límites de la especificación.

3.- ANALIZAR

La variación o desviación estándar del proceso a CP (σ_{CP}) se estima de los gráficos de control y los subgrupos se representan sobre un periodo de tiempo concreto para maximizar la posible variación.

$$\text{Del gráfico de Control } \bar{X}, R \text{ chart: } \sigma_{ST} = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

$$\text{Del gráfico de Control } X, mR \text{ chart: } \sigma_{ST} = \frac{\overline{mR}}{1,13}$$

La variación a largo plazo σ_{LP} se estima a partir de la totalidad de los datos recogidos y se aproxima de cerca a la variación que percibirá nuestro cliente.
Si un proceso está bajo control ambas sigmas a corto y a largo serán próximas y el proceso estará libre de variación por causas asignables.

Capacidad ó Sigma a Corto Plazo Z_{ST} del proceso (ST:Short Term)	Capacidad ó Sigma a Largo Plazo Z_{LT} del proceso (LT:Long Term)
<ul style="list-style-type: none"> - Limitado por la tecnología. - Es la mejor ejecución posible con el proceso tal y como está. - 6σ significa $Z_{ST} = 6.0$ - Describe la capacidad instantánea de un proceso - Utiliza la mejor estimación de variación CP y del objetivo del proceso (centro óptimo). - La variación a CP incluye sólo a la variación de CAUSA COMÚN Ó ALEATORIA ó NATURAL (inherente al proc.). - (SL-T) es la distancia del Límite de la Especificación hasta el objetivo ó "target". - Si no se especifica el objetivo éste será la mitad de la tolerancia. 	<ul style="list-style-type: none"> - Definido por la tecnología y el control de proceso. - Describe la reproducibilidad duradera de un proceso. La que realmente pasa con éste, la ejecución real del sistema. - 6σ significa $Z_{LT} = 4.5$ - La variación ("variance") a LP σ_{LT} incluye a ambas variaciones, a la de CAUSA COMÚN y a la de CAUSA ESPECIAL ó ASIGNABLE (generalmente ocasional e impredecible). - Variación Especial >>>Variación Común - Mide si el proceso está bien controlado durante muchos ciclos. - Es más realista ya que utiliza el centro real y rango del proceso tal y como se ejecuta a lo largo del tiempo (la estimación real de variación a LP). - (SL-μ) es la distancia de la especificación a la media de la población.

$$Z_{shift} = Z_{bench}(ST) - Z_{bench}(LT) \quad \text{valido tanto para valores continuos como discretos}$$

$$Z_{ST} = \frac{SL-T}{\sigma_{ST}} \quad Z_{LT} = \frac{SL-\bar{\mu}}{\sigma_{LT}} = \frac{\min(USL-mean, mean-LSL)}{std\ dev}$$

$$Z_{ST} \gg Z_{LT} ; \quad Z_{shift} = Z_{ST} - Z_{LT}$$

Z_{shift} es la diferencia en capacidad entre el CP y el LP. Generalmente la variación de causa especial en el largo plazo produce un Z_{shift} de 1.5, siempre que el control del proceso sea bueno.

$Z_{shift} = Z_{st} - Z_{lt} \approx 1.5$ para que el control sea bastante bueno.

Si Z_{shift} es alto es que hay un problema de Control y si fuera bajo de Tecnología.

Z_{st} versus Z_{shift} → Tecnología versus Control de proceso

Para determinar Z_{st} y Z_{lt} debo de recoger datos con SUBGRUPOS RACIONALES

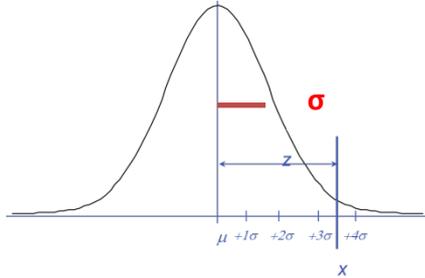
Para calcular Z_{st} lo que se suele hacer es sobreponer/centrar la curva a CP (Short Term) justamente sobre el objetivo dado por el cliente y así calculo el Sigma ó Z a corto plazo (distancia de la línea vertical objetivo al punto de inflexión de la curva).

La capacidad a corto plazo Z_{st} se basa en el análisis de subgrupos. Si estos subgrupos contuviesen causa especial de variación además de la causa común de variación, Z_{st} no reflejará todo lo bueno que nuestra tecnología pudiera ser. En otras palabras, nos podría llevar equivocadamente a prejuizar nuestra tecnología simplemente en base a éste parámetro.

3.- ANALIZAR

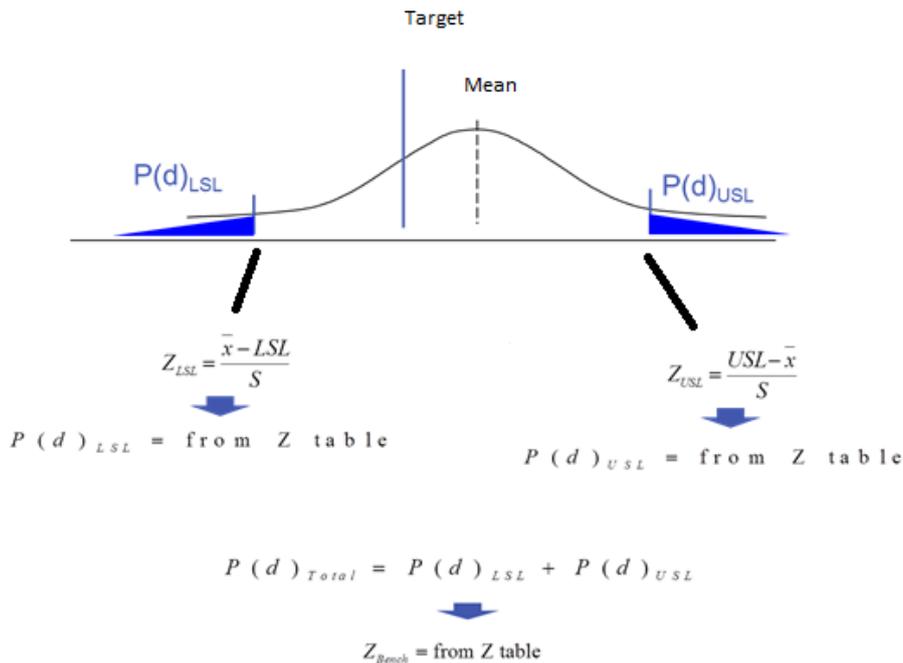
Z_{ST} está limitada por la tecnología y no por el control de proceso ya que se asume que el subgrupo contiene solamente variación aleatoria de causa común, sin ningún impacto de la variación de causa especial.

Un bajo Z_{shift} no significa necesariamente un buen control sino consistencia entre subgrupos. Sin embargo si fuera mayor de 1.5 claramente será un indicador de problemas con el control. Se intentará mejorar el Control mediante la identificación y posterior eliminación de las fuentes de variación de causa especial o asignable. Podría ser necesario el mejorar nuestro nivel tecnológico actual para alcanzar una mayor capacidad.



$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

Se puede calcular el valor de Z para cualquier valor de x, siendo Z el número de desviaciones estándar que caben entre la media y el valor de x dado (límite especificación). Este indicador Z de capacidad del proceso (para datos continuos) es una manera de transformar cualquier distribución normal a la distribución normal estándar (media de 0 y una desviación estándar de 1) y así poder comparar 2 procesos enteramente diferentes sobre una misma escala común, aquella con desviaciones estándar por unidades Si en el eje-y tengo a la probabilidad y en el eje-x el tiempo (siendo s la desviación estándar):



A modo de ejemplo: si un proceso tiene un LSE de 20cm, LIE de 12 cm, una media de 15 cm y una desviación estándar de 2cm, calcular el Z_{bench} del proceso:

$$Z_{LIE} = \frac{15 - 12}{2} = 1,5 ; \text{ de la tabla } P(d)_{LIE} = 0,0668$$

$$Z_{LSE} = \frac{20 - 15}{2} = 2,5 ; \text{ de la tabla } P(d)_{LSE} = 0,00621$$

$$P(d)_{Total} = 0,0668 + 0,00621 = 0,07301 ; \text{ de la tabla } Z_{Bench} = 1,45$$

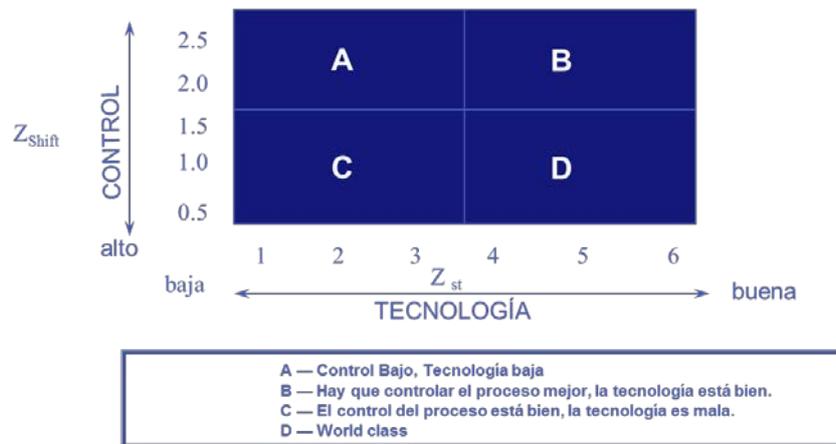
3.- ANALIZAR

Hay dos formas de hablar, o bien mediante la probabilidad del defecto P o bien mediante la capacidad sigma Z de mi proceso.

El area bajo la curva y entre los límites de la especificación es la capacidad total a CP (C_P ó C_{pk}) de mi proceso ó $Z_{bench} = Z_{TOTAL}$ (con la desviación estándar obtenida de los gráficos de control y no con la asociada a la totalidad de los datos). Al sumar las dos probabilidades es como si trasladara el área azul de la izquierda junto con la de la derecha, y así podría ir a la tabla de Z con una sola cola para obtener mi Z_{bench} .

Señalar que no se pueden sumar los valores de Z para obtener el Z_{bench} del proceso. Debemos convertir esos valores de Z a probabilidad de un defecto, las cuales sí se pueden sumar. Las probabilidades P(d) representan a las áreas bajo la curva que están fuera de los límites de la especificación. Una vez calculado el $P(d)_{Total}$ lo podremos convertir a Z_{bench} ó Z_{TOTAL} .

La capacidad de proceso es únicamente una estimación del desempeño y puede solamente ser calculado con datos Normales.



Z_{bench} mide la probabilidad total de un defecto

Z_{ST} es la Z a corto plazo ("short-term") porque es medida en un plazo corto de tiempo y está menos influenciada por las causas especiales o no-aleatorias. Representa la mejor ejecución ó capacidad posible del proceso. Es una foto del proceso libre de influencias no-aleatorias.

Z_{LT} es la Z a largo plazo calculada a partir de la desviación estándar total y la media de salida del proceso actual. Se puede usar para determinar la probabilidad de la salida del proceso que se encuentre fuera de las especificaciones.

Lo primero que he de hacer es comparar mi $Z_{proceso}$ con la capacidad del proceso a CP (Z_{CP}) porque es más fácil de implementar algo a nivel de control que a nivel de tecnología.

Ejemplo: Calcular la capacidad de un proceso cuya $\bar{x} = 5$; $\sigma = 2$ y $LSE = 9$:

$$Z_{LP} = \frac{9 - 5}{2} = 2 \quad Z_{CP} = 2 + 1,5 = 3,5$$

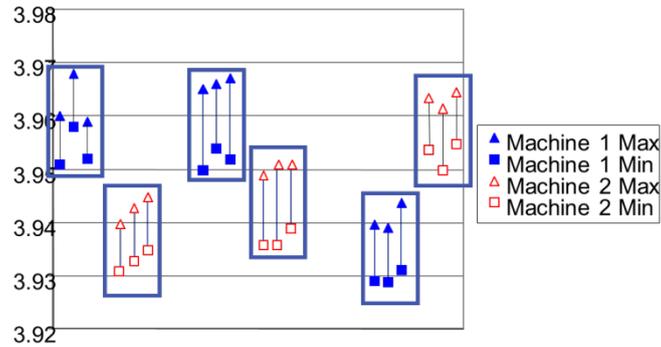
Variación de causas no-comunes o especiales (asignables): es una variación no aleatoria que se puede asignar a causas concretas y que es controlable. Está relacionada a factores externos.

Variación debida a causas comunes (aleatorias): Es una fuente de variación natural intrínseca/interna al proceso y por lo tanto no es controlable. Está relacionada con el proceso.

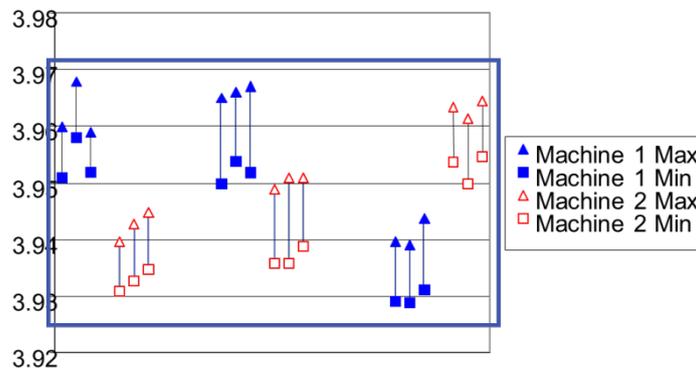
Dentro del subgrupo se han de dar causas comunes de variación y entre subgrupos causas especiales. A CP σ es más grande que a LP ya que a CP no tengo en cuenta las causas especiales.

3.- ANALIZAR

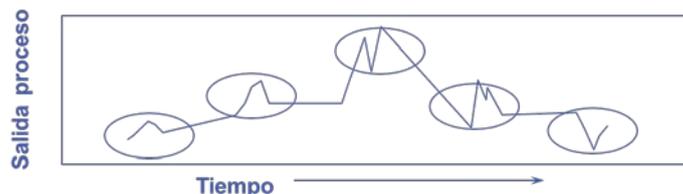
Un sub-grupo de datos que se restringe sólo a la variación a CP se llama **subgrupo racional** (solo contiene variación a CP). En la variación a CP y en la medida de lo posible hay que restringir la mayor cantidad de cosas posibles, en otras palabras, la variación que exhiben las piezas del mismo proveedor, hechas en la misma máquina, por el mismo operario y durante un mismo periodo de tiempo se consideraría como variación a corto plazo. Las variables que pueden cambiar y derivar a lo largo del tiempo o cambiar de una máquina a otra son eliminadas ya que solo una máquina y un solo periodo de tiempo se tienen en consideración. El gráfico multi-vari de debajo muestra 6 grupos racionales de datos:



La variación a LP incluye todas las variables de múltiples subgrupos racionales y mide el rango total de la variación histórica. La idea de la variación a LP es la de que todas las variables, incluso aquellas que cambian y derivan, son incluidas. En otras palabras, la variación que exhiben las piezas de todos los proveedores, hechas en cada una de las máquinas, por todos los operarios y a lo largo de múltiples periodos de tiempo sería la variación a largo plazo. Los datos a LP contienen datos de múltiples subgrupos racionales y exhiben el rango completo de la variación histórica. Por ejemplo, si ahora estamos trabajando con un solo proveedor no hay necesidad de meter a un segundo ya que éste no sería representativo de nuestro proceso normal.



Los subgrupos racionales se hacen de la siguiente manera: Seleccionando subgrupos racionales que contengan causa común de variación y que difieran entre sí debido a la causa especial de variación.



Hay que entender el proceso y sus fuentes de variación para hacer los subgrupos correctamente y poder realizar análisis realistas de capacidad tanto a CP como a LP.

3.- ANALIZAR

Habrá que elegir sub-grupos que cumplan con las siguientes condiciones:

1. Hay una alta probabilidad que las mediciones dentro del subgrupo sean similares. Un subgrupo sólo debería contener variación de causa común.
2. Hay una alta probabilidad que las mediciones entre los subgrupos sean diferentes. La diferencia entre los subgrupos es la variación de causa especial.

	Variación debida a causas especiales	Variación debida a causas comunes
Capacidad a LP	X	X
Capacidad a CP		X

Ejemplo: Calcular la probabilidad de que un dato est  más de 3.25 desviaciones estándar alejado de la media (en sólo un lado de la distribución).

$$Z = 3.25$$

$$\text{Valor de probabilidad} = 5.77 \text{ e-}004 = 0.000577 = 0.0577\% = 577 \text{ DPMO}$$

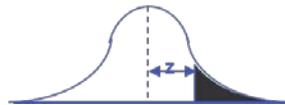


Tabla Z – una cola

El  rea en negro bajo la curva sería la probabilidad al fallo α . Si $\alpha=0.05$ entonces el nivel de confianza sería del 0.95 (el área bajo la curva de color blanco).

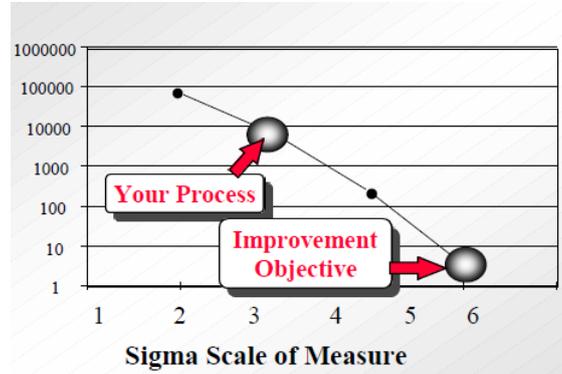
Z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.00	5.00e-001	4.96e-001	4.92e-001	4.88e-001	4.84e-001	4.80e-001	4.76e-001	4.72e-001	4.68e-001	4.64e-001
0.10	4.60e-001	4.56e-001	4.52e-001	4.48e-001	4.44e-001	4.40e-001	4.36e-001	4.33e-001	4.29e-001	4.25e-001
0.20	4.21e-001	4.17e-001	4.13e-001	4.09e-001	4.05e-001	4.01e-001	3.97e-001	3.94e-001	3.90e-001	3.86e-001
0.30	3.82e-001	3.78e-001	3.74e-001	3.71e-001	3.67e-001	3.63e-001	3.59e-001	3.56e-001	3.52e-001	3.48e-001
0.40	3.45e-001	3.41e-001	3.37e-001	3.34e-001	3.30e-001	3.26e-001	3.23e-001	3.19e-001	3.16e-001	3.12e-001
0.50	3.09e-001	3.05e-001	3.02e-001	2.98e-001	2.95e-001	2.91e-001	2.88e-001	2.84e-001	2.81e-001	2.78e-001
0.60	2.74e-001	2.71e-001	2.68e-001	2.64e-001	2.61e-001	2.58e-001	2.55e-001	2.51e-001	2.48e-001	2.45e-001
0.70	2.42e-001	2.39e-001	2.36e-001	2.33e-001	2.30e-001	2.27e-001	2.24e-001	2.21e-001	2.18e-001	2.15e-001
0.80	2.12e-001	2.09e-001	2.06e-001	2.03e-001	2.00e-001	1.98e-001	1.95e-001	1.92e-001	1.89e-001	1.87e-001
0.90	1.84e-001	1.81e-001	1.79e-001	1.76e-001	1.74e-001	1.71e-001	1.69e-001	1.66e-001	1.64e-001	1.61e-001
1.00	1.59e-001	1.56e-001	1.54e-001	1.52e-001	1.49e-001	1.47e-001	1.45e-001	1.42e-001	1.40e-001	1.38e-001
1.10	1.36e-001	1.33e-001	1.31e-001	1.29e-001	1.27e-001	1.25e-001	1.23e-001	1.21e-001	1.19e-001	1.17e-001
1.20	1.15e-001	1.13e-001	1.11e-001	1.09e-001	1.07e-001	1.06e-001	1.04e-001	1.02e-001	1.00e-001	9.85e-002
1.30	9.68e-002	9.51e-002	9.34e-002	9.18e-002	9.01e-002	8.85e-002	8.69e-002	8.53e-002	8.38e-002	8.23e-002
1.40	8.08e-002	7.93e-002	7.78e-002	7.64e-002	7.49e-002	7.35e-002	7.21e-002	7.08e-002	6.94e-002	6.81e-002
1.50	6.68e-002	6.55e-002	6.43e-002	6.30e-002	6.18e-002	6.06e-002	5.94e-002	5.82e-002	5.71e-002	5.59e-002
1.60	5.48e-002	5.37e-002	5.26e-002	5.16e-002	5.05e-002	4.95e-002	4.85e-002	4.75e-002	4.65e-002	4.55e-002
1.70	4.46e-002	4.36e-002	4.27e-002	4.18e-002	4.09e-002	4.01e-002	3.92e-002	3.84e-002	3.75e-002	3.67e-002
1.80	3.59e-002	3.51e-002	3.44e-002	3.36e-002	3.29e-002	3.22e-002	3.14e-002	3.07e-002	3.01e-002	2.94e-002
1.90	2.87e-002	2.81e-002	2.74e-002	2.68e-002	2.62e-002	2.56e-002	2.50e-002	2.44e-002	2.39e-002	2.33e-002
2.00	2.28e-002	2.22e-002	2.17e-002	2.12e-002	2.07e-002	2.02e-002	1.97e-002	1.92e-002	1.88e-002	1.83e-002
2.10	1.79e-002	1.74e-002	1.70e-002	1.66e-002	1.62e-002	1.58e-002	1.54e-002	1.50e-002	1.46e-002	1.43e-002
2.20	1.39e-002	1.36e-002	1.32e-002	1.29e-002	1.25e-002	1.22e-002	1.19e-002	1.16e-002	1.13e-002	1.10e-002
2.30	1.07e-002	1.04e-002	1.02e-002	9.90e-003	9.64e-003	9.39e-003	9.14e-003	8.89e-003	8.66e-003	8.42e-003
2.40	8.20e-003	7.98e-003	7.76e-003	7.55e-003	7.34e-003	7.14e-003	6.95e-003	6.76e-003	6.57e-003	6.39e-003
2.50	6.21e-003	6.04e-003	5.87e-003	5.70e-003	5.54e-003	5.39e-003	5.23e-003	5.08e-003	4.94e-003	4.80e-003
2.60	4.66e-003	4.53e-003	4.40e-003	4.27e-003	4.15e-003	4.02e-003	3.91e-003	3.79e-003	3.68e-003	3.57e-003
2.70	3.47e-003	3.36e-003	3.26e-003	3.17e-003	3.07e-003	2.98e-003	2.89e-003	2.80e-003	2.72e-003	2.64e-003
2.80	2.56e-003	2.48e-003	2.40e-003	2.33e-003	2.26e-003	2.19e-003	2.12e-003	2.05e-003	1.99e-003	1.93e-003
2.90	1.87e-003	1.81e-003	1.75e-003	1.69e-003	1.64e-003	1.59e-003	1.54e-003	1.49e-003	1.44e-003	1.39e-003

3.- ANALIZAR

Etapa#5: Definir el objetivo/s de ejecución de mi proceso:

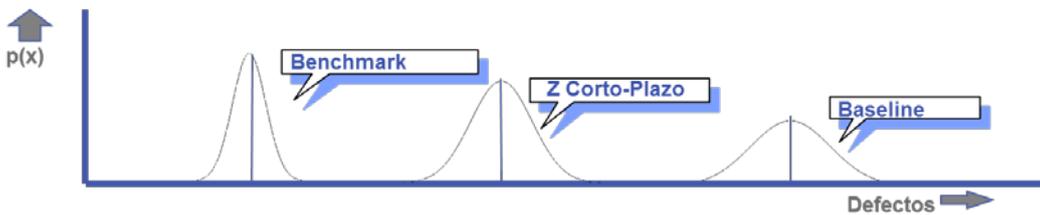
Este objetivo define para mi proyecto la meta de capacidad del proceso. Se pueden emplear varios métodos para establecer ésta meta:

- Benchmarking
- Análisis de la capacidad del proceso (LP contra CP)
- Análisis con las herramientas básicas de calidad (Brainstorming)



Si a la hora de definir el objetivo conseguible & realista de mejora para Y éste no está del todo claro, se pueden tomar cualquiera de éstos acercamientos:

- Z_{CP} : desempeño adecuado de mi proceso a CP con las inversiones ya presentes o disponibles.
- Benchmarking: llegar a ser el mejor del mundo
- En base a la curva de aprendizaje: obtener 6σ a lo largo de todos mis procesos en 5 años.
- Reducción de defectos: eliminar el 75% de mis defectos por ejemplo



La Línea Base es el nivel actual de ejecución de mi proceso que hay que mejorar. Se trata de la evaluación inicial la cual se alimenta de las mediciones actuales de mi proceso.



Los tres tipos de Benchmarking, el cual puede ser realizado interna y externamente (competitivo o funcional).

3.- ANALIZAR

Se consideran procesos que tengan características similares, como por ejemplo, comparativa entre Wal-Mart y Dell a la hora de mejorar sus procesos de la cadena de suministro. Hay una zona en la que los 3 tipos de benchmarking intersectan o coinciden en lo que las mejores prácticas se refiere.

Ventajas e inconvenientes de los distintos tipos de Benchmarking:

Tipo	Interno	Competitivo	Funcional
Definición	Actividades similares dentro de GE, pero en distintos sitios, departamentos, operaciones, países, etc.	Competidores directos que venden a los mismos tipos de clientes	Organizaciones reconocidas como líderes mundiales para estos procesos, sea la que sea su industria.
Ejemplos	<ul style="list-style-type: none"> Método de fabricación turbinas de Wind <ul style="list-style-type: none"> —GE Wind Salzbergen —GE Wind Pensacola —GE Healthcare —GE Aircraft Engines 	<ul style="list-style-type: none"> GE Appliances <ul style="list-style-type: none"> —Maytag —Whirlpool —Siemens 	<ul style="list-style-type: none"> Almacenes <ul style="list-style-type: none"> —DHL, Mercadona Seguimiento de expediciones <ul style="list-style-type: none"> —Federal Express Tiempo de ciclo para echar gasolina <ul style="list-style-type: none"> —Equipos de Formula 1
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> Datos fáciles de recoger Da buenos resultados en una compañía grande como GE 	<ul style="list-style-type: none"> Información relevante para los resultados del negocio Tecnologías y métodos comparables Puede que ya se estén recogiendo datos. 	<ul style="list-style-type: none"> Alto potencial para descubrimientos Desarrollo de red profesional Acceso a bases de datos relevantes Mejor oportunidad para pensar "out of the box"
Inconvenientes	<ul style="list-style-type: none"> enfoque limitado Sesgo interno 	<ul style="list-style-type: none"> Dificultades para conseguir datos Problemas éticos Actitud antagonista 	<ul style="list-style-type: none"> Dificultad para transferir método a entorno diferente Hay información que no se puede transferir. Requiere tiempo

Hay que ser creativo y considerar a todo tipo de organización (no sólo a las grandes corporaciones), revisar todos los sectores (privados, públicos, sin ánimo de lucro,..etc), organizaciones locales e internacionales,.....etc. Características del Benchmarking:

- Se trata de un proceso continuo
- Se trata de un proceso de aprendizaje de los demás
- Requiere de mucho tiempo y recursos y de un alto grado de creatividad
- Es un proceso que requiere de mucho trabajo y de mucha disciplina.
- Es un proceso de investigación con el que se obtendrá información muy valiosa.

3.- ANALIZAR

Etapa#6: Identificar las fuentes de variación: Identificar los factores que impiden que el proceso tenga un rendimiento a la altura de las expectativas del cliente, factores que me están causando defectos. El objetivo es ensayar y encontrar las X's que muestran una relación estadísticamente significativa con la variación en la Y, las X's vitales, recogiendo evidencias pero sin determinar la causa raíz.

Habrá que ver si el problema está en la variación (σ demasiado grande), en el centrado o en ambos. Para mejorar los resultados de mi proceso 6-sigma se centra primero en reducir la variación del proceso (estrechar la curva reduciendo la desviación típica o la dispersión de datos) y luego en mejorar la capacidad del proceso (ajustar el centrado de la curva o la media de la distribución // mover el valor de la media---normalmente cuando sólo hay un límite de la especificación).

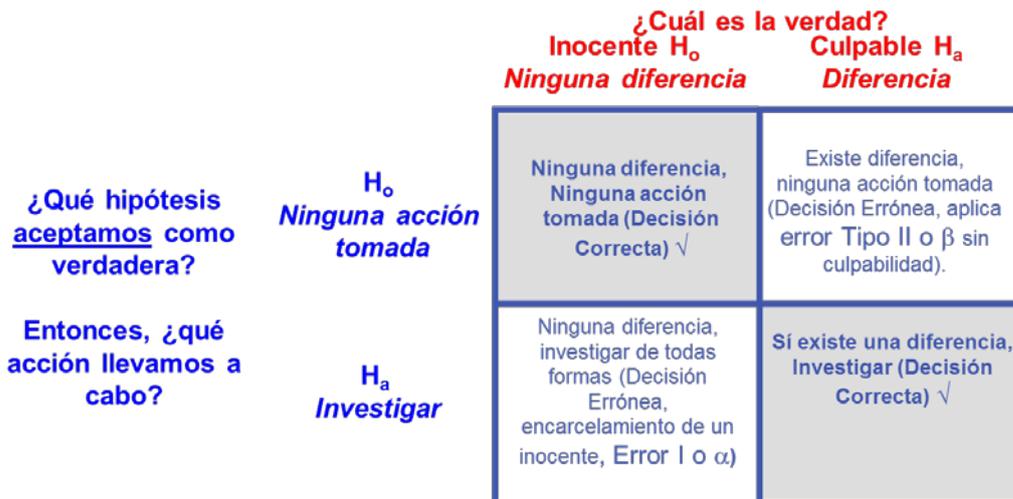
$$Y = f(X_1, \dots, X_2)$$

Para obtener resultados antiguamente se centraban en la Y. Ahora con el 6σ hay que centrarse en el comportamiento de las X's. Nuestra meta principal es la de entender ésta ecuación por completo; si entendemos qué X's afectan a la Y y cómo, podremos empezar a mejorar el proceso.

Y	X_1, \dots, X_2
Dependiente	Independiente
Salida	Entradas al proceso
Efecto	Causa
Síntoma	Problema
Monitorizar	Controlar

Debemos de ir a un valor de P como antes, cuando el proceso funcionaba al gusto del cliente. En una prueba de hipótesis por defecto supongo la hipótesis nula (H_0), que "el factor a estudio X No tiene influencia en la Y". Si $P < 0,05$ entonces rechazaré la hipótesis nula (X sí influye sobre la Y).

En la comprobación de hipótesis cuanto menor valor P mayor confianza en los resultados, por lo que tendremos que hacer algo al respecto de éste factor.



Si $p > 0,05 \rightarrow$ Aceptamos H_0 . Recuadro superior Izquierdo. Hay una probabilidad mayor del 5% de que esa persona sea inocente.

Objetivo: Describir la Comprobación de Hipótesis y distinguir entre los errores α y β .

3.- ANALIZAR

Hay que preguntarse quién es el que tiene un mayor desempeño. Por ejemplo si una planta-A procesa 65 facturas y comete 23 errores y otra planta-B procesa 87 y comete 35 errores no puedes decir que la primera planta es mejor porque comete menos errores ya que su volumen de facturas es menor. Así que se emplea la Prueba de Hipótesis para decir si estadísticamente hay realmente una diferencia.

Una hipótesis es una asunción o presunción de la verdad.

Una prueba de hipótesis es una prueba para confirmar o rechazar nuestra hipótesis. Se trata de un método de ensayo estándar entre los estadistas.

La presunción a testear se llama Hipótesis Nula y la contraria la Hipótesis Alternativa.

No se puede probar la Hipótesis Nula, el ensayo es para determinar si rechazamos o no nuestra suposición.

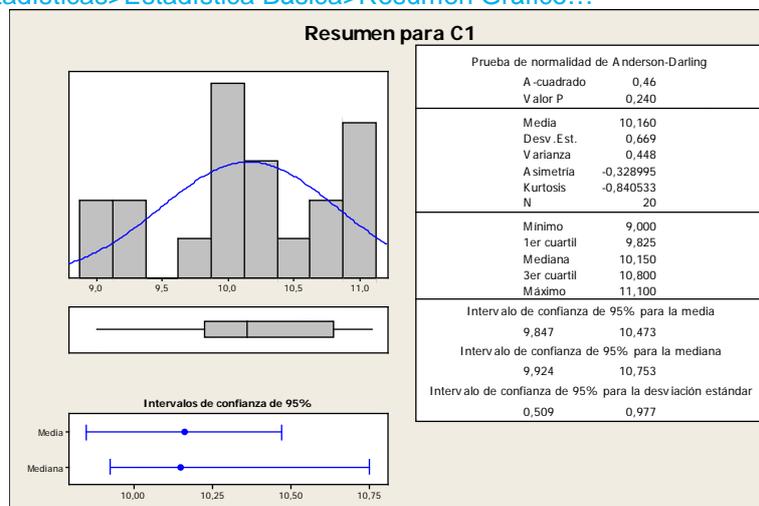
Se dispone también de otros ensayos básicos como: ANOVA, MOODS, HOV, CHI SQUARE, REGRESSION que comprueban el centrado y la variación, así que tendremos que saber qué tipo de problema tenemos en nuestro proceso actual.

La Prueba de Hipótesis nos ayuda a tomar decisiones acertadas.

Pueden darse dos tipos de riesgos debido a un fallo en la recopilación de datos:

- **Error tipo-I ó error α** : Es el más grave y se debe a que se detecta una diferencia entre los grupos que no es real, que no existe. Son errores que se sienten en el negocio. Se da cuando rechazamos H_0 por error. Acepto H_a cuando lo cierto es H_0 .
- **Error tipo-II ó error β** : hay una diferencia entre los grupos pero no es detectada. Son errores que se sienten por el Cliente. Acepto H_0 cuando lo cierto es H_a .

En Minitab: [Estadísticas>Estadística Básica>Resumen Gráfico...](#)



Para estudiar las Capacidades los datos han de ser continuos no así para el estudio de las Varianzas.

A mi proceso entran datos normales, No normales, continuos, discretos,..... (las X's) y éste da la Y como salida.

3.- ANALIZAR

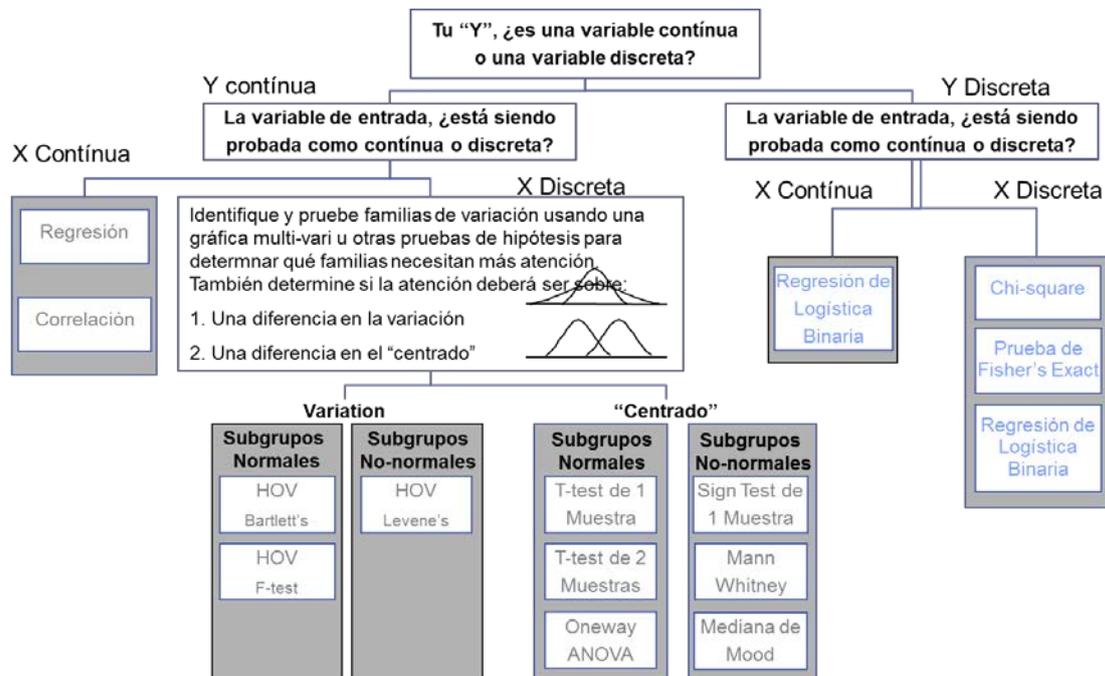
Diferentes Suposiciones para las diferentes Pruebas:

Prueba de:	Herramienta + Pasos Minitab	Suposición o Hipótesis Nula H_0 a rechazar si $P > 0,05$
Aleatoriedad	Run-Chart	Sí que los datos son Aleatorios
Normalidad	Normality Test / Estadística>Est. Básica>Resumen Gráfico...	Sí que son Normales
A.- Homogeneidad de La Varianza (HOV). Variance or spread or variation	Estadística>Anova>Homogeneidad de la varianza. Resultados para una X discreta: - F-test : si hay 2 subgrupos normales de mi X. - Bartlett's test : Para 3 ó más subgrupos normales de mi X. - Levene's test : Para 2 ó más subgrupos No normales (mezclados con normales o no). Es más fiable que el Bartlett. NOTA: Mínimo 5 elementos po subgrupo.	No hay diferencia de varianzas (mi Xi no influye en la SD). Se puede usar para análisis de una X tanto antes como después de ajustar mi proceso.
B.- Medias	1 t-sample, 2 t-sample, One-way-Anova, Anova Balanceado, ...etc	No hay diferencia en las medias
C.- Medianas	Mood's Median	No hay diferencia
D.- Proporciones(%)	Chi-square (Y,X's discretas)	No hay diferencias entre los subgrupos
E.- Correlación		No hay correlación
F.- Análisis de Regresión		

Gráfica para entender y seleccionar la prueba o ensayo más adecuada para cada situación.

Pruebas para identificar los Factores Significativos:

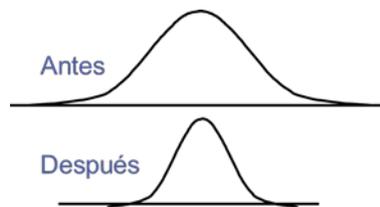
Nota: Variables como Temperatura, peso (kg), distancia y tiempo de ciclo son variables continuas, ya que éstas se podrían dividir en sub-unidades más pequeñas y aun tendrían sentido (grs por ejemplo). Operadores, proveedores y clientes, tener o no tener un defecto concreto, son variables discretas. Para trabajar con datos continuos basados éstos sobre datos discretos hay que comprobar antes el valor P.



3.- ANALIZAR

A.-Test de Homogeneidad de la Varianza (HOV): Se usa:

- 1) Para determinar si las varianzas de 2 distribuciones son significativamente diferentes. Bien comparando familias de variación (diferencia en la varianza entre 2 muestras) o bien cuando las varianzas comparables proporcionan ventajas en algunas pruebas de la media (T-tests: permiten juntar los datos si las varianzas son similares // Antes de usar ANOVA las distribuciones deben de tener varianzas similares).
- 2) Para verificar que el nuevo proceso es significativamente diferente del proceso antiguo en cuanto a su varianza.



Hay que apilar todos los datos en una misma columna y en la siguiente columna poner sus correspondientes etiquetas (muestra 1,2,..., n; operario 1,2,...,n ;etc).

En todos los casos:

@ "**H₀**: sin diferencias en las varianzas s^2 . Las varianzas (SD^2) de las distintas distribuciones o grupos bajo comparación son iguales (no hay diferencia en la variación)". Si $p > 0,05$ acepto H_0 .

@ "**H_a**: Estadísticamente existe diferencia".

HOV se usa cuando quieres descubrir qué X's están causando el problema con la variación. Aunque vale tanto para datos Normales como No-Normales siempre habrá que comprobar la Normalidad de los subgrupos.

Es útil para determinar si:

- Distribuciones relacionadas difieren en la varianza
- Las distribuciones cumplen con los requisitos de la varianza para T-test ó Anova.
- Las distribuciones de antes y después muestran un cambio significativo.

El primer paso es determinar si las distribuciones están normalmente distribuidas ya que esto puede afectar al tipo de ensayo HOV a utilizar:

- Datos normales de los subgrupos: (Minitab selecciona el ensayo automáticamente)
 - @F-test: sólo se usa si hay 2 subgrupos
 - @Bartlett's test: para 3 ó más subgrupos
- Datos no-normales:
 - @Levene's test: se usa para 2 ó más subgrupos.

Cuando se comparan dos o más subgrupos de datos continuos, debemos decidir entonces si hay una diferencia estadística o no entre las varianzas dada la importancia de su influencia en la fórmula empleada para hacer la prueba de las medias.

Interpretación de los resultados del HOV:

Si el valor calculado de p es menor que el valor especificado para α , el ensayo indicará una diferencia significativa en la varianza (rechazo H_0 y acepto H_a).

Si el valor de $p < 0,05 (= \alpha)$ entonces puedes estar un 95% seguro de que hay una diferencia significativa entre las varianzas de las distribuciones.

Aquellos grupos con la misma varianza también tendrán la misma desviación estándar, ya que la varianza es la desviación estándar al cuadrado.

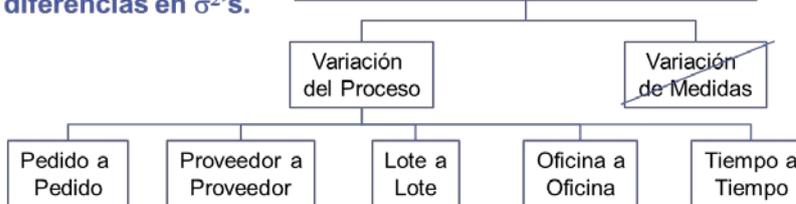
3.- ANALIZAR

Reseñar que el ensayo sólo indica si hay o no una diferencia significativa y que no puede determinar si esto es bueno o malo. El conocimiento del proceso es el que nos ayudará a evaluar la situación.

EJEMPLO: Estudiar la variación entre tres oficinas que procesan pedidos

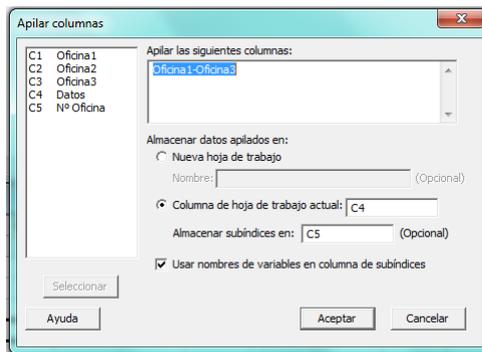
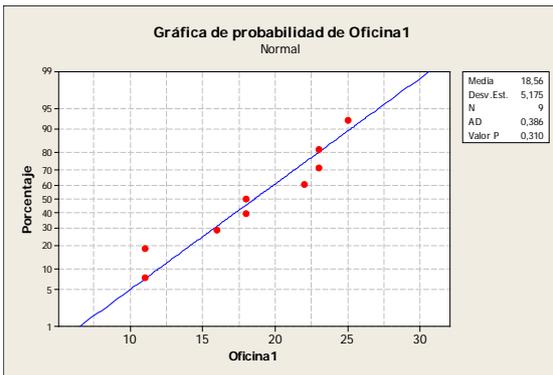
- ¿Son los datos normales?
- ¿Hay alguna diferencia significativa entre oficinas?

H₀: $\sigma^2_{Oficina 1} = \sigma^2_{Oficina 2} = \sigma^2_{Oficina 3}$
H_a: Existen diferencias en σ^2 's.

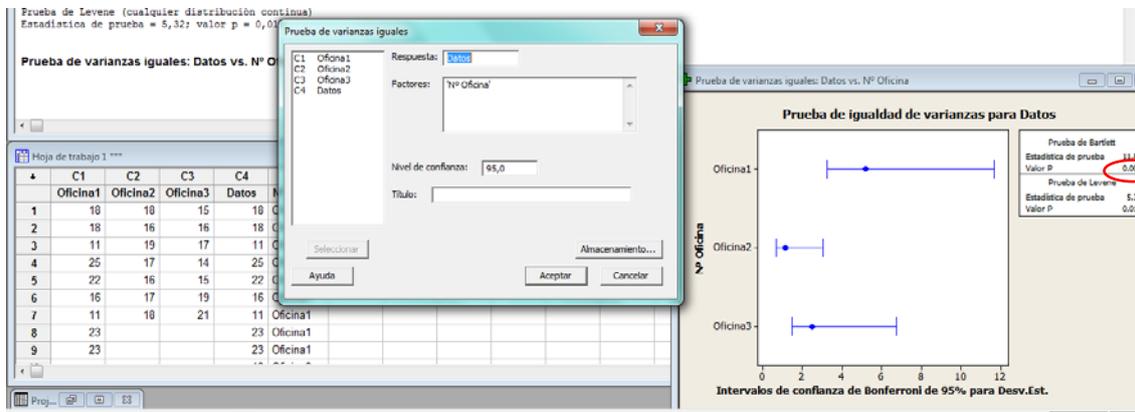


En éste ejemplo la Y: días es una variable continua, y las X's son variables discretas (oficina1, oficina2 y oficina3). Evaluamos la normalidad de los datos de cada oficina de forma individual en Minitab con:

Estadísticas>Estadística Básica>Prueba de Normalidad ó con Estadísticas>Estadística Básica>Resumen Gráfico...



Todos los sets de datos son Normales (acepto H₀) ya que p>0,05 para las tres oficinas. Creo en Minitab las columnas C4-Datos (variable salida) y C5-Nºoficina (variable entrada) con la opción Datos>Apilar Columnas. Realizamos el Análisis de Homogeneidad de la Varianza en Minitab (HOV: Homogeneity Of Variance test): Estadísticas>ANOVA>Prueba de varianzas iguales



Como el valor de p<0,05 existe una diferencia estadística entre las oficinas. Como p<0,05 rechazo la hipótesis nula "H₀: No existe diferencia estadística entre oficinas".

3.- ANALIZAR

B.- Target-tests (T-tests): Se usan cuando la Y es continua y las X's discretas para comprobar el centrado en distribuciones con subgrupos Normales. Se usa para comparar medias de población/poblaciones.



B1.- Ruta Minitab para **t-test de 1 muestra**: Estadísticas>Estad. Básica>t de 1 Muestra...

Se muestran tres imágenes de la interfaz de Minitab:

- Una captura de la barra de menú donde se selecciona **Stat > Basic Statistics > 1-Sample t...**
- Una captura de la ventana "t de 1 muestra (prueba e intervalo de confianza)" donde se selecciona "Muestras en columnas" y se indica "Realizar prueba de hipótesis".
- Una captura de la ventana "1-Sample t" donde se configura: "Variables: Data", "Confidence interval: Level: 95.0", "Test mean: 3.1672" (etiquetado como "4. Media objetivo"), "Alternative: not equal" (etiquetado como "Ha: not equal"), y se presiona "OK" (etiquetado como "5.").

En anteriores versiones de Minitab se hacía de la última manera expuesta.

Si $p > 0.05$ (acepto H_0 : los datos tienen la misma media que el objetivo. No hay una diferencia significativa entre ambas medias) se podría decir con un 95% de confianza que la media de la población es igual a la media objetivo.

B2.- Ruta Minitab para **t-test de 2 muestras**: Estad.>Estad. Básica>t de 2 Muestras...

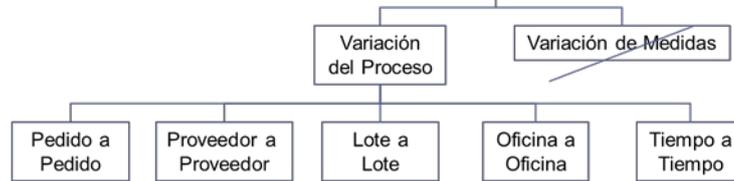
Sólo nos permite comparar los grupos o muestras de datos de dos en dos. Se podrían trabajar con los datos en 2 columnas separadas o con los datos apilados en una sola, a la cual habría que ponerle en paralelo otra columna con el número de la muestra de la cual proviene el dato ("subscript" o "subgroup").

3.- ANALIZAR

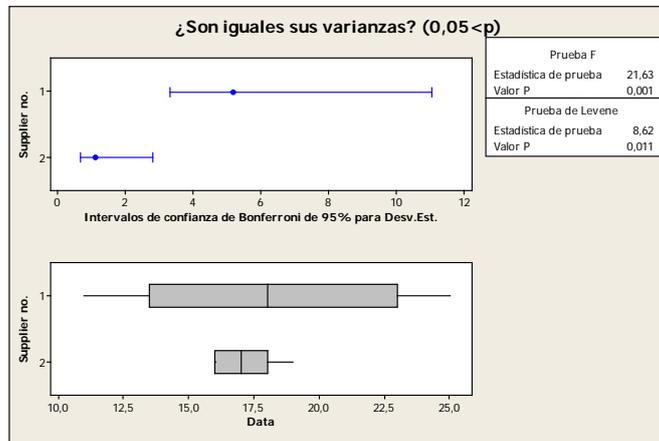
Volviendo al ejemplo del tiempo de procesamiento de pedidos por parte de 2 proveedores, digamos que quisiéramos ver las medias (promedios) de ambos.

$$H_0: \mu_{\text{Proveedor 1}} = \mu_{\text{Proveedor 2}}$$

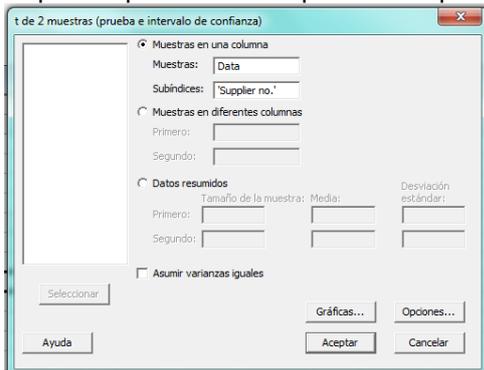
$$H_a: \mu_{\text{Proveedor 1}} \neq \mu_{\text{Proveedor 2}}$$



Antes de nada hacemos la prueba de Normalidad de cada muestra y como en ambos casos $p > 0,05$ asumo que son ambas distribuciones normales (acepto H_0 : el proceso es Normal). También hay que comprobar si las varianzas de los 2 proveedores se pueden considerar iguales o no (HOV test). Cuando son iguales Minitab usará las desviaciones estándar agrupadas ó "pooled".



Como según la "prueba-F" $p=0,001 < 0,05$ (rechazo H_0 : Las varianzas son iguales) se demuestra con una confianza del 95% que las varianzas de los 2 proveedores son distintas, información requerida para el "2 Sample-t Test" que hacemos a continuación con los siguientes resultados:



Prueba T e IC de dos muestras: Data; Supplier no.

T de dos muestras para Data

Supplier no.	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
1	9	18,56	5,17	1,7
2	7	17,29	1,11	0,42

Diferencia = $\mu(1) - \mu(2)$
 Estimado de la diferencia: 1,27
 IC de 95% para la diferencia: (-2,82; 5,36)
 Prueba T de diferencia = 0 (vs. no =): Valor T = 0,72 Valor P = 0,495 GL = 8

Hipótesis Nula H_0 : Las dos medias de las dos poblaciones son iguales.
 Hipótesis Alternativa H_a : las dos medias no son iguales. Con un 95% de confianza la variación proviene de la diferencia entre las medias de los subgrupos.

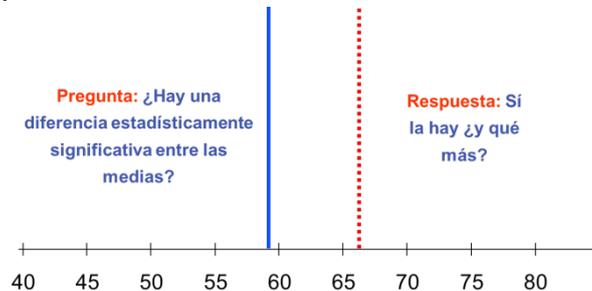
Como $p > 0,05$ aceptamos " H_0 : Las dos medias de las 2 poblaciones son iguales". No hay una diferencia significativa entre ambas.

3.- ANALIZAR

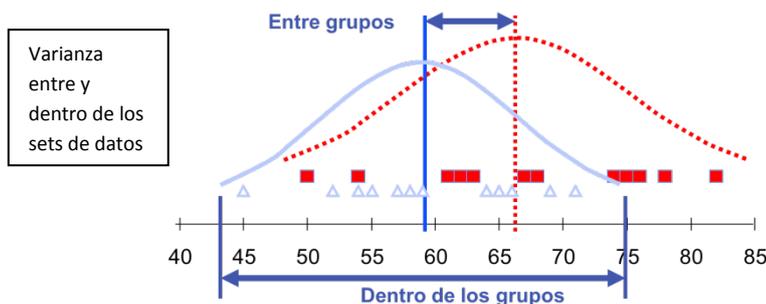
B3.- Análisis de Varianza Unidireccional (Oneway ANOVA):

Para Y continua, X discreta/s, para evaluar el centrado en distribuciones de dos ó más muestras/subgrupos/poblaciones normales. Análisis de varianza para investigar un único factor en múltiples niveles (ver DoE fase mejorar)

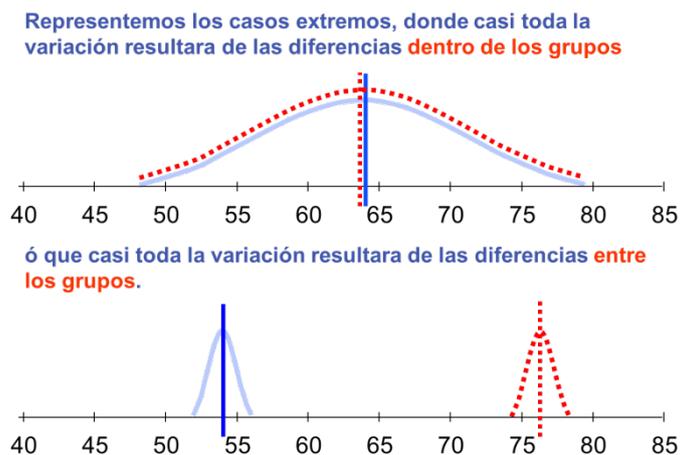
Mostremos por ejemplo las medias de los tiempos de ciclo de 2 procesos diferentes ambos distribuidos normalmente. Se hizo un T-test de 2 muestras obteniéndose un $p=0,04 < 0,05$, por lo tanto rechazo H_0 y concluyo que las medias de los dos procesos son distintas tal y como se puede ver en el gráfico:



Ahora bien, ¿qué más nos puede decir el ANOVA que no nos haya dicho ya el T-test? ANOVA compara cuánto del total de la variación pertenece a la variación de dentro de los propios subgrupos y cuánto a la variación entre subgrupos.



ANOVA compara la variación debida a diferencias entre grupos frente a las diferencias dentro de los grupos. One-way ANOVA se usa para ver si la media de un subgrupo difiere bastante con respecto a las medias del resto de subgrupos (para 2 o más subgrupos).



Implicaciones:

- Se necesitan datos Continuos
- Los subgrupos deben de tener una Variación comparable/similar. Los subgrupos deben de contrastarse el uno contra el otro para verificar que sus varianzas son comparables (en la prueba HOV $p\text{-value} > 0,05$). Comparable significa estadísticamente iguales.
- Es deseable tener subgrupos con distribución Normal.

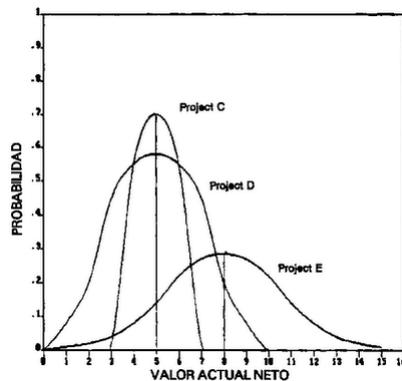
3.- ANALIZAR

Hipótesis Nula H_0 : Los grupos tienen las mismas medias. No hay diferencias entre las medias de 2 ó más poblaciones.
 Hipótesis Alternativa H_a : Los grupos No tienen las mismas medias.

Si $p\text{-value} > 0,05$ acepto H_0 con un 95% de confianza. Las diferencias de las medias ("means") entre grupos son despreciables.

Si $p\text{-value} < 0,05$ rechazo H_0 . Hay un 95% de probabilidad de que no todos los grupos sean iguales y tengan distintas medias entre sí. Cuanto más pequeño sea $p\text{-value}$ (por ejemplo 0,0001) más real y mayor será la diferencia entre las medias y mayor su impacto en la medición.

ANOVA es la herramienta que se suele usar para comparar las SD's de varios subgrupos, y aunque es una herramienta muy potente, sólo se podrá usar cuando las varianzas entre subgrupos sean semejantes (herramienta HOV 2 a 2).



Ejemplo de 3 poblaciones con muy distintas varianzas

nº operario	Medida en PSI
3	77
3	64
1	78
2	62
3	65
2	61
1	68
3	58
2	75
3	59
2	68
2	78
3	74
1	59
2	71
1	73
1	61
1	64
2	69
3	61

Ejemplo de One-way ANOVA con Minitab. [Estadísticas>ANOVA>Un solo factor...](#)
 Debo poner todos los datos en una columna y el factor correspondiente en otra (# de muestra al que pertenece el dato, #operario,.....etc). Comparo el efecto individual de un factor sobre la salida Y.

14/05/2014 10:52:13

ANOVA unidireccional: psi vs. operator

Fuente	GL	SC	CM	F	P
operator	2	48,3	24,2	0,50	0,617
Error	17	827,4	48,7		
Total	19	875,7			

S = 6,976 R-cuad. = 5,52% R-cuad.(ajustado) = 0,00%

Nivel	N	Media	Desv.Est.
1	6	67,167	7,305
2	7	69,143	6,256
3	7	65,429	7,368

Desv.Est. agrupada = 6,976

ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada

```

+-----+-----+-----+-----+-----+
(-----*-----)
(-----*-----)
(-----*-----)
+-----+-----+-----+-----+-----+
60,0      64,0      68,0      72,0
    
```

La mitad superior del análisis me muestra el análisis de la Varianza.
 $P=0,617 > 0,05$ entonces acepto H_0 : los grupos tienen medias muy similares.

3.- ANALIZAR

ANOVA Unidireccional. Veamos el significado práctico de la **contribución de la variación entre grupos**. Para ello divido el SC (suma de cuadrados del factor a estudio) entre el SC Total:

$$\frac{48,3}{875,7} \cdot 100 = 5,5\%$$

Porcentaje de la variación observada en el conjunto de datos como un todo que podría explicarse por el hecho de que los 3 subgrupos tienen medias diferentes. Cuanto mayor sea este porcentaje mayores son las posibilidades de que hayas encontrado la causa de la X vital.

La porción restante de SC es la contribución de la variación dentro de los subgrupos. Para ello divido el SC del error entre el SC Total:

$$\frac{827,4}{875,7} \cdot 100 = 94,5\%$$

Se trata del porcentaje del error, variación inexplicable incluso cuando se tiene en cuenta el grupo del cual vino la medición. En este ejemplo la mayor parte de la variación es de dentro de los subgrupos.

La segunda mitad inferior del análisis resume los grupos que fueron analizados. Para cada muestra detalla:

- N: cuántos puntos de datos hay en cada subgrupo.
- La media de cada grupo
- La desviación estándar de cada grupo

Así como una representación gráfica para cada grupo, con su respectiva media (*) y su intervalo de confianza del 95% para esa media entre paréntesis.

Si el intervalo de confianza se encogiera (mostrando una menor probabilidad de solapamiento) el valor-p caerá también.

B4.- Análisis de Varianza balanceado (ANOVA Balanceado):

Los ANOVA prueban la hipótesis de que las medias de dos o más poblaciones son iguales. Evalúan la importancia de uno o más factores al comparar las medias de la variable de respuesta en los diferentes niveles de factores. La hipótesis nula establece que todas las medias de la población (medias de los niveles de factores) son iguales mientras que la hipótesis alterna establece que al menos una es diferente.

Para ejecutar un ANOVA, debe tener una variable de respuesta continua y al menos un factor categórico con dos o más niveles. Los ANOVA requieren datos de poblaciones normalmente distribuidas con varianzas aproximadamente iguales entre los niveles de factores.

Por ejemplo, usted diseña un experimento para evaluar la durabilidad de cuatro productos de alfombra experimentales. Usted coloca una muestra de cada tipo de alfombra en diez hogares y mide la durabilidad después de 60 días. Debido a que está examinando un factor (tipo de alfombra), usted utiliza un ANOVA de un solo factor.

Si el valor p es menor que el alfa, entonces rechazamos H_0 concluyendo que al menos una media de durabilidad es diferente.

El nombre "análisis de la varianza" se basa en la manera en la cual el procedimiento utiliza las varianzas para determinar si las medias son diferentes. El procedimiento funciona comparando la varianza entre las medias de los grupos y la varianza dentro de los grupos como un método para determinar si los grupos son todos parte de una población más grande o poblaciones separadas con características diferentes.

3.- ANALIZAR

Minitab tiene diferentes tipos de ANOVA que permiten factores adicionales, tipos de factores y diseños diferentes que se ajustan a sus necesidades específicas.

Tipo de ANOVA	Modelo y propiedades del diseño
De un solo factor	Un factor fijo (niveles establecidos por el investigador) que puede tener un número desigual (no balanceado) o igual (balanceado) de observaciones por combinación de tratamiento.
De dos factores	Dos factores fijos y requiere un diseño balanceado.
Balanceado	El modelo puede contener cualquier número de factores aleatorios y fijos (los niveles son seleccionados al azar) y factores anidados y cruzados, pero requiere un diseño balanceado.
Modelo lineal general	Expande los ANOVA balanceados al permitir diseños no balanceados y covariadas (variables continuas).

Tipo de Factores	Modelo y propiedades del diseño
Cruzados o Anidados:	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Factores Cruzados</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Factores Anidados</p> </div> </div>
Fijos o Aleatorios	<p>Fijos: Los niveles del factor están bajo control.</p> <p>Aleatorios: Niveles en base a muestras aleatorias de la población.</p>
Covariadas	<p>Se trata de una variable predictora continua:</p> <ul style="list-style-type: none"> - En un DOE una covariada se utiliza para representar el efecto de una variable que es observable pero difícil de controlar. Se introduce una covariada en el modelo para reducir la varianza del error. Por ejemplo, podría estar interesado en el efecto de la temperatura ambiente de la covariada en el tiempo de secado de dos tipos distintos de pintura. - En un modelo lineal general (GLM) una covariada es cualquier predictor continuo que pudiera o no ser controlable. Por ejemplo, podría interesarme el efecto de la edad de las covariadas de los ingresos de las ventas telefónicas.

Diseño Balanceado significa que todas las combinaciones de tratamientos (celdas) deben de tener el mismo número de observaciones. [Estadísticas>ANOVA>ANOVA balanceado...](#)

En el apartado "[Respuestas](#)" tengo que meter la/s columna/s que contengan las variables de respuesta.

En el apartado "[Especificación de un modelo](#)" debo de meter el segundo miembro de la igualdad: $Y = \text{expresión}$. Pautas generales a la hora de desarrollar una expresión:

- *: indica el término de interacción. Por ejemplo $A*B$ es la interacción de los factores A y B.
- (): indica anidación. Cuando B se anida dentro de A se expresaría $B(A)$. Cuando C se anida dentro de A como de B se escribe $C(A B)$.
- Hay que abreviar el modelo utilizando una | o un ! para indicar factores cruzados y el símbolo - para eliminar términos.
- Ejemplos varios:
 - @ dos factores cruzados $A B A*B$
 - @ tres factores cruzados $A B C A*B A*C B*C A*B*C$
 - @ tres factores anidados $A B(A) C(A B)$
 - @ B anidado dentro de A y ambos cruzados con C:
 $A B(A) C A*C C*B(A)$
- Cuando un término contiene tanto cruce como anidación colocar el * (o factor cruzado) primero, tal como $C*B(A)$ en vez de $B(A)*C$

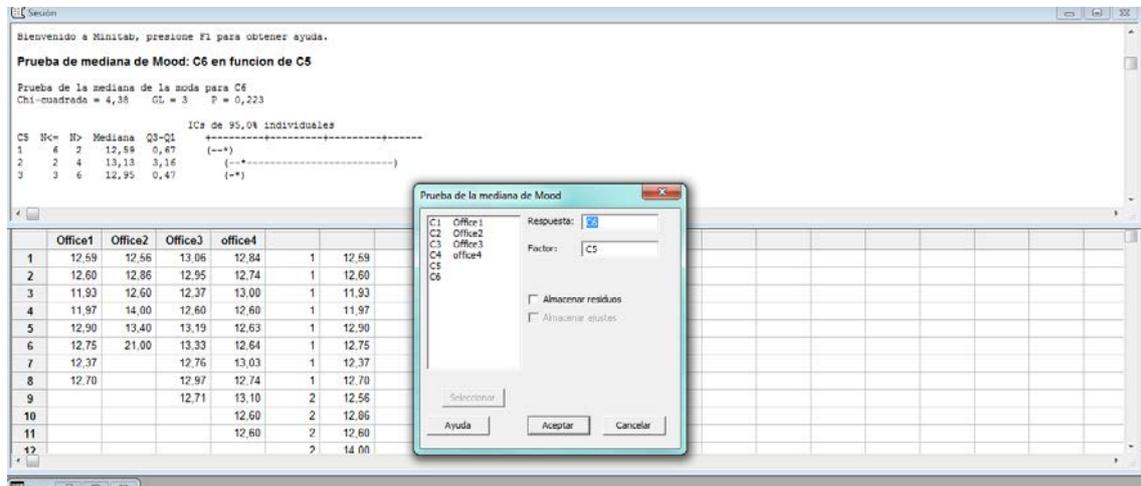
En el apartado "[Factores Aleatorios](#)" hay que meter las columnas que contengan los factores aleatorios. No hay que incluir aquellos términos del modelo que involucren a otros factores.

3.- ANALIZAR

C.- Prueba de la Mediana de Mood (Mood's Median Test): Se usa para Y continua, X discreta, para evaluar el centrado en distribuciones con sub-grupos no-normales. Cuando la distribución de los datos no tiene forma Normal entonces la mayoría de los datos se encontrarán en torno a la mediana (en vez de la media)

[Estadísticas>No paramétricos>Prueba de Mann Whitney \(para 2 grupos\)](#)

[Estadísticas>No paramétricos>Prueba de la mediana de Mood... \(para 2 ó más grupos\)](#)



14/05/2014 12:28:25

Bienvenido a Minitab, presione F1 para obtener ayuda.

Prueba de mediana de Mood: C6 en funcion de C5

Prueba de la mediana de la moda para C6
Chi-cuadrada = 4,38 GL = 3 P = 0,223

ICs de 95,0% individuales

C5	N<=	N>	Mediana	Q3-Q1
1	6	2	12,59	0,67
2	2	4	13,13	3,16
3	3	6	12,95	0,47
4	7	4	12,74	0,40

+-----+-----+-----+-----+-----+
 (-- *)
 (-- * -----)
 (- *)
 (*)
 +-----+-----+-----+-----+-----+

12,0 14,0 16,0 18,0

Mediana general = 12,74

Como $p=0,223>0,05$ aceptamos H_0 . A mayor p significará que el análisis se hizo con más finura, o lo que es lo mismo, con más datos. Las oficinas prácticamente tramitan el mismo número de presupuestos por día y las pequeñas diferencias que pudieran haber no son más que fruto de la casualidad.

H_0 : Los grupos tienen las mismas medianas.
 H_a : No todos los grupos tienen la misma mediana.

También para subgrupos con distribuciones No-Normales:
[Estadísticas>No paramétricos>Prueba de signo para 1 muestra](#)
 Donde H_0 : Los datos tienen la misma mediana que la mediana objetivo

3.- ANALIZAR

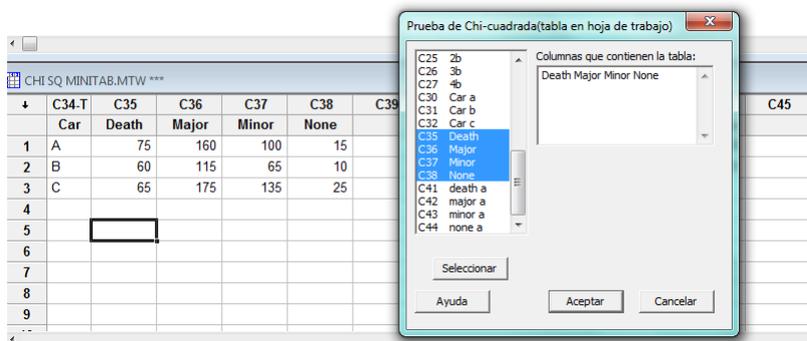
D.- Prueba Chi-Square de Independencia: Se usa para Y discreta y X's discretas, para determinar si hay una diferencia estadísticamente significativa en las proporciones para diferentes grupos X. Por ejemplo el hecho de determinar si a la hora de procesar pedidos 2 oficinas diferentes tienen un ratio de defecto significativamente diferente.

Hay que dividir todos los resultados en grupos "X" (proveedor A versus B, Area1 versus Area2) y categorías "Y" (habitualmente defectos versus no-defecto)

Empieza determinando un número esperado de defectos para cada uno de los grupos involucrados (la "Y"). Hace esto asumiendo que todos los grupos tienen la misma tasa o ratio de defecto (por aproximación de los datos recogidos).

Luego compara la proporción del conteo esperado con lo que realmente fue observado. Si los números difieren por mucho, chi-square indicará que los grupos no tienen la misma proporción.

Ejemplo de accidents según el modelo de coche estudiado: [Estadísticas>Tablas>Prueba de Chi-cuadrada\(tabla de dos factores en hoja de trabajo\)...](#)



14/05/2014 15:21:29

Resultados para: CHI SQ MINITAB.MTW
Prueba Chi-cuadrada: Death; Major; Minor; None

Los conteos esperados se imprimen debajo de los conteos observados
Las contribuciones Chi-cuadradas se imprimen debajo de los conteos esperados

	Death	Major	Minor	None	Total
1	75	160	100	15	350
	70,00	157,50	105,00	17,50	
	0,357	0,040	0,238	0,357	
2	60	115	65	10	250
	50,00	112,50	75,00	12,50	
	2,000	0,056	1,333	0,500	
3	65	175	135	25	400
	80,00	180,00	120,00	20,00	
	2,813	0,139	1,875	1,250	
Total	200	450	300	50	1000

Chi-cuadrada = 10,957; GL = 6; Valor P = 0,090

Para cada modelo de coche 1,2 y 3 se colocan los datos en 3 filas: en la primera van los datos observados y en la segunda justo debajo van los datos esperados si las proporciones fueran iguales. La suma de los valores en las tres filas terceras=10,957=Chi-Sq.

3.- ANALIZAR

H_0 : Los grupos tienen las mismas proporciones, no hay diferencia estadística entre ellos.

H_a : No todos los grupos tienen la misma proporción, hay diferencias.

Como $p > 0,05$ acepto H_0 . No hay ninguna diferencia estadística apreciable entre los 3 coches a nivel de accidentes. Aún así el coche 3 sería el mejor ya que tiene menos fallecidos aun teniendo el mayor número de accidentes.

Minitab dará un mensaje de aviso cuando encuentre un conteo esperado de 5 ó menos. Es una indicación de que el análisis podría haberse salido del intervalo dentro del cual el Chi-square en un modelo fiable.

El uso y los resultados de éste ensayo deberían de cuestionarse si el 20% o más de las celdas tienen un conteo esperado inferior a 5, especialmente si son éstas las celdas con la mayor contribución al valor total de Chi-Sq.

Si alguno de los conteos esperados de celda es menor de 1, chi-sq no debe de usarse (Minitab ni tan siquiera generará valor alguno de p en éstos casos).

Si algunas celdas tuvieran valores pequeños de conteos esperados, combinar u omitir filas y/o columnas de categorías a menudo suele ser de utilidad.

Otro ejemplo: Si el taller de Logroño ha ganado 38 pedidos de un total de 50 (76%) y el taller de Pamplona 36 de 43 (83,7%). ¿Tiene la ubicación algún significado estadístico en lo que a la habilidad de conseguir trabajos se refiere?

Colocaría los datos en Minitab de la siguiente Manera y con Chi-Square obtengo un $p=0,357$ por lo que acepto " H_0 : Los talleres son igualmente de capaces de conseguir trabajo".

	Logroño	Pamplona
Pedidos ganados	38	36
Pedidos perdidos	12	43

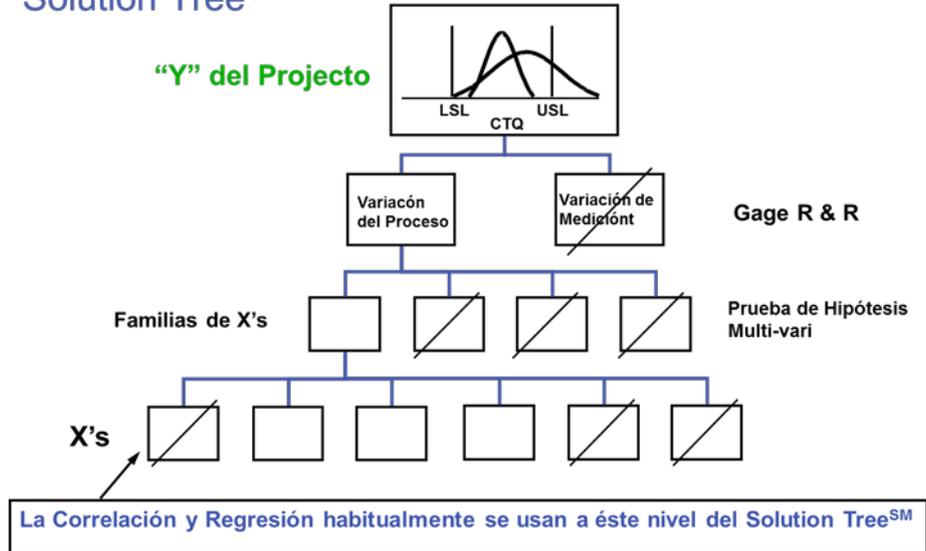
3.- ANALIZAR

E.- Análisis de Correlación: Se usa para continuas Y y X.

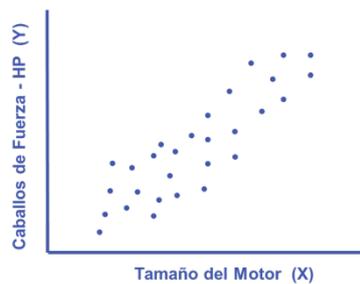
- Establece si hay una relación entre variables
- Caso de que sí, te dice cómo de fuerte es esa relación.

Hay que hacer uso de la Correlación y Regresión en conjunción con el Árbol de Solución:

Solution TreeSM



Una de las maneras que tenemos para poder estudiar la posible relación entre una variable (x) y otra variable (y) es mediante la **GRÁFICA DE PUNTOS (Scatter Plot:** gráfica con una representación por puntos que muestra la relación entre 2 variables), lo cual no es más que una representación de la Correlación:

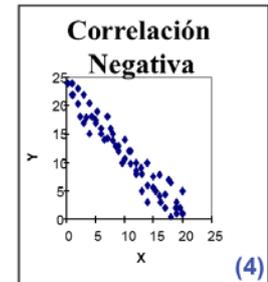
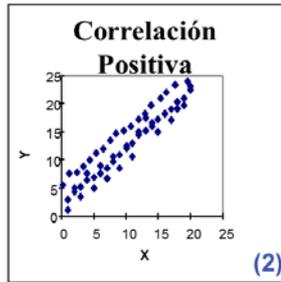
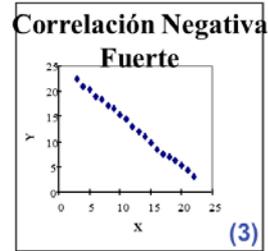
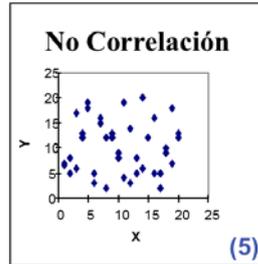
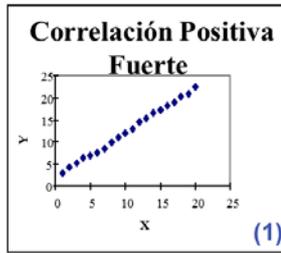


Este ejemplo muestra una posible relación entre Tamaño de Motor (X) y Caballos de Fuerza (Y)

3.- ANALIZAR

(1) y (2) Muestran una **Correlación Positiva** – “Y” incrementa conforme incrementa “X”

(3) y (4) muestran una **Correlación Negativa** – “Y” disminuye conforme “X” incrementa.



(5) muestra una **No Correlación** – No hay relación entre “X” e “Y”.

Gráfica>Gráfica de Dispersión>Simple

Resultados para: Worksheet 1

Gráfica de puntos de Y

Gráfica de puntos de X

Gráfica de dispersión de

Worksheet 1 ***

	C1	C2
	Y	X
1	16,1	11,5
2	14,3	14,3
3	17,6	9,4
4	14,5	15,2
5	16,6	8,8
6	17,2	9,8
7	17,0	11,2
8	16,3	10,9
9	13,8	14,7
10	14,7	15,1
11	17,7	8,7
12	17,0	8,6
13	17,6	9,3
14	16,3	10,8
15	16,7	11,9

Gráfica de dispersión - Simple

Variables Y variables X

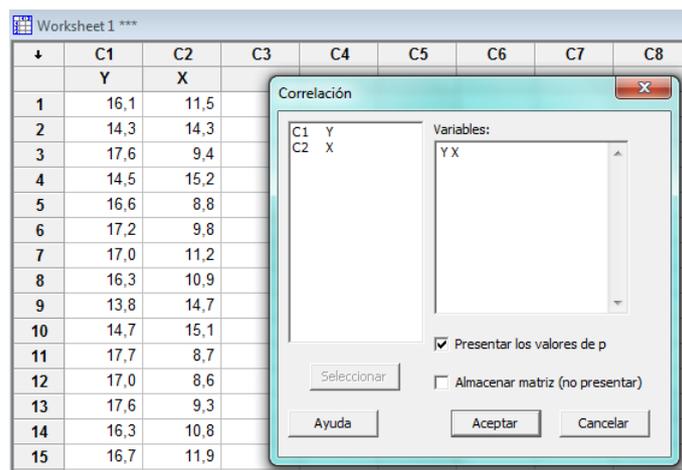
	Variables Y	variables X
1	Y	X
2		
3		
4		
5		
6		
7		

Gráfica de dispersión de Y vs. X

Si se construyera una línea a través del centro de los puntos, lo compacto del grupo (ó “cluster”) alrededor de la línea indicaría la fuerza de la relación entre X e Y.

La manera matemática de obtener el coeficiente de correlación (fuerza de la relación) en Minitab sería via: [Estadísticas>Estadística Básica>Correlación](#)

3.- ANALIZAR



Introduciendo primero la “Y” de salida y luego la “X” de entrada se obtiene en la ventana de sesión:

Correlaciones: Y; X

Correlación de Pearson de Y y X = -0,921
Valor P = 0,000

Obtenemos el coeficiente de Pearson (r):

-1<r<0 Correlación Negativa. Si próximo a -1 hay fuerte correlación.

r=0 No hay Correlación.

0<r<1 Correlación Positiva. Si cercano a 1 hay fuerte correlación.

H₀: El factor X no es un indicador significativo para la respuesta Y. (Si $p > 0,05$ acepto H₀)

H_a: El factor sí es un indicador significativo de la respuesta.

3.- ANALIZAR

F.- Análisis de Regresión (lineal): Se usa para X o X's continuos o discretos y respuesta Y continua. No requiere Normalidad de los datos. Describe la relación entre variables en más detalle que la correlación y se puede usar para hacer modelos predictivos:

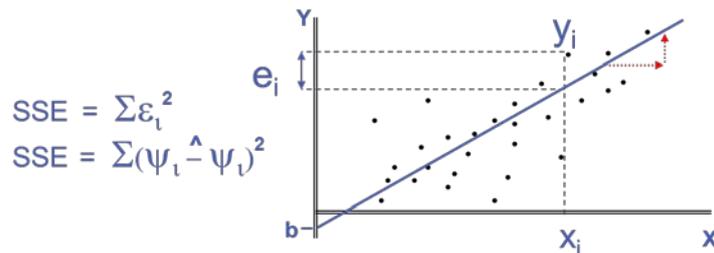
- @ Regresión lineal simple (un indicador)
- @ Regresión lineal múltiple (múltiples indicadores)
- @ Regresión polinomial (no lineal)

Es una forma estandarizada de encontrar correlación entre dos grupos de datos dándote también un modelo predictivo. Se puede usar para analizar relaciones entre:

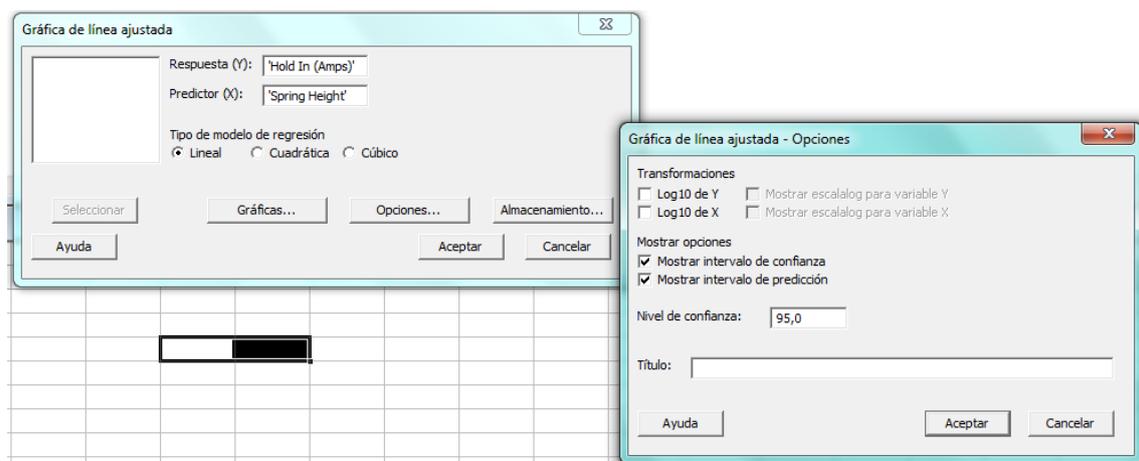
- Un solo indicador (ó vaticinador) X y una sola respuesta Y
- Múltiples indicadores X's y una sola respuesta Y
- Entre X's

Regresión Lineal Simple: "Línea de regresión" ó "línea de mejor ajuste" ya que minimiza el error (cantidad de espaciamento ó dispersión "scatter" entre los puntos alrededor de la línea) mejor que ninguna otra recta.

- Ecuación de la línea: $y = m \cdot x + b$ donde m&b son constantes.
- b: valor de y cuando x=0, es decir, corte de la recta con el eje-y
- m: pendiente de la recta. $m = \frac{\text{subida vtcal}}{\text{desplazamiento horizontal}}$
- Para cualquier valor de x se puede pronosticar un valor de y (llamado un "fit")
- Residual: es la diferencia entre el "fit" para un valor dado de x y el valor observado de y que fuera registrado para esa x concreta.
- La línea de mejor ajuste minimiza la suma de los cuadrados de todos los residuales y es por ésta razón que se conoce a éste método como el método de los mínimos cuadrados.

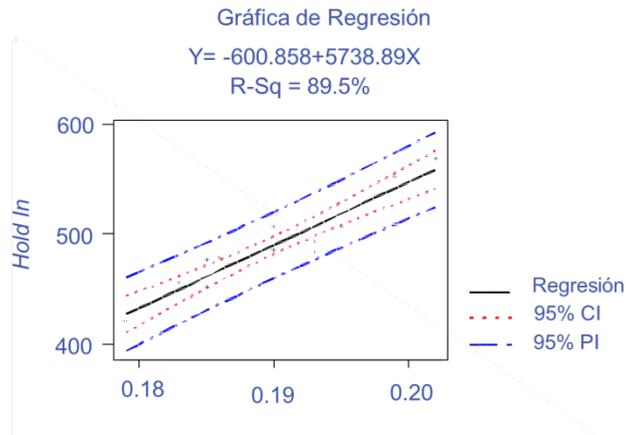


Ruta Minitab para Regresión Lineal Simple: [Estadísticas>Regresión>Gráfica de Línea Ajustada](#)



3.- ANALIZAR

La gráfica de puntos unida con líneas ("Fitted Line Plot") sólo puede hacerse con un indicador (X) obteniéndose:



La ecuación de regresión describe la relación entre el vaticinador y la variable de respuesta. R-Squared es el % de variación que se vería explicado por el modelo de regresión.

La banda o intervalo de confianza (CI) indicada por las líneas rojas discontinuas es una medida de certeza de la forma de la línea ajustada de regresión. En general, una banda de confianza del 95% implica un 95% de probabilidad de que la forma real caiga dentro de la banda.

Una banda o intervalo de predicción (PI) indicada por la línea a trazos y puntos azul es una medida de la certeza de la dispersión/esparcimiento de los puntos individuales acerca de la línea de regresión. En general el 95% de los puntos individuales (de la población en base a la cual está hecha la línea de regresión) estarán contenidos en la banda.

Análisis de Regresión. Interpretación de la salida

La ecuación de regresión es
 $Hold\ In = -601 + 5739\text{ Altura de Resorte}$

Valores "p" para la Constante (y-intersección) y los valores de Indicadores

Indicador	Coef	StDev	T	P
Constante	-600.9	112.6	-5.34	0.000
A. Resorte	5738.9	592.2	9.69	0.000

Error Std. de la predicción
 R-cuadrado
 R-cuadrado (Ajustado)

S = 13.30 R-Sq = 89.5% R-Sq(adj) = 88.6%

Análisis de Varianza

Fuente	DF	SS	MS	F	P
Regresión	1	16599	16599	93.91	0.000
Error Residual	11	1944	177		
Total	12	18544			

Valor "p" para la Regresión

Significado estadístico de los valores-p: Los valores de "p" constante (corte en y) y las variables vaticinadoras se leen exactamente tal y como se explicaron en las Pruebas de Hipótesis.

H₀: El factor X no es un vaticinador/indicador significativo para la respuesta Y. Las variables no están relacionadas, si cambia el input no hay efecto en el output (si $p > 0,005$ acepto H₀). La X no tiene influencia en la Y (coeficiente=0).

H_a: El factor X es un vaticinador/indicador significativo de la respuesta Y. La X tiene una influencia en la Y (coeficiente ≠ 0).

Como $p=0,000$ el valor de la constante es bastante seguro.

3.- ANALIZAR

S es el error estándar de la predicción=desviación estándar del error acerca de la línea de regresión.

R-cuadrado es el % de variación que se vería explicado por tu modelo de Regresión.

R-cuadrada(ajustada) es el % de variación que se explica por tu modelo ajustado para el número de términos en tu modelo y el número de mediciones.

El “valor-p variable” para la regresión indica si el modelo de regresión es enteramente significativo.

Ho: El modelo no es un vaticinador/indicador significativo de la respuesta.

Ha: El modelo sí es un vaticinador/indicador significativo de la respuesta.

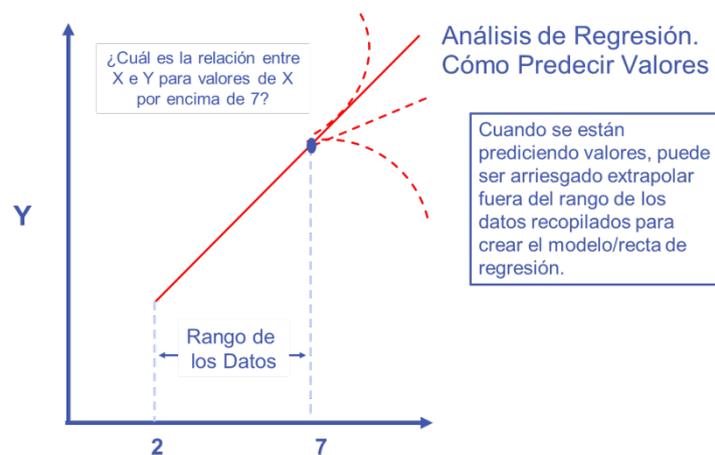
Como también la segunda $p=0,000$, el modelo de regresión Sí es estadísticamente significativo y bastante seguro (por ser muy próximo a cero).

Significado Práctico de la R-sq: Mejor cuanto más alta ya que mayor será la relación de la X con la Y. En el ejemplo la altura del resorte interno metálico del conector (factor) es un indicador estadísticamente significativo de la respuesta (la corriente interna de mantenimiento del propio conector ó “hold-in”). Comparo la Suma de Cuadrados de la Regresión con la Suma de Cuadrados Total:

$$R_{Cuadrado} = \frac{16599}{18544} \cdot 100 = 89,5\%$$

El 89,5% de la variación podría ser explicada por éste Modelo de Regresión.

Hemos generado una ecuación de regresión para obtener la Y (corriente de mantenimiento) en función de la X (altura del resorte). Con ella podremos predecir cualquier nueva Y para cada X concreta.



Otras posibles rutas en Minitab: [Stat>Regression>Regression](#) /// [Stat>Regression>Residual Plots](#) (para asegurarse de revisar fits y residuals).

Ejemplo en el que ambos factores x1 y x2 NO contribuyen significativamente a la predictibilidad de nuestra salida/respuesta Y.

Predictor	Coef	StDev	T	P
Constant	45.083	5.725	7.87	0.000
x1	0.3866	0.4639	0.83	0.409
x2	0.0245	0.7299	0.03	0.973
S=2.410		R-Sq=1.5%		R-Sq(adj)=0.0%

FASE 4: MEJORAR

4.- MEJORAR: Hay dos pasos en el hito Mejorar: generar soluciones y escoger soluciones.

Básicamente hay que hacer una **tabla donde la primera columna son las causas radicales ya validadas (x_1, \dots, x_n) y a su derecha las soluciones propuestas por el equipo para cada una de ellas.**

$$Y = f(X_1, \dots, X_2)$$

Si se hizo un buen trabajo en la fase anterior de Analizar entonces la fase de Mejorar resultará rápida, fácil y satisfactoria.

Se recomienda priorizar cada una de las soluciones y que al ponerlas en marcha se vaya ejecutando una por una o en grupos, siguiendo inmediatamente tras cada ejecución un nuevo cálculo del nivel sigma. Este debe hacerse porque muchas veces las metas y objetivos del equipo 6-sigma pueden alcanzarse sin necesidad de ejecutar todas las soluciones propuestas.

Como ya dijimos anteriormente habrá que ver si el problema está en la variación (σ demasiado grande), en el centrado o en ambos. Para mejorar los resultados de mi proceso 6-sigma se centra primero en reducir la variación del proceso (estrechar la curva reduciendo la desviación típica o la dispersión de datos // la precisión) y luego en mejorar la capacidad del proceso (ajustar el centrado de la curva o la media de la distribución o la exactitud // mover el valor de la media---normalmente cuando sólo hay un límite de la especificación). A modo de anécdota comentar el chiste del lago con una profundidad media de 1 metro y aun así se ahogó. Si se le hubiese facilitado la desviación media de la profundidad seguramente no se hubiese metido al lago ya que hubiese tenido más información al respecto.

El objetivo primordial es el de desarrollar una solución duradera tomando los siguientes pasos:

- Identificar la estrategia de mejora ligada a mi proyecto.
- Desarrollar las soluciones de mejora potenciales
- Elegir/determinar la mejor solución en base a la experimentación. Métodos de mejora.
- Implementar la solución elegida.
- Cuantificar las oportunidades financieras

Otros objetivos podrían ser:

- **Confirmar que la solución propuesta cumplirá o excederá los objetivos de mejora de Calidad mediante:**
 - @ Un lote piloto: **uno o más ensayos de la solución a pequeña escala en un ambiente de negocio real.**
 - @ **confirmando estadísticamente que existe una mejora (Ensayos de Hipótesis).**
- Identificar los recursos necesarios para una correcta implementación a escala completa de la solución.
- Planear y ejecutar su implementación a escala completa, incluyendo formación, apoyo, despliegue tecnológico, cambios en el proceso y en la documentación.

Puntos clave:

- Caracterizar y examinar a las X's
- Desarrollar una estrategia de mejora
- Seleccionar la herramienta de mejora adecuada
- Considerar otros métodos de mejora a parte del DOE (Diseño de Experimentos), el cual se usará cuando se trate de problemas de mayor complejidad.
- Pilotar o llevar a cabo la solución.

FASE 4: MEJORAR

La estrategia de mejora:

- Se ha de desarrollar para crear un marco de trabajo en el cual se desarrolle la solución de una manera sistemática y eficiente.
- Dependerá de:
 - @ la naturaleza de tu proyecto de mejora
 - @ tu nivel actual de conocimiento del proceso
 - @ disponibilidad y caracterización de los datos.
- Hay que **recoger datos de tu proceso y de las soluciones alternativas** para que puedas tomar decisiones de cómo mejorar tu proceso sustentadas con información.
- Incorporar diferentes herramientas de estadística y calidad para refinar tu solución y así conseguir el rendimiento requerido del proceso.
- Debe de involucrar:
 - @ Optimización del rendimiento del proceso. Desarrollar un modelo matemático de tu proceso mediante el **DOE (Diseño de Experimentos) o completar un Análisis de Regresión**. Determinar los mejores ajustes y acciones de mejora para cada X vital.
 - @ desarrollando y testeando varias alternativas haciendo **experimentos de prueba** para encontrar la solución que mejor cumpla con tus metas de mejora.

Objetivo de mejora. El objetivo de una solución propuesta es el de entender y actuar sobre la relación $Y=f(x)$.

- Una vez identificadas las X's vitales (mediante Paretos, FMEAs), relacionarlas con la Y
- Predecir la magnitud del efecto que tienen las X's sobre la Y
- Estipular la dirección y magnitud del cambio en las X's vitales para conseguir un cambio en la Y.
- Planificar e implementar cambios identificados en las X's vitales en base a datos. Análisis y Mejora en base a datos.

La caracterización de las X's podría hacerse de la siguiente forma:

- Parámetros de operación:
 - @ Las X's que pueden ser establecidas en múltiples niveles para estudiar cómo le afectan a la Y del proceso.
 - @ cambios en sus ajustes o valores preestablecidos le impactan a la Y directamente e influyen en la variación.
 - @ Podría ser continua y/o discreta (temperatura, tiempo de ciclo, # de gente respondiendo al teléfono,.....etc)
- Elementos críticos:
 - @ Las X's que sean alternativas independientes
 - @ Las X's que no sean necesariamente medibles en una escala específica pero que tienen un efecto sobre el proceso (secuencias alternativas del flujo de trabajo, estandarización del proceso, alternativas prácticas de solución,.....).

Hoja de trabajo. Experimentando para determinar una solución y así elegir la Estrategia apropiada:

Si tus X's son	Tu Estrategia de Mejora será...
Parámetros operacionales (necesitas conocer cómo se relacionan entre sí y con la Y para desarrollar una solución apropiada)	<ul style="list-style-type: none"> - Desarrollando un modelo matemático - Determinando la mejor configuración o combinación de X's
Elementos críticos (necesitas desarrollar y testear varias alternativas prácticas para determinar cuál es la mejor solución)	<ul style="list-style-type: none"> - Optimizando los problemas en el flujo del proceso - Estandarizando el proceso - Desarrollando una solución práctica

FASE 4: MEJORAR

Selección de las Herramientas Apropriadas:

- Para muchos proyectos llegaremos generalmente a una solución aceptable empleando herramientas básicas de calidad mediante:
 - @ optimización del flujo del proceso
 - @ trabajos en equipo, benchmarking, compartiendo las lecciones o mejores prácticas aprendidas, brainstorming. Siempre hay que generar las ideas de mejora en base a datos existentes y en base al conocimiento del proceso
 - @ experimentos de prueba o simulaciones
 - @ estandarizando el proceso
 - @ mediante pruebas de error
- Si se requiriera una mayor precisión se podrían usar las herramientas de nivel intermedio o las de nivel avanzado.

La estrategia de seleccionar herramientas estadísticas tipo DOE, ANOVA, Pruebas de Hipótesis,.....etc es adecuada cuando:

- Se necesita una evidencia medible de la mejora
- Se debe ajustar/optimizar un proceso
- La X's no están del todo claras
- Se necesita conocer la relación funcional de las X's para la Y
- Ya se intentó la mejora pero ésta falló o no se sostuvo

Actividades de ésta fase#4 de MEJORAR:

Soluciones-Consenso / FMEA / Pilotado-Guiado de la solución / Implementación a escala completa

Soluciones. Es en ésta fase donde se desarrollan, implementan y evalúan las soluciones dirigidas hacia tu causa X ya verificada. El objetivo es el de demostrar con datos que tus soluciones resuelven el problema y que te llevan a mejorar. Las herramientas más comúnmente usadas son:

1. Brainstorming de ideas para la solución del problema en base a nuestro conocimiento del proceso. Hay que combinar las ideas para convertirlas en soluciones.
2. Consenso
3. Técnicas creativas
4. Recolección de datos
5. Diseño de experimentos (DoE)
6. Diagramas de flujo
7. AMFE
8. Tésts de Hipótesis
9. Herramientas de planificación
10. Análisis del Accionista

Para conseguir las mejores soluciones hay que evaluar las ideas de la siguiente manera:

- Generando los criterios de evaluación
- Dándole a cada criterio su respectiva importancia o peso
- Evaluando ya sí las diferentes ideas

FASE 4: MEJORAR

Solution Prioritization Matrix

	Criteria and Weights					
	Easy	Quick	Tech	High Impact	Customers	
Solution	0,20	1,25	0,30	1,65	0,60	Sum
A	3,00	10,00	2,40	19,80	8,40	43,60
B	1,20	18,75	4,20	18,15	5,40	47,7
C	2,60	13,75	2,70	8,25	4,80	32,1
D	1,20	7,50	2,70	19,80	5,40	36,6

Highest score=best opinion overall

In this case there are 40 voters in total.
(Sum of voted ranks).(weight)

Para que la solución le resulte obvia a la gente de fuera del equipo 6-sigma habrá que también realizar un análisis de coste/beneficio ya que ésta solución debe de cumplir con los requisitos del negocio.

Evaluación de riesgos y pilotado o guiado de la solución: Si no hubiese un ganador claro tras el paso de evaluación habrá que usar los métodos de toma de decisiones como el de Consenso, votación de la mayoría, votación de la minoría, una persona.

El **Consenso** no es:

- Un voto unánime
- El tener a todos completamente satisfechos con el resultado
- Necesariamente la primera elección de alguien
- Que todos obtengan lo que quieren
- El que finalmente todos lleguen a la misma conclusión "acertada"

El Consenso es:

- Una búsqueda de la mejor decisión a través de la exploración de aquellos mejores pensamientos de cada uno
- Todos entienden la decisión y pueden explicar por qué es la mejor
- Todos han tenido la oportunidad de ser escuchados mediante un proceso estructurado

Se empleará en Consenso cuando la decisión tenga:

- un alto impacto
- una elevada consecuencia
- carga emocional
- esté llena de controversia
- halla una amplia diversidad de opinión

Recomendaciones para un buen Consenso:

- debe de haber un coordinador/moderador
- se deben de tomar buenas notas
- se debe de nivelar el poder de decisión de los distintos participantes
- debe de haber suficiente tiempo
- buscar alternativas que cumplan con las metas de todos los miembros
- Buen Ánimo
- Escuchar atentamente y cerciorarse de que todo queda entendido
- estar abierto a nuevas ideas pero nunca cambiar de idea para evitar conflicto o agilizar la toma de decisiones
- no discutir por tu punto de vista
- evaluar las diferencias de opinión. Hacer que la gente juegue a ser abogado del diablo.

FASE 4: MEJORAR

La reducción o eliminación de riesgos se suele realizar mediante la **herramienta AMFE**.

El **Pilotado o guiado de la solución** se hace para:

- mejorarla
- entender los riesgos
- validar los resultados esperados y la propia solución
- hacer la implementación más sencilla
- facilitar su aceptación por el resto de la organización
- identificar los problemas de rendimiento previamente desconocidos

Por ejemplo en base a datos podría decir que el proveedor B es mejor que el A ya que tiene menos variación en el tiempo de servicio, una media en el tiempo de servicio inferior y una mayor capacidad de proceso. Sin embargo habría que además tener en consideración otro tipo de implicaciones como el hecho de si está cualificado o no, si hay temas de seguridad e higiene o de la ISO sin resolver, de si pudiera haber un impacto en el coste o en otros procesos,...etc. Es por eso que se realiza el pilotado de la solución para verificar la mejora.

Cuándo realizarlo:

- para confirmar los resultados esperados y la practicidad de la solución
- para reducir el riesgo de fallo
- cuando el alcance del cambio es grande y deshacer el cambio sea difícil
- cuando la implementación del cambio sea cara
- los cambios sean de largo alcance y de consecuencias imprevisibles

El pilotar se trata de una mejora del proceso (comprobación de la solución) que vas a comprobar a pequeña escala en un ambiente real de negocio y su objetivo es recoger datos del emplazamiento de ensayo para:

- confirmar que tu solución propuesta conseguirá el rendimiento objetivo
- para identificar cualquier tipo de problema de implementación antes de su implementación a escala completa
- entender mejor los efectos de tu solución y planificar una implementación exitosa a escala completa.
- Para liberar una versión temprana de tu solución en una segmento particular del mercado que tenga una necesidad urgente de cambiar
- Para reducir tu riesgo de fallo a la hora de implementar tu solución a escala completa
- Para predecir de una manera más exacta los ahorros económicos que resulten de tu solución
- Para justificar las inversiones que se requerirían para una implementación a escala completa
- Para identificar los problemas potenciales a la hora de implementar la solución a mayor escala

FASE 4: MEJORAR

Pasos del pilotaje o guiado de mi solución de mejora:

- Seleccionar a los comités de dirección
- Resumir los participantes
- Planear la ejecución del pilotaje:
 - @ evaluación de riesgos para identificar posibles consecuencias potenciales no-intencionadas del pilotaje
 - @ considerar aspectos como la población a ensayo, presupuesto, recursos, localización y plazos
 - @ desarrollar un plan de recolección de datos para tu pilotaje
- Informar a los asociados
- Formar a los empleados
- Realizar el pilotaje o guiado y recoger datos del proceso
- Evaluar los resultados del pilotaje para:
 - @ probar estadísticamente que mi solución cumple con los objetivos de mejora
 - @ identificar temas y requisitos que necesitas contemplar para asegurar una implementación a gran escala de tu solución con éxito
- Aumentar el alcance

Qué es planificar:

- Entender el por qué
- Planificar el trabajo
- Planear las tareas y subtareas
- Planificar el tiempo
- Planificar a la gente y a los recursos
- Entender si funcionó bien o no

Como elementos de un plan podrían mencionarse: Tareas y plan temporal o calendario, presupuesto y recursos (gastos, tiempos dedicados por cada persona del equipo.....etc), accionistas y su comunicación-participación, Modos de comprobación (plan versus real, cambios de tendencia en un gráfico,.....etc), problemas potenciales (paso, fallo potencial, causa potencial, medidas de contrarresto,etc).

Como herramientas de planificación podrían citarse: Diagrama de Arbol, Gráficos Gantt, Malla de planificación ("planning grid"), etc.

Planning Grid

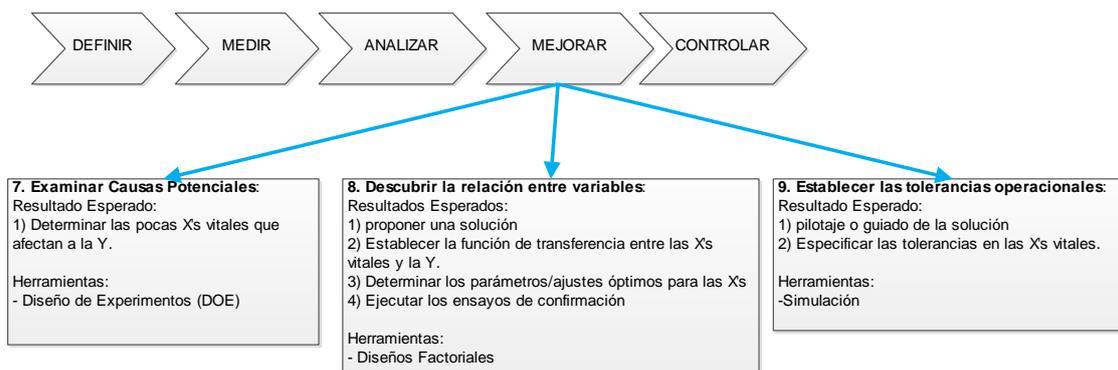
<i>Step#</i>	<i>Step Description (listed sequentially)</i>	<i>Deliverable (clearly identified outcome)</i>	<i>Responsible person</i>	<i>Due Date</i>	<i>Overdue days</i>	<i>Who to involve</i>	<i>Budget/Cost</i>	<i>Other topics</i>

Adicionalmente a las herramientas mencionadas anteriormente el equipo deberá completar el presupuesto y la planificación de recursos así como el plan del accionariado.

FASE 4: MEJORAR

Checklist de **Cumplimentación/Implementación**. Al final de ésta fase#4 de Mejorar deberemos de ser capaces de mostrarle a nuestro sponsor:

- Factores considerados para decidir la estrategia
- Las soluciones que han sido identificadas
- Criterios empleados para seleccionar una solución, incluyendo cómo la solución está relacionada con la causa/s verificada/s durante la fase#3 de ANALIZAR.
- Cómo las diversas alternativas puntuaron en contra de esos criterios
- Los resultados de cualquier ensayo a pequeña escala de las soluciones
- Planes detallados para una correcta implementación
- Cómo los cambios planeados se alinean con los sistemas, políticas y procedimientos de la dirección.



Herramientas más habituales de la fase Mejorar:

Nivel Básico	Nivel Intermedio. Diseño en base a la experiencia.	Nivel Avanzado. Diseño en base a la experiencia.
Mapa de proceso	Factorial Completo (DOE)	Superficie de respuesta
Mapas de Flujo de valor	Factorial Fraccionado (DOE)	Taguchi (selección-colección dentro/fuera)
Flujos de proceso alternativos	Introducción a las superficie de respuesta	Modelos de Simulación
FMEA	Regresión con variables múltiples	
Pareto		
Diagrama de espina de pez (Fish-bone diagram)		
Diagrama de Causa Efecto ó Diagrama Ishikawa		
Gráfico de cajas (Box Plot)		
Gráfico en orden temporal (Time Order Plot)		
Pruebas de Hipótesis (Z-test, T-test, ANOVA, Chi-Square, HOV)		
Representación multi-variable (Multi-Vari plot)		
Force fields		
Action work-out		
Regresión Lineal		
Soluciones a Prueba de error (Mistake Proofing)		

Para situaciones simples donde sea fácil determinar la magnitud y dirección del impacto de las X's sobre la Y, donde hay pocas interacciones entre las X's, se suelen usar las herramientas vistas en las fases Medir y Analizar. Para probar un cambio en el proceso se suelen usar el Chi-Square y el "2 sample t".

Para situaciones más complejas con múltiples X's vitales interaccionando entre sí, quizás podría ser difícil determinar cómo impactan en la Y y es por eso que se suele usar el DOE. Las herramientas intermedias y avanzadas se emplean cuando el problema es más sofisticado/complejo, o cuando tiene un gran impacto en el negocio, o cuando plantea un riesgo y hay disponibilidad de datos.

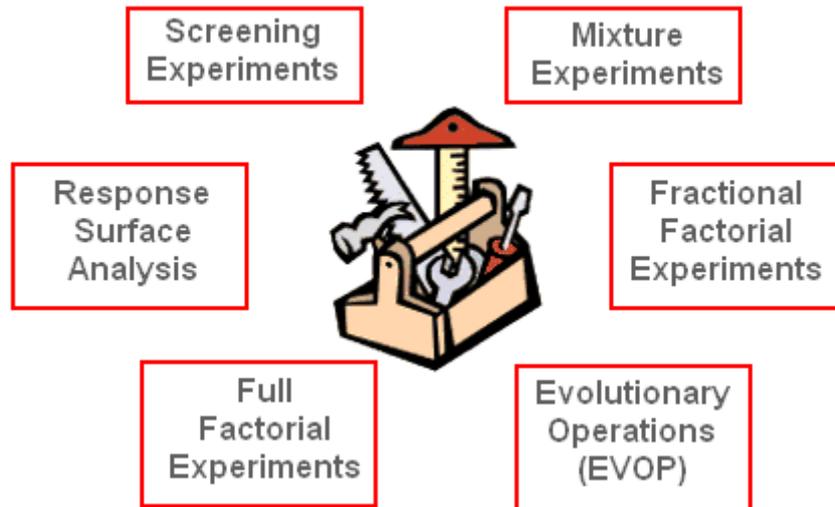
FASE 4: MEJORAR

DISEÑO DE EXPERIMENTOS (DoE).

Se trata de un método para sistemáticamente y eficientemente experimentar sobre un proceso. Sirve para identificar las variables más importantes en el proceso (factores) y ayuda a determinar los mejores ajustes para esas variables.

Es un método formal proactivo para documentar los factores controlables seleccionados y sus respectivos niveles, además de establecer bloques, réplicas y variables de respuesta asociadas con un experimento planeado. Es el plan de realización y evaluación. Cualquiera de las clases de matrices (normalmente ortogonal) que se usan para entender los factores que más contribuyen.

DoE representa una familia de potentes diseños de experimentos o técnicas de mejora de procesos y dependiendo de los objetivos experimentales se elegirá un diseño u otro.



Lo más habitual es que estén asociados con los “Diseños Factoriales” y cuando se den muchas interacciones entre las X’s. Veremos el uso del “fractional factorial design” y explicaremos sus beneficios y por qué compensa frente al “full factorial DoE design”.

En el DoE los datos se recogen de forma que se le permita a los factores X’s permanecer separados de los efectos de interacción.

Los cinco pasos en el análisis de los datos DoE son:

- Representar gráficamente la totalidad de los datos (plot the raw data)
- Representar gráficamente el residual (plot the residual)
- Examinar los efectos de los factores
- Confirmar nuestra impresión mediante procedimientos estadísticos
- Resumir las conclusiones

Tal y como en una pantalla de un ordenador, cuanto mayor resolución de mi diseño más detallada estará la información que veo. La resolución de mi diseño define la cantidad de información que puede ser proveída por la herramienta “Diseño de Experimentos”: Se suelen emplear números romanos para denotar la resolución (la menor resolución posible es III); se trata de un método para la optimización de procesos y con su implementación se reduce el número de pruebas y por consiguiente el desarrollo del producto se hace de una manera más económica.

FASE 4: MEJORAR

Terminología del DoE:

Causa: Aquello que produce un efecto u ocasiona un cambio.

Efecto: Aquello producido por una causa. El cambio medio en la respuesta cuando un factor se altera de nivel bajo al nivel alto.

Factor: Variable independiente: variable controlada y cuyo valor es independiente con respecto al valor de otra variable. Es una entrada al proceso que puede ser cambiada durante la experimentación. Puede ser un factor cualitativo o cuantitativo.

Nivel: el ajuste o valor de un factor. Puede ser cualitativo (aditivo A, aditivo B,...) o cuantitativo (100 psi, 200 psi,.....).

Respuesta: salida del proceso que será medida durante el experimento.

Efecto principal: el cambio que ocurre en una respuesta cuando un factor es cambiado de su nivel más bajo al más alto.

Variables de entrada clave del proceso (KPIV): son las 2 a 6 X's que producen el 80% de las variaciones observadas en la característica de salida Y.

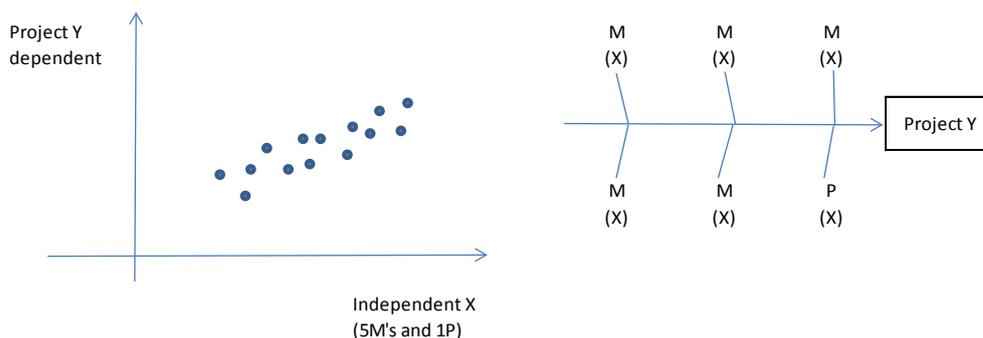
Pocas Vitales ("Vital few"): los factores que son críticos en el control del proceso.

Muchas Triviales ("Trivial Many"): Aquellos factores de los que se pensaba que tenían algo de influencia sobre el proceso pero que realmente contribuyen muy poco a la variación del mismo.

Variables Independientes (X's): también llamadas factores son las que elijo de antemano (las causas).

Variables Dependientes (Y): también llamadas respuestas. La cantidad Y que medimos para determinar el impacto de las X's. El efecto.

Ya en la fase anterior de Analizar vimos que en el 6-sigma la variación del proceso se describe en términos de las 5M's y 1P. Estos seis elementos influyen a la variación en todos los procesos: Método, Madre Naturaleza (Ambiente), Medición, Materiales, Máquinas y Personas.



Error o Ruido: La variabilidad inherente a un proceso. Representa el cambio en una respuesta cuando no se realizan cambios en el factor.

Estimación ("estimate"): la predicción de alguna respuesta en base al nivel e impacto de todos los factores en un proceso (ver predicción).

Mal-identificación ("Aliasing"): factores/interacciones combinadas (normalmente en un experimento factorial fraccionado) para las cuales no es posible distinguir la magnitud del efecto contribuido por cada factor/interacción individual.

FASE 4: MEJORAR

Intervalo de confianza: el rango de los valores de las respuestas para el cual uno está a un cierto porcentaje convencido de que el valor medio real de la respuesta caerá dentro de ese intervalo durante ese porcentaje de tiempo.

Puntos Centrales: tiradas experimentales con todos los niveles de los factores a medio camino entre los ajustes bajo y altos. Obviamente sólo se puede hacer con factores cuantitativos.

Interacción: Tendencia de dos o más variables a producir un efecto al ser combinadas que ninguna podría producir por sí misma. Condición en la cual el efecto del nivel de un factor sobre la respuesta es diferente para los distintos niveles de un segundo factor. Hay interacciones de 2 vías, 3 vías,.....etc

Experimento: Es una prueba efectuada bajo unas condiciones definidas con el fin de determinar un efecto desconocido, o ilustrar o verificar una ley conocida, o bien establecer una hipótesis.

Error experimental: Variación existente en observaciones hechas bajo idénticas condiciones de prueba. También denominado ERROR RESIDUAL. Es la cantidad de variación que no puede atribuirse a las variables que forman parte del experimento.

Región Experimental o Espacio del Factor : todos las posibles combinaciones de factor-nivel para las cuales la experimentación es posible.

Unidad Experimental o Unidad de Análisis: La unidad que se observa y mide durante el experimento.

Generador ("generator"): Un efecto/s de interacción que se usa en la creación del Diseño Factorial Fraccionado.

Patrón No Natural: Cualquier patrón en el que una parte significativa de las mediciones no se agrupan en torno a una tendencia central. Existirían perturbaciones no aleatorias que afectan al proceso.

Comprobación o tirada ("run" or "treatment combination"): conjunto de condiciones del proceso definida por los niveles especificados de todos los factores en el experimento.

Optimización ("Optimization"): encontrar la combinación de factores y niveles que produzca la salida más deseada del proceso.

Aleatorizar ("Randomization"): Mezclar el orden de las comprobaciones o tiradas de un experimento de la manera tan completa como se pueda.

Repetición ("Repetition"): llevar a cabo varias unidades experimentales sobre una tirada.

Replicación ("Replication"): tiradas repetidas bajo las mismas condiciones experimentales; te da una estimación del ruido en el proceso.

Residuales ("Residuals"): la diferencia entre la respuesta de salida actual Y observada y la respuesta predicha por la ecuación de regresión para un conjunto de condiciones factoriales dado. Se analizan para la validación de modelos de regresión (revelando las insuficiencias del modelo o "errores") y en la investigación de procesos.

R-square: porcentaje de variabilidad en la respuesta explicada/justificada por los factores bajo control.

Estimación puntual ("point estimate"): la mejor estimación de un único valor de alguna predicción o del término medio de una respuesta. Debería de usarse en conjunción con los intervalos de confianza y/o predicción.

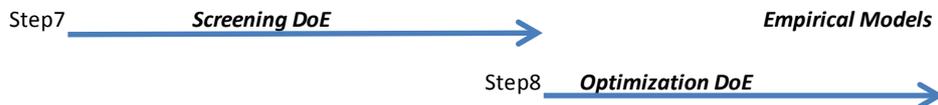
FASE 4: MEJORAR

Predicción (“prediction”): la mejor estimación de alguna respuesta para un conjunto de niveles dado para todos los factores.

Intervalo de predicción (“ Prediction Interval”): El rango de valores para una respuesta acerca del cual uno está a un cierto porcentaje confiado de que una futura observación caiga dentro del rango (ver intervalo de confianza).

Choosing the appropriate Design of Experiment (DoE)

		Current state of process Knowledge			
		LOW		HIGH	
	Type of Design	Main Effect/Screening	Fractional Factorials	Full Factorials	Response Surface
	Usual# of factors	>5	4-10	1-5	2-3
PURPOSE	@ Identify	Main effect critical factors -vital few	Some interactions	Relationships among factor	Optimal factor settings
	@ Estimate Response	Crude direction for improvement	Some interactions	All main effects	Curvature in and interactions



Screening Experiment: técnica usada para caracterizar un proceso (normalmente asume cambios lineales en la respuesta tras la modificación de los niveles de los factores)

Full Factorial Experiment: Tipo de DoE donde dos niveles de varias variables son explorados para poder entender lo primordial (“primary”) y poder obtener los efectos de interacción.

Fractional Factorial Experiment: Tipo de DoE donde dos niveles de varias variables son explorados parcialmente. Se usa para representar las muchas triviales (“trivial many”) y nos permite centrarnos en las pocas variables vitales (“vital few”) que controlan al proceso.

Fractional Factorial Designs.

Fractional 2k design: todos los factores se ejecutan (“are run at”) a su bajo a y su alto nivel.

Fractional 3k design: todos los factores se ejecutan a tres niveles, bajo-medio-alto.

Resolución del diseño (“Resolution”): descripción del diseño factorial fraccionado que te da el grado para el cual los factores serán confundidos con las interacciones de otros factores. Describe hasta qué punto los efectos de un diseño factorial fraccional forman una estructura de alias con otros efectos. Cuando se ejecuta un diseño factorial fraccional, uno o más efectos se confunden, lo que significa que no se pueden estimar por separado. En general, se desea utilizar un diseño factorial fraccional con la resolución más alta posible para la cantidad de fraccionamiento requerido. Por ejemplo, generalmente es mejor seleccionar un diseño en el cual los efectos principales se confunden con interacciones de 3 factores (Resolución IV) que un diseño en el cual los efectos principales se confunden con interacciones de 2 factores (Resolución III).

Los diseños de las Resoluciones III, IV y V son los más comunes:

Resolución III

Ningún efecto principal forma una estructura de alias con cualquier otro efecto principal, pero los efectos principales forman estructuras de alias con las interacciones de 2 factores.

FASE 4: MEJORAR

Resolución IV

Ningún efecto principal forma una estructura de alias con cualquier otro efecto principal o interacciones de 2 factores, pero algunas interacciones de 2 factores forman estructuras de alias con otras interacciones de 2 factores y los efectos principales forman estructuras de alias con las interacciones de 3 factores.

Resolución V

Ningún efecto principal o interacción de 2 factores forma una estructura de alias con cualquier otro efecto principal o interacción de 2 factores, pero las interacciones de 2 factores forman estructuras de alias con las interacciones de 3 factores y los efectos principales forman estructuras de alias con las interacciones de 4 factores.

Bloque ("Block"): Grupo de unidades experimentales homogéneas.

Bloquear ("Blocking"): Experimento en el que los intentos o pruebas se hacen en un orden restringido o bajo unas condiciones restringidas. Se diseña el experimento de forma que los factores molestos (factores que no son de interés pero de los que sé que me causan variación en el proceso) no confundan a los efectos verdaderos de los factores de interés.

Ventajas del DoE:

- El DoE se emplea para identificar las pocas fuentes vitales de variación ("Vital Few X's").
- Define la relación entre las entradas y las salidas.
- Te permite medir:
 - @ la influencia de las pocas variables vitales sobre una variable de respuesta
 - @ las interacciones entre las pocas variables vitales. El Diseño factorial te permite descubrir las relaciones entre las variables.
- Es más efectivo y eficiente que testear un factor cada vez
- Minimiza el número de comprobaciones ("test runs") que tienes que realizar para obtener/dibujar conclusiones válidas acerca de los nexos de unión entre X e Y.
- Te proporciona conocimiento de las mejores condiciones de configuración/ajuste de las X's para un desempeño mejorado de la Y.

FASE 4: MEJORAR

El proceso de la experimentación. Ejemplo sencillo del consumo de mi coche.

Definición del proyecto o problema: el rendimiento en el consumo de mi nuevo coche no sigue las normas establecidas para su comercialización/publicitación. Quiero mejorar el rendimiento de mi coche en lo que al consumo se refiere.

Establecer la situación actual y declaración de hipótesis:

- No recibí la curva de rendimiento al consumo de mi coche, la cual debería de haber sido publicitada por el fabricante.
- Alguna combinación concreta de velocidad, octanaje del combustible y presión de los neumáticos me debería de dar el rendimiento óptimo de consumo.

Desarrollo del Analisis:

- Variable dependiente: rendimiento del consumo de combustible (Y)
- Identificación de los factores (variables independientes o X's):
 - @ presión del neumático (X)
 - @ Octanaje (X)
 - @ Velocidad (X)
- Selección de los niveles de cada factor X:

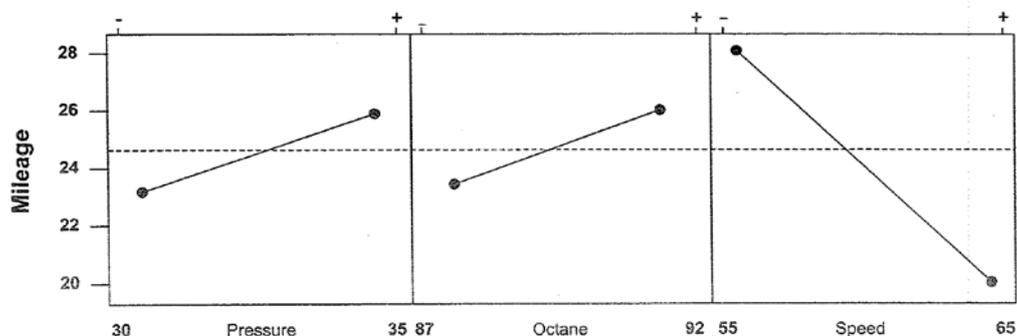
Independent Variables or X's factors	Low level -	High Level +
Tire pressure (psig)	30	35
Octane	87	92
Speed (mph)	55	65

El número de tiradas o comprobaciones para un DoE factorial completo con 3 factores X's y dos niveles cada uno sería $2^3=8$ combinaciones de ajuste de factores.

Desarrollo del Análisis. Recoger y analizar los datos.

Factor A	Factor B	Factor C	Response/Readout Gas mileage or miles per gallon
Tire Pressure	Octane	Speed	
-(30)	-(87)	-(55)	26
+(35)	-(87)	-(55)	27
-(30)	+(92)	-(55)	30
+(35)	+(92)	-(55)	33
-(30)	-(87)	+(65)	18
+(35)	-(87)	+(65)	21
-(30)	+(92)	+(65)	19
+(35)	+(92)	+(65)	22

Main Effects Plot (data means for Mileage)



FASE 4: MEJORAR

Procedimiento a seguir en Minitab:

1A) Cuando en mi tabla/matriz de datos aún no tengo la columna con los resultados (salidas Y) de los distintos ensayos a realizar:

[Estadísticas>DOE>Factorial>Crear Diseño factorial...](#) "generalmente Factorial de 2 niveles(generadores predeterminados)" y selecciono el nº de factores.

@ En la ventana "Diseños...": selecciono entre el factorial completo o los distintos diseños fraccionados que existen. Añado réplicas si fuera necesario.

@ En la ventana "Factores...": doy nombre a los factores y reviso sus niveles bajo y altos, bien en modo codificado (-1 ó +1) o bien con sus respectivos valores mínimo y máximo. En [Estadísticas>DOE>Mostrar Diseño](#) :

@ Muestro la matriz del diseño bien en orden estándar o bien en orden aleatorio.

@ Muestro la matriz bien en unidades codificadas o bien sin codificar.

Será ahora cuando Minitab tenga creado un diseño aleatorio. Selecciono una columna en blanco, la denomino/nombro como "Resultados" e introduzco los datos en ella (los resultados de las distintas pruebas).

1B) Defino la matriz de diseño a partir de unos datos o resultados de ensayos ya introducidos (tengo tanto los valores de los factores como los de las respuestas en la tabla):

[Estadísticas>DOE>Factorial>Definir Diseño Factorial Personalizado](#)

2) Análisis e interpretación de los resultados de un diseño factorial

[Estadísticas>DOE>Factorial>Analizar Diseño factorial...](#)

Selección a continuación:

@ la columna "Resultados" donde están las respuestas Y de las distintas pruebas

@ voy a "Gráficos" y selecciono Normal, Normal(absolutos) y Pareto

@ "Alfa" por defecto es 0,05

@ selecciono OK

Veamos a modo de ejemplo una serie de casos/problemas relativos a ésta metodología:

a) ¿Cuál sería la resolución que obtendríamos tras ejecutar un diseño factorial de $\frac{1}{4}$ sobre un experimento de 7 factores y dos niveles cada uno?

[Estadísticas>DOE>Factorial>Crear Diseño Factorial...](#) pincho sobre "mostrar diseños disponibles..." y sobre "Diseños..." y busco la mejor resolución. En este ejemplo es IV.

b) La replicación podría explicarse mediante la construcción del mismo diseño en múltiples unidades mientras que la repetición podría explicarse mediante el ensayo de la unidad múltiples veces. Correcto.

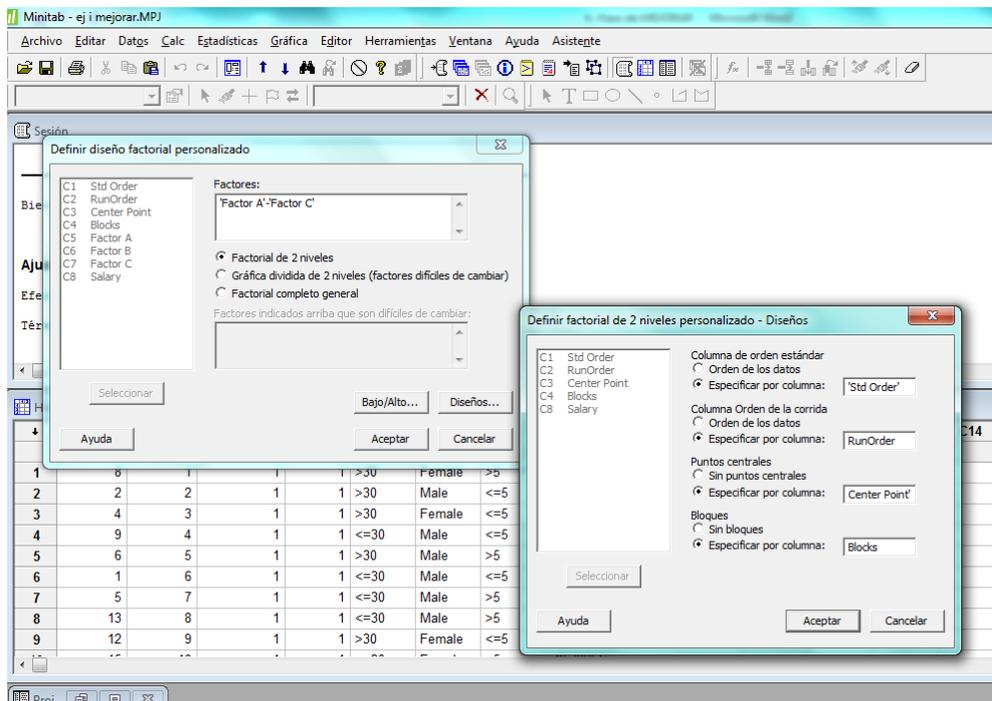
c) ¿Cuántas interacciones hay para un experimento de 4 factores A,B,C y D? 11 interacciones: AB,AC,AD,BC,BD,CD,ABC,ABD,ACD,BCD y ABCD.

FASE 4: MEJORAR

- d) Se te pide analizar la información de debajo para determinar qué factor tiene influencia sobre los salarios de diferentes individuos. Tras ejecutar los análisis apropiados, ¿Cuáles son tus conclusiones?

				Age	Sex	years of experience in the company	
Std Order	RunOrder	Center Point	Blocks	Factor A	Factor B	Factor C	Salary
8	1	1	1	>30	Female	>5	80.000 €
2	2	1	1	>30	Male	<=5	45.000 €
4	3	1	1	>30	Female	<=5	47.000 €
9	4	1	1	<=30	Male	<=5	50.000 €
6	5	1	1	>30	Male	>5	95.000 €
1	6	1	1	<=30	Male	<=5	42.000 €
5	7	1	1	<=30	Male	>5	75.000 €
13	8	1	1	<=30	Male	>5	60.000 €
12	9	1	1	>30	Female	<=5	43.000 €
15	10	1	1	<=30	Female	>5	65.000 €
14	11	1	1	>30	Male	>5	80.000 €
10	12	1	1	>30	Male	<=5	35.000 €
11	13	1	1	<=30	Female	<=5	40.000 €
3	14	1	1	<=30	Female	<=5	39.000 €
16	15	1	1	>30	Female	>5	82.000 €
7	16	1	1	<=30	Female	>5	65.000 €

Coloco los datos en Minitab tal y como se representaron anteriormente. Luego voy a: [Estadísticas>DOE>factorial>definir diseño factorial personalizado...](#) En el botón “Diseños...” asigno mis datos por columnas tal y como sigue:



Una vez definido mi Diseño factorial voy a: [Estadísticas>DOE>factorial>analizar diseño factorial...](#) Y obtengo lo que expongo en la página siguiente para los 3 factores y dos niveles para cada uno:

FASE 4: MEJORAR

Ajuste factorial: Salary vs. Factor A; Factor B; Factor C

Efectos y coeficientes estimados para Salary (unidades codificadas)

Término	Efecto	Coef	SE	Coef	T	P
Constante		58938		1575	37,42	0,000
Factor A	8875	4438		1575	2,82	0,023
Factor B	-2625	-1313		1575	-0,83	0,429
Factor C	32625	16313		1575	10,36	0,000
Factor A*Factor B	1875	938		1575	0,60	0,568
Factor A*Factor C	9125	4562		1575	2,90	0,020
Factor B*Factor C	-1875	-938		1575	-0,60	0,568
Factor A*Factor B*Factor C	-3875	-1938		1575	-1,23	0,254

S = 6299,80 PRESS = 1270000000
R-cuad. = 94,05% R-cuad.(pred.) = 76,21% R-cuad.(ajustado) = 88,85%

Análisis de varianza para Salary (unidades codificadas)

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.
Efectos principales	3	4600187500	4600187500	1533395833
Factor A	1	315062500	315062500	315062500
Factor B	1	27562500	27562500	27562500
Factor C	1	4257562500	4257562500	4257562500
2-Interacciones de (No.) factores	3	361187500	361187500	120395833
Factor A*Factor B	1	14062500	14062500	14062500
Factor A*Factor C	1	333062500	333062500	333062500
Factor B*Factor C	1	14062500	14062500	14062500
3-Interacciones de (No.) factores	1	60062500	60062500	60062500
Factor A*Factor B*Factor C	1	60062500	60062500	60062500
Error residual	8	317500000	317500000	39687500
Error puro	8	317500000	317500000	39687500
Total	15	5338937500		

Fuente	F	P
Efectos principales	38,64	0,000
Factor A	7,94	0,023
Factor B	0,69	0,429
Factor C	107,28	0,000
2-Interacciones de (No.) factores	3,03	0,093
Factor A*Factor B	0,35	0,568
Factor A*Factor C	8,39	0,020
Factor B*Factor C	0,35	0,568
3-Interacciones de (No.) factores	1,51	0,254
Factor A*Factor B*Factor C	1,51	0,254
Error residual		
Error puro		
Total		

Se puede observar que los factores significativos son **A, C y AC**. Para ello debemos de fijarnos en sus respectivos valores P.

Coefficientes estimados para Salary utilizando datos en unidades no codificadas

Término	Coef
Constante	58937,5
Factor A	4437,50
Factor B	-1312,50
Factor C	16312,5
Factor A*Factor B	937,50
Factor A*Factor C	4562,50
Factor B*Factor C	-937,50
Factor A*Factor B*Factor C	-1937,50

Estructura de alias

- I
- Factor A
- Factor B
- Factor C
- Factor A*Factor B
- Factor A*Factor C
- Factor B*Factor C
- Factor A*Factor B*Factor C

FASE 4: MEJORAR

e) ¿Qué se puede decir de un diseño de Resolución IV? Tienen a los efectos principales confundidos con las interacciones de factores de orden 3 o superior, pero no con otros efectos principales o interacciones de factores de orden 2. En otras palabras, los efectos principales son claramente de interacciones de factores de orden 2.

f) Analizar el resultado del ajuste factorial fraccionado de a continuación y explicar la conclusión:

Fractional Factorial Fit

Estimated Effects and Coefficients for Width (coded units)

Term	Effect	Coef	StDev Coef	T	P
Constant		16.9938	0.1544	110.04	0.000
A	0.8125	0.4063	0.1544	2.63	0.027
B	0.3375	0.1687	0.1544	1.09	0.303
C	1.8625	0.9313	0.1544	6.03	0.000
D	0.3375	0.1687	0.1544	1.09	0.303
E	-0.1625	-0.0812	0.1544	-0.53	0.612
F	0.0125	0.0063	0.1544	0.04	0.969
G	0.3375	0.1688	0.1544	1.09	0.303
H	0.1625	0.0812	0.1544	0.53	0.612
Ct Pt		1.1062	0.3887	2.85	0.019

Analysis of Variance for Width (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	8	18.0950	18.0950	2.2619	5.93	0.008
Curvature	1	3.0917	3.0917	3.0917	8.10	0.019
Residual Error	9	3.4344	3.4344	0.3816		
Lack of Fit	7	3.0544	3.0544	0.4363	2.30	0.337
Pure Error	2	0.3800	0.3800	0.1900		
Total	18	24.6211				

H_0 : No hay curvatura

H_a : La curvatura es significativa.

Una vez que creas el diseño factorial en Minitab seleccionas "Definir Diseño Factorial", introduces los factores apropiados, pinchas en ""Diseños", seleccionas especificar por columna, seleccionas: orden estándar, orden de ejecución, puntos centrales y bloques. Luego pinchas en OK. A continuación seleccionas "Analizar Diseño Factorial" y en el campo de respuesta eliges "anchura", seleccionas los términos e "Incluye Términos" a través del orden1 y pinchas en OK.

Conclusión: Con un valor- $p < 0,05$ hay una curvatura significativa.

5.- CONTROLAR:

Antes de nada definamos Control: estado de estabilidad, normal variación y predictibilidad. Proceso de regulación y guiado de las operaciones y procesos usando datos cuantitativos. Hay dos barreras de peaje o hitos en la fase de Controlar, última fase del DMAMC:

CONTROLAR 1. Determinar/escoger el método técnico de control a poner en marcha sobre el nuevo proceso:

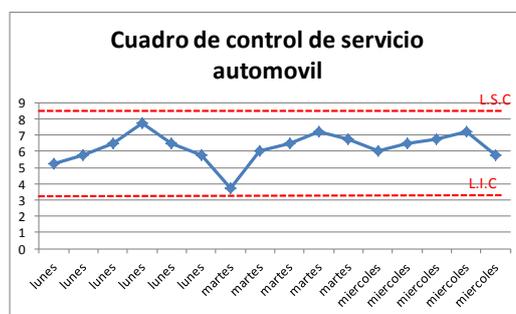
Una vez que se ha efectuado una mejora hay que asegurarse de que las soluciones sean duraderas. El método técnico de control se basa en cuanto gasto pasa por el nuevo proceso y cuánta estandarización tiene dicho proceso.

En una matriz de nivel gasto y nivel de estandarización de proceso el equipo colocará las herramientas técnicas disponibles en el mercado para una vez completada poder elegir la que más convenga. Es tarea del equipo 6-sigma determinar los límites entre alto y bajo tanto para el gasto (eje x) como para el grado de estandarización del proceso de control bajo evaluación (eje y).

Estandarización Alta Gasto Bajo	Estandarización Alta Gasto Alto
Estandarización Baja Gasto Bajo	Estandarización Baja Gasto Alto

También se usan cuadros de control estadísticos para asegurar que cada variable a estudio del proceso permanece constante, previsible y se repite a lo largo del tiempo. Generalmente en el eje Y se colocan los valores obtenidos tras las mediciones (número de observaciones) y en el eje X el tiempo.

5,25 lunes
5,75 lunes
6,5 lunes
7,75 lunes
6,5 lunes
5,75 lunes
3,75 martes
6 martes
6,5 martes
7,25 martes
6,75 martes
6 miércoles
6,5 miércoles
6,75 miércoles
7,25 miércoles
5,75 miércoles



Como se puede apreciar en el gráfico anterior, los valores fluctúan por encima y por debajo de una tendencia central de los datos en su conjunto (media, mediana,....etc).

En rojo se muestran los límites superior e inferior de control del proceso, los cuales no son los límites de las especificaciones de los clientes sino unos valores que nos indicarán cuando el proceso ya no está operando de manera uniforme. Están relacionados con la desviación o estándar de los datos del proceso y se suelen colocar a 3σ de la tendencia central de los datos.

Cuando en uno de éstos cuadros se sale alguna lectura fuera de los límites de control nos encontramos frente a un ejemplo claro de una variación de causa especial y generalmente esto se debe a que alguna de las mejoras puestas en marcha por el equipo no se está siguiendo. Raramente el personal involucrado en el proceso suele ser la causa especial.

Para un grado de control 6σ de mi proceso habrá un $100-97=3\%$ de probabilidades de fallo.

FASE 5: CONTROLAR

CONTROLAR 2. CREACIÓN DEL PLAN DE RESPUESTA para asegurar que el nuevo proceso conserve las mejoras realizadas.

Se trata de un plan para el equipo de mejoramiento relativo a un proceso concreto sometido a análisis. Describe:

- 1.-) el nuevo diagrama del proceso “como debe de ser” que el equipo ha creado.
- 2.-) las medidas más importantes para el nuevo proceso.
- 3.-) las metas y especificaciones verificadas por los clientes del proceso
- 4.-) los métodos de recogida de datos (hojas de distribución de frecuencias, ...etc)
- 5.-) los métodos de control elegidos por el equipo (en este proceso, cuadros de control para cada variable de manera individual, ...etc)
- 6.-) las mejoras más notables del proceso

El implementar una solución te puede solucionar un problema momentáneamente y es por eso que la fase#5 de Controlar está diseñada para ayudarte a asegurar que el problema quede fijado y de que los nuevos métodos puedan ser mejorados con el paso del tiempo. Un buen plan de control retroalimentará al proceso, tanto en referencia a las X's como a la Y.

Las herramientas comúnmente más usadas en ésta fase son:

- 1.- Gráficos de Control (gráficos individuales, gráficos X-bar, gráficos R)
- 2.- Recolección de datos
- 3.- Diagramas de flujo
- 4.- Gráficos de comparación del Antes y Después como los gráficos de frecuencia, Paretos, ...etc
- 5.- Gráficos de control de Calidad del Proceso
- 6.- Estandarización

Controlar / Estandarizar / Documentar / Monitorizar / Evaluar / Cerrar.

FASE 5: CONTROLAR

HISTORIA DEL CONTROL DE LA CALIDAD:

El comienzo de la fabricación en serie a principios del siglo XX generó la necesidad de crear especificaciones precisas para los artículos fabricados, que no eran necesarias para los artesanos quienes eran responsables de todo el proceso de fabricación.

La fabricación en serie puso de manifiesto que los procesos de fabricación dan lugar a productos que siempre tienen variabilidad.

Walter Shewhart, un ingeniero de Bell Laboratories, descubrió en los años veinte que aunque es inevitable una cierta variabilidad en todos los procesos, podemos controlar y reducir ésta variabilidad mediante métodos estadísticos. Diseñó el gráfico de control que desde entonces ha contribuido a mejorar y controlar innumerables procesos industriales. De igual modo el estadista W. Edwards Deming utilizó los principios de control de procesos para establecer una filosofía de dirección empresarial, enfatizando en la necesidad de controlar todos los procesos de una organización y aplicar ideas estadísticas para mejorarlos.

Clasificación de los sistemas de Control:

- a) **Control en el curso de fabricación (de procesos):** Se realiza continuamente durante la fabricación del producto, a intervalos fijos de tiempo, y tiene por objeto vigilar el funcionamiento del sistema en las mejores condiciones posibles y recoger información para mejorarlo.
- b) **Control de recepción y de producto acabado:** Se aplica a materias primas, materiales, producto semielaborado o acabado, para inspeccionar que se verifican las especificaciones establecidas.

El **control de fabricación** produce a la larga los mayores beneficios ya que además de la función de inspección (detectar fallos), que comparte con el control de recepción, permite aprender sobre las causas de variabilidad del proceso, aportando datos para mejorarlo. Por ésta razón es clave para evaluar las acciones encaminadas a prevenir los posibles fallos y a perfeccionar el proceso productivo.

El **control de calidad** se realiza observando en cada elemento:

- 1) Una característica de calidad medible (longitud, resistencia, contenido de impurezas,...etc) que se compara con un estándar fijado. Control por variables.
- 2) Un atributo o característica cualitativa que el producto posee o no (control pasa no-pasa, por piezas defectuosas, ...etc). Control por atributos.
- 3) El número total de defectos, denominado Control por número de defectos.

El control por características medibles o por variables da más información que por atributos, ya que indica no sólo si un elemento es defectuoso o no, sino además, la magnitud del defecto o magnitud de la desviación. En consecuencia, es mucho más eficaz para identificar las causas de los problemas de calidad y sus medidas preventivas, por ello, es lo que más se utiliza en el control de procesos. Cuando el objetivo del control es únicamente verificar las especificaciones, como ocurre en el control de recepción, el control por atributos y por número de defectos es más simple, rápido y económico.

El concepto de proceso bajo control:

Todo proceso de fabricación tiene cierta variabilidad que no puede atribuirse a una única causa y que resulta de la combinación de muchas causas. Llamaremos a las causas responsables de ésta variabilidad **causas no asignables o comunes**, pudiéndose clasificar en personas, procesos, materiales y métodos, que hacen que al repetir el proceso en condiciones aparentemente análogas, se obtengan resultados distintos. Son las causas intrínsecas al propio proceso. Los defectos debidos a ellas aparecen aleatoriamente y la aparición de un defecto no hace más probable la aparición del siguiente.

FASE 5: CONTROLAR

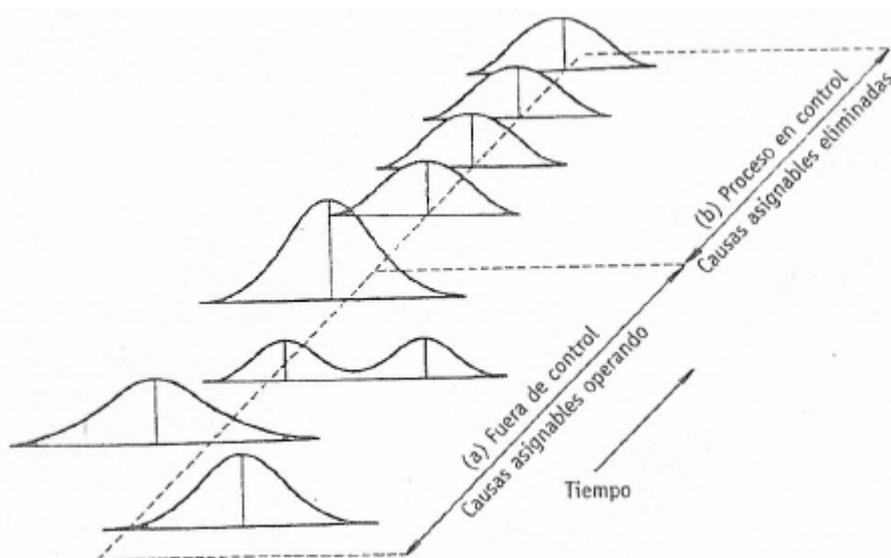
Existen otras causas de variabilidad que, cuando actúan, producen ciertos efectos previsibles y definidos, por ejemplo, el fallo en una máquina que me produce elementos defectuosos y que al ajustarla los defectos desaparecen y se elimina la causa de variabilidad. Llamaremos a estas **causas asignables o especiales** para diferenciarlas de las anteriores. Los defectos se mantienen hasta que eliminemos la causa que lo produce.

Todo proceso tiene variabilidad debida a ambos tipos de causas. Las causas no asignables están presentes siempre y generan una variabilidad homogénea y estable que es predecible al ser constante. Las asignables sólo intervienen en determinados momentos produciendo una variabilidad muy grande.

Estudiando un proceso de fabricación es posible eliminar sucesivamente las causas asignables de manera que la variabilidad restante sea debida únicamente a causas no asignables. Diremos entonces que el proceso se encuentra en estado de control y por tanto su variabilidad es constante a lo largo del tiempo y predecible. Su proporción de elementos defectuosos es constante a LP no tendiendo ni a aumentar ni a decrecer. Por el contrario, cuando el proceso está fuera de control la variabilidad no es constante, siendo sus valores futuros impredecibles.

Las causas asignables son directamente detectables y resolubles dentro del marco del proceso productivo, por lo tanto la responsabilidad recae en el supervisor del proceso. Sin embargo, la responsabilidad de reducir la variabilidad producida por las causas no asignables, que son la mayoría, recae en la dirección de la empresa mejorando la tecnología, cambiando de proveedores y en general, mejorando el proceso productivo en sí.

CAUSAS NO ASIGNABLES O COMUNES	CAUSAS ASIGNABLES O ESPECIALES
-Existen muchas, cada una de pequeña importancia. -Producen una variabilidad estable. -Es difícil reducir sus defectos	-Existe un nº pequeño pero que produce fuertes efectos. -Producen una variabilidad imprevisible. -Sus efectos desaparecen al eliminar la causa.
Variación de CAUSA COMÚN	Variación de CAUSA ESPECIAL
Variaciones debidas a la MP, diferentes habilidades de los operarios, factores ambientales, variabilidad en la precisión de las máquinas e instrumentos de medida,...etc	Variabilidad debida a desajustes de las máquinas, errores humanos, lotes defectuosos, fallos de controles,.....etc



FASE 5: CONTROLAR

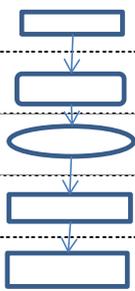
Control de Calidad: Para mantener de una manera efectiva los nuevos métodos estándar se debe:

- Verificar los resultados y validar que los cambios se adhieren a todas las políticas de operación y cumplimiento de la empresa
- Documentar los nuevos métodos de tal manera que la gente los encuentre fáciles de usar y formar a la gente en su correcto uso
- Monitorizar la implementación y realizar correcciones normales en la dirección del proyecto
- Resumir las lecciones aprendidas para compartirlas con otros compañeros involucrados en proyectos similares, con clientes y directores que necesiten conocer el resultado final
- Pensar en aquello del proceso a lo que deberíamos de enfrentarnos a continuación para mejorar el nivel sigma.

Un Gráfico de Control de Calidad del Proceso te ayuda a documentar para el proceso lo que hay que planear, hacer, comprobar y en lo que hay que actuar.

En la primera columna se ponen los pasos/actividades esenciales del proceso (el plan se captura habitualmente en forma de diagrama de flujo), en la segunda las especificaciones o criterios de calidad a cumplir (los parámetros a controlar en el proceso para monitorizar su calidad) y en la tercera y última cómo deberían de reaccionar los operarios del proceso en función de lo que encuentren en las medidas.

Un importante elemento de Control es el de asegurarse que todos usan el nuevo proceso de acuerdo a los métodos ensayados y validados, métodos de los que sabes que producirán los resultados deseados.

Plan for Doing the work	Checking the work	Act. The response to negative results
Flowchart	Indicators or CTQs	Corrective Actions
		

For each key step in the operation show how the task should be done or provide a reference to a document that describes the step.

CTQs: Characteristics to be monitored in each critical step.

Monitoring standards: For each CTQ describe any important target, numeric limits or tolerances or specs to which a process should conform if it is running well. These standards may come from customers, regulatory policies (ISO) or process knowledge or expertise.

Recording data: Describe for each CTQ how the monitored data will be recorded and by whom.

Damage Control plan should be in place as well as procedures for Process Adjustment and for Systems Improvement.

Nada ocurre de una manera fiable y sostenida a menos que se construya un sistema fiable y sostenido que lo produzca.

FASE 5: CONTROLAR

Estandarización: es lo que le permite que se dé una elevada calidad de una manera fiable y sostenida.

Te asegura que los elementos importantes de un proceso se realicen consistentemente de la mejor manera posible. Los cambios se realizan sólo cuando los datos muestran que una nueva alternativa sería mejor.

Usos de las prácticas estándar:

- Reducir la variación entre individuos o grupos y de ésta manera hacer más predecible la salida del proceso.
- Dar razones a los operadores y directores de por qué pasan las cosas en el trabajo
- Dar una base para la formación de nuevas personas
- Dar una ruta para rastrear los problemas
- Dar un medio para capturar y retener el conocimiento
- Dar pautas en el caso de condiciones inusuales.

Documentación. Creación de prácticas y procedimientos estándar. Pasos a seguir:

- 1.- Documentar el contexto de trabajo del procedimiento.
- 2.- Recoger documentos que representen al procedimiento.
- 3.- Comparar el procedimiento documentado con el proceso actual/real
- 4.- Reconciliar la practica real con el procedimiento documentado
- 5.- Planificar el uso del procedimiento estándar documentado
- 6.- Usar el procedimiento estándar
- 7.- Comprobar que se está utilizando el procedimiento estándar.

Monitorización. Generalmente se realiza con **Gráficos de Control**. Usos de los gráficos:

- Determinar las acciones directivas apropiadas en respuesta al valor de un punto concreto de un proceso en particular, para ver si los puntos altos o bajos se deben a causas especiales.
- Entender y predecir la capacidad del proceso por motivos de planificación (rango esperado de los valores futuros)
- Identificar las causas raíz (las pocas X's vitales) de la variación mediante la diferenciación entre las causas de variación en los datos del tipo Especial o del Tipo Común.
- Ver si cambios intencionados en un proceso dan el resultado esperado.
- Monitorizar procesos clave e identificar desplazamientos o cambios rápidamente a fin de retener/mantener los beneficios del proyecto de mejora.

Variación de Causa Común o no asignable: Las causas comunes son las entradas y condiciones del proceso que contribuyen a la variación habitual de cada día en el proceso (variación natural y aleatoria inherente al proceso).

- Son parte del proceso
- Contribuyen a la variación de la salida ya que ellas mismas también varían
- Cada una contribuye en una pequeña parte a la variación total
- Si se mira a un proceso a lo largo del tiempo, sabremos cuánta variación se puede esperar a partir de las causas comunes.
- El proceso es estable o predecible cuando toda su variación se deba a causas comunes.

FASE 5: CONTROLAR

Variación de Causa Especial o Asignable: Es la variación que podría ser causada por errores de los operarios, ajuste de máquinas o materias primas defectuosas; generalmente es bastante mayor que la común y es considerada como un nivel inaceptable de rendimiento del proceso. Las causas especiales son factores que no siempre están presentes en el proceso pero que aparecen debido a alguna circunstancia particular.

- Generalmente no están presentes
- Pueden darse y dejar de darse esporádicamente; podrían ser temporales o de largo plazo.
- Es algo especial o específico que tiene un efecto pronunciado sobre el proceso.
- No se puede predecir cuándo ocurrirá ni cómo afectará al proceso
- El proceso es inestable o impredecible cuando las causas especiales contribuyen en su variación.
- Tienen a causar una variación del proceso que le hace quedar fuera de control donde la salida del proceso ya no cumple con las especificaciones deseadas.

Pruebas para las Causas Especiales: Son pruebas que se realizan sobre los Gráficos de Control a fin de detectar aquellas situaciones que pudieran estar fuera de control. En el caso de que los datos fueran simétricos se podría usar la media como línea central en vez de la mediana.

- Uno o más puntos fuera de los límites de control (los cuales están a 3σ de la línea central) indica que algo es diferente acerca de esos puntos.
- 6 o más puntos consecutivos con tendencia creciente o decreciente indicarían una tendencia. Hay que empezar a contar en aquel punto donde cambie la dirección.
- 8 o más puntos consecutivos sobre el mismo lado de la mediana (bien encima o debajo) es indicativo de una variación en el proceso.
- 14 o más puntos consecutivos alternando de arriba abajo indica sesgo o problemas de muestreo.
- Pocas series ("runs" o partidas de un producto) indica un cambio en la media del proceso, un ciclo o una tendencia
- Demasiados "runs" indica muestreo de 2 fuentes, sobre-compensación ó sesgo ("bias").

Por ejemplo el Diagrama de Control Xbarra-R en Minitab, además de las primeras 4 pruebas mencionadas anteriormente también contempla las siguientes pruebas:

- 2 de 3 puntos $>2\sigma$ desde la línea central (en el mismo lado).
- 4 de 5 puntos $>1\sigma$ desde la línea central (en el mismo lado).
- 15 puntos consecutivos dentro de 1σ de la línea central (en cualquier lado).
- 8 puntos consecutivos $>1\sigma$ desde la línea central (en cualquier lado).

FASE 5: CONTROLAR

Evaluación mediante los Gráficos de Control (“Control chart”): Metodología para identificar cuando un proceso está operando “bajo control” (dentro de los límites estadísticos conocidos comúnmente llamados Límites de Control).

Gráficos Individuales: se pueden usar con datos ordenados de manera temporal, son versátiles y por eso los más usados. Sin embargo con algún tipo particular de datos o situaciones son a veces un poco lentos en señalar las causas especiales y es por eso que veremos otro tipo de gráficos de control. Consideraciones:

- Los datos son aproximadamente Normales (a veces puede que sea necesario transformarlos)
- Los datos son independientes

Límites de la Especificación:

- Vienen dados por los ingenieros o por los requisitos del cliente
- Representan los deseos de alguien en relación a lo que nuestro proceso debe hacer
- A veces pueden cambiar si hay cambios en los requisitos del producto o servicio

Límites de Control:

- Vienen de cálculos obtenidos a partir de datos del proceso
- Representan lo que realmente un proceso es capaz de hacer
- Pueden cambiarse sólo si cambiara el proceso

Habrá que recalcularlos cuando:

- Sepas que hubo un cambio en el proceso en base a evidencias estadísticas (8 puntos encima o debajo de la línea central) o porque has determinado el motivo del cambio en base a tu conocimiento del proceso.
- Estás seguro de que el proceso permanecerá cambiado ya que el cambio no es temporal y se ha convertido en una parte estándar del proceso.

Hay que calcular los nuevos límites cuando tengas suficientes datos como para ver un cambio. Llama a los nuevos límites como temporales hasta que obtengas al menos 24 nuevos datos.

Los gráficos de control deben de reflejar:

- Las fechas de los cambios en el proceso
- Notas acerca de eventos que podrían causar problemas más tarde
- Confirmación de aquellas causas especiales ya verificadas
- Acciones tomadas para eliminar las causas especiales

Errores comunes a la hora de usar los Gráficos de Control:

- El gráfico no fue creado correctamente:
 - @ fórmula equivocada para calcular los límites de 3σ (se usó la desviación estándar en vez de las amplitudes o rangos de movimiento (“moving ranges”).
 - @ tipo de gráfico equivocado en base al tipo de datos recogidos.
 - @ mediciones insuficientes, pobres o erróneas
- El gráfico no se actualiza regularmente (en cuanto a los nuevos datos, nuevos ajustes del proceso, nuevos límites de control o media,.....)
- Las acciones tomadas (o no tomadas) son inapropiadas:
 - @ recompensas dadas a puntos buenos o búsqueda de explicaciones para puntos malos aunque éstos no sean señalados como especiales
 - @ ignoro las señales de causa especial
 - @ para determinar las causas especiales no estudio los patrones o ciclos no aleatorios
 - @ coloco los límites de la especificación u objetivos en el gráfico en lugar de los límites de control.

FASE 5: CONTROLAR

Diagramas de Control para datos Discretos (p, np, c, u):

- En función de los distintos tipos de datos se usarán distintos gráficos
- Todos ellos diferencian entre variación de causa especial y variación de causa común
- Todos ellos usan límites de control para indicar si el valor de un dato individual se debe a una causa especial
- Cada tipo de gráfico debe de tener al menos 24 datos para calcular los límites de control.

Los datos continuos se obtienen mediante mediciones (fuerza, tenacidad, presión,.....) y los datos discretos mediante el conteo de eventos que cumplan con ciertos criterios (# de cajas de cartón dañadas por pallet, número de quejas del cliente,.....).

p,np CHARTS : these charts are used when counting items with an attribute

Situation#1: Equal sample sizes

	(n)	(np)	(p)
Day	Units Sampled / Day	#of Defective Units	Proportion of Defective Units
1	100	20	0,2
2	100	30	0,3
3	100	10	0,1
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
24	100	20	0,2
	Sample sizes are all the same	np chart plots this column	p chart plots this column

Situation#2: Unequal sample sizes

	(n)	(np)	(p)
Day	Units Processed / Day	#of Defective Units	Proportion of Defective Units
1	200	20	0,1
2	100	30	0,3
3	300	10	0,03
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
24	150	20	0,13
	Sample sizes not equal	Not appropriate to compare or plot these numbers (unequal sample sizes)	p chart plots this column, limits will change depending on n.

c,u CHARTS : these charts are used when counting occurrences.

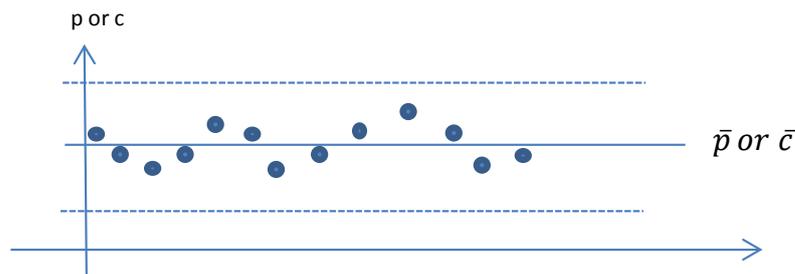
Situation#1: Equal opportunities

	(c)
Week	#of mistakes per 100 Units sampled each week
1	15
2	4
3	3
.	.
.	.
.	.
24	5
	c chart plots this column. There can be more than 1 mistake on each unit, and you cannot count the number of "non-mistakes" (so this is discrete-count data)

Situation#2: Unequal opportunities

Each unit is inspected for mistakes and most of the units are processed the first week of the month.

	(a)	(c)	(u)
Week	Units Processed / Week	#of Mistakes	# of mistakes per unit
1	104	15	0,14
2	21	4	0,19
3	18	3	0,17
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
24	25	5	0,2
	(a)=area of opportunity; here is not equal because we're examining each of the units processed, which varies from week to week	Not appropriate to compare or plot these numbers (c) because opportunity is not equal	u chart plots this column; (u)=(c/a) limits will change depending on (a)



FASE 5: CONTROLAR

Situation	Chart used	Control Limit Calculations	Distribution	Comments
<p><u>Counting # of defects, accidents or flaws</u></p> <p># of accidents / month</p> <p># of times phone not answered within 3 rings</p> <p># of flaws on an automobile</p>	c chart	$\bar{c} \pm 3\sqrt{\bar{c}}$	Poisson	Always plot data in time order if there is a natural chronological sequence, but may also use a <u>c or u chart</u> on non-time-ordered data such as <u>aircraft component failures</u> . Notation: \bar{c} is the count of occurrences and \bar{c} -bar is the average.
<p>Fraction of "defectives": Fraction of requests not processed within 15 minutes</p> <p>Fractions of requests not processed perfectly the first time through (fire-pass yield)</p>	p chart	$\bar{p} \pm 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$	Binomial	Use when the area of opportunity varies, that is, if the size of the area or population at risk changes. Examples: reorganization, doubling the number of employees in one division, doubling the area of risk, different automobiles have different size hoods, so areas where scratches can occur varies. Notation: $\bar{p} = (c/a)$, plus a =area of opportunity
<p><u>Variables data, one figure at a time:</u></p> <p>Sales, costs, variances, customer satisfaction score, total</p>	Individuals chart	$\bar{X} \pm 2.66\bar{R} \text{ or } \bar{X} \pm 3.14\bar{R}$	Normal	The <u>np chart</u> is usable when it is roughly constant. For <u>g or np charts</u> , the fraction must be based on counts, not measurements. For proportions of measurements, use an <u>individuals chart</u> . E.g., for proportion of labor costs to total cost (both costs are continuous measurements, not counts), use an <u>individuals chart</u> .
<p>Variable data, sets of measurements</p>	X-bar, R chart	$\bar{\bar{X}} \pm A_2\bar{R}$:For R - chart: $UCL = D_4\bar{R}$ $LCL = D_3\bar{R}$	Normal	Useable with any data over time, but not as powerful in detecting special causes as the other more specialized charts. Note: Do not use $(k-bar)$ since special causes could be masked, where $s = (\bar{y} - \bar{y}) / (n-1)$. Notation: \bar{X} = individual measurement \bar{X} -bar= average \bar{R} -bar= average range R -median range

Hay que mostrar tanto los datos de antes como los de ahora:

- Añadiendo los nuevos datos a los "run-chart" ó "control-chart" existentes
- Creando nuevos Diagramas de Pareto

FASE 5: CONTROLAR

Diagramas X-bar R:

Este tipo de diagramas se usan para procesos de elevados volúmenes con subgrupos.

Ventajas sobre otro tipo de gráficos:

- Los subgrupos te permiten estimar de una manera precisa la variación "local"
- Los cambios en la variación del proceso se pueden distinguir de los cambios en la media del proceso.
- Se pueden detectar pequeñas alteraciones en la media del proceso.

Estas ventajas desaparecen si se dieran causas especiales sistémicas, es decir, que aparece en cada sub-grupo. Por ejemplo si a la hora de contar errores en los pedidos telefónicos y dispongo de 4 personas al teléfono lo lógico sería crear subgrupos de 4, tomando un pedido de cada empleado. Sin embargo, si un operario es consistentemente mejor o peor que los otros tres, estaría mezclando variación de causa especial y variación de causa común en los datos. El gráfico sería inútil ya que taparía las diferencias entre empleados Y haría muy difícil detectar los cambios en la variación del proceso.

Para minimizar la probabilidad de que se den causas especiales dentro de los subgrupos:

- Trabajar con pequeños tamaños de subgrupos (5 o menos punto de datos)
- Utilizar artículos adyacentes en los subgrupos, es decir, hechos secuencialmente. Artículos procesados de manera adyacente en el tiempo tendrán mayor opción a contener únicamente variación de causa común.

X-bar, R charts. Limits

Number of observations in subgroup (n)	Factors for \bar{X} charts		Factors for R charts	
	$\hat{\sigma}=\bar{R}/d_2$	Control Limits: $\bar{X} = \pm A_2 \cdot \bar{R}$	Lower Control Limit: $D_3 \cdot \bar{R}$	Upper Control Limit: $D_4 \cdot \bar{R}$
	d_2	A_2	D_3	D_4
2	1,128	1,880	0,000	3,267
3	1,693	1,023	0,000	2,575
4	2,059	0,729	0,000	2,282
5	2,326	0,577	0,000	2,115
6	2,534	0,483	0,000	2,004
7	2,704	0,419	0,076	1,924
8	2,847	0,373	0,136	1,864
9	2,970	0,337	0,184	1,816
10	3,078	0,308	0,223	1,777
11	3,173		0,256	1,744
12	3,258		0,283	1,717
13	3,336		0,307	1,693
14	3,407		0,328	1,672
15	3,472		0,347	1,653

FASE 5: CONTROLAR

EWMA charts (Exponentially Weighted Moving Average):

Se usan para detectar de manera muy rápida pequeñas desviaciones. La media móvil suaviza la variación.

Son gráficos apropiados si:

- Los datos son continuos (subgrupos o individuos)
- Necesitas detectar pequeñas variaciones en la media del proceso con suma rapidez.
- Quieres ser capaz de predecir el siguiente valor en un ambiente inestable.
- Los datos necesitan estar ordenados de manera temporal.

Dejan de ser apropiados si:

- Quieres identificar un grupo grande esporádico de causa especial (un punto que se sale del límite).

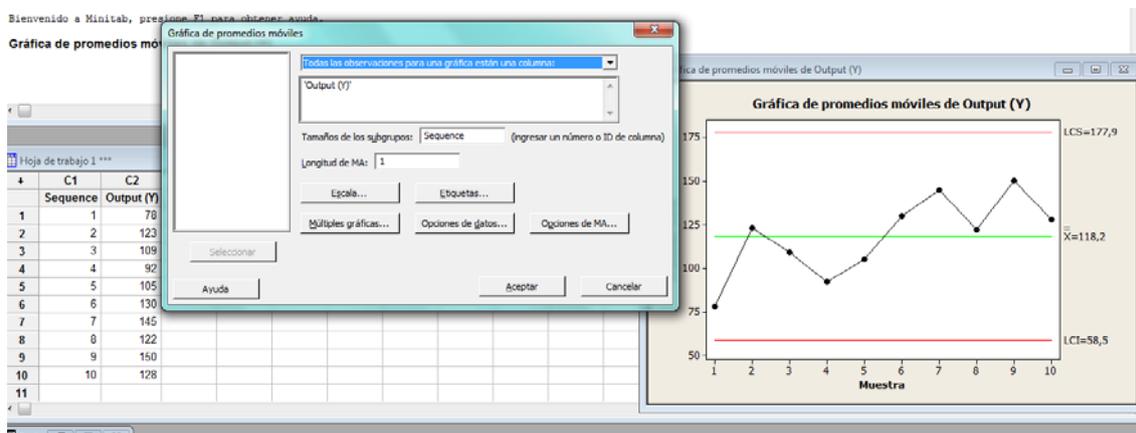
Por ejemplo, una pequeña variación en la calibración de un instrumento médico podría tener un gran impacto sobre la salud de la gente hospitalizada en un hospital concreto.

Este gráfico funciona de la siguiente manera:

- 1.- En lugar de sopesar/ponderar cada punto de igual manera en la media móvil, los pesos disminuyen exponencialmente si nos movemos hacia atrás en el tiempo.
- 2.- la mayor importancia es dada al punto más reciente
- 3.- es como si dijéramos que el gráfico tiene una memoria que se desvanece con el paso del tiempo.
- 4.- mientras que los cálculos podrían parecer complicados, con el ordenador se facilita mucho ésta tarea.

Veamos un ejemplo en Minitab:

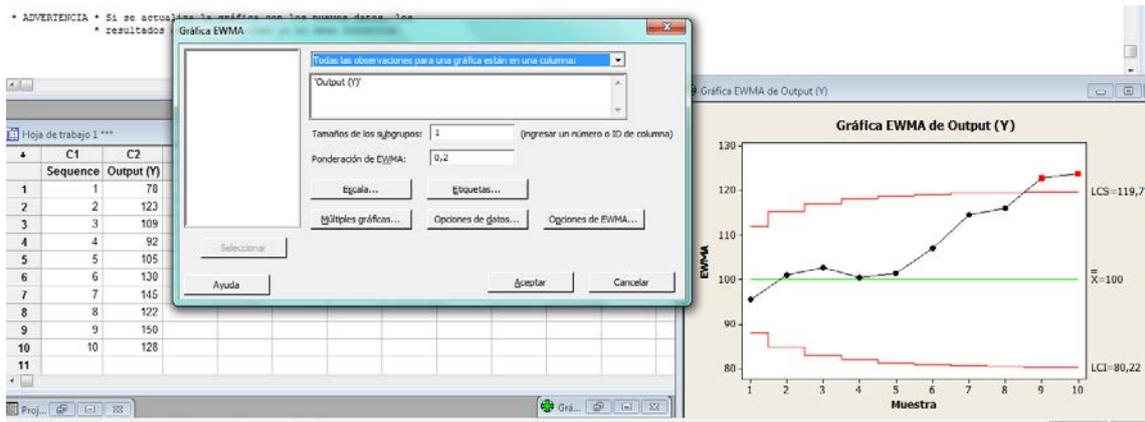
[Estadísticas>Gráficas de Control>Diagramas de tiempo ponderado>promedio móvil](#)



Las observaciones reales/verdaderas son representadas en un gráfico de individuos.

FASE 5: CONTROLAR

Estadísticas>Gráficas de Control>Diagramas de tiempo ponderado>EWMA



Current value given 20% of the weight and previous EWMA value given 80%.
The weight of 0,2 is typical, but it can be changed.

The first calculation uses either the historical average (in this case "100", which was entered manually in Minitab) or an average of all the data.

Sequence	Output Y	Calculation	EWMA (weight 0,2)
1	78	$(0,2) \cdot 78 + (0,8) \cdot 100$	95,6
2	123	$(0,2) \cdot 123 + (0,8) \cdot 95,6$	101,1
3	109	$(0,2) \cdot 109 + (0,8) \cdot 101,1$	102,6
4	92	$(0,2) \cdot 92 + (0,8) \cdot 102,6$	100,5
5	105	.	.
6	130	.	.
7	145	.	.
8	122	.	.
9	150	.	128
10	128	$(0,2) \cdot 128 + (0,8) \cdot 122,9$	123,9

Values plotted
in Minitab

FASE 5: CONTROLAR

Assumptions for Control Charts:

Type of Data	Distribution	Related Control Charts	Assumptions
Normal data	Normal	X-bar R Chart	Underlying assumption: common-cause variation within subgroups is equal to the common-cause variation between sub-groups. If this assumption does not hold, the X limits will either be too wide or too narrow.
Normal data	Normal	Individuals Charts X-bar R Charts EWMA Charts	Data distributed symmetrically around a mean; peak of the curve at the mean.
Discrete data	Binomial	p-charts	p is constant across subgroups; occurrences are independent.
Discrete data	Poisson	c-charts	Probability of occurrence is a constant; occurrences are independent and rare.
Discrete data	Binomial	p (or np) charts	Chart assumptions are based on the Binomial distribution: - 2 attributes only (e.g., defective vs non-defective) - the expected proportion of items with the attribute is constant (the same) for each sample. - Occurrence of the attribute is independent from item to item
Discrete data	Poisson	c (or u) charts	Chart assumptions are based on the Poisson distribution: - can count occurrences but not non-occurrences. - Probability of an occurrence is relatively rare (less than 10% of the time). - Occurrences are independent (one does not influence the occurrence of another)

Resumen del funcionamiento con los Gráficos de Control:

- Decidir el tipo de gráfico a emplear en función de los tipos de datos a representar y cómo son recogidos, si individualmente o en subgrupos
- Construir el gráfico de control
- Interpretarlo buscando señales para causas especiales y determinando las acciones que sean más apropiadas
- Mantener el gráfico:
 - @ actualizando los puntos representados tal cuando ocurren
 - @ determinando las acciones más apropiadas inmediatamente
 - @ recalculando los límites cuando sea necesario.

Fase#6 Controlar. Evaluación de los resultados:

		¿Se obtuvieron resultados aceptables?	
		SÍ	NO
¿Se siguió el plan establecido?	SÍ	Se actuó según lo planeado y se obtuvieron los resultados que se querían. Dejar el proceso tal y como está.	Se hizo lo planeado pero no se obtuvieron los resultados esperados. Regresar al "análisis de causas" o posiblemente a la "situación actual". Hay que estudiar la diferencia y obtener más datos.
	NO	Se obtuvieron los resultados esperados a pesar de no hacer lo planeado. Hay que determinar las causas del resultado—¿qué es lo que hice bien desintencionadamente? Hay que entender cómo se lograron los buenos resultados para poder pasar a otro proyecto.	No se hizo lo planeado y se obtuvieron malos resultados. Hay que regresar a las "soluciones". ¿resolverían tus planes iniciales los problemas encontrados? Inténtalo de nuevo con los planes iniciales y revisa tanto como sea necesario.

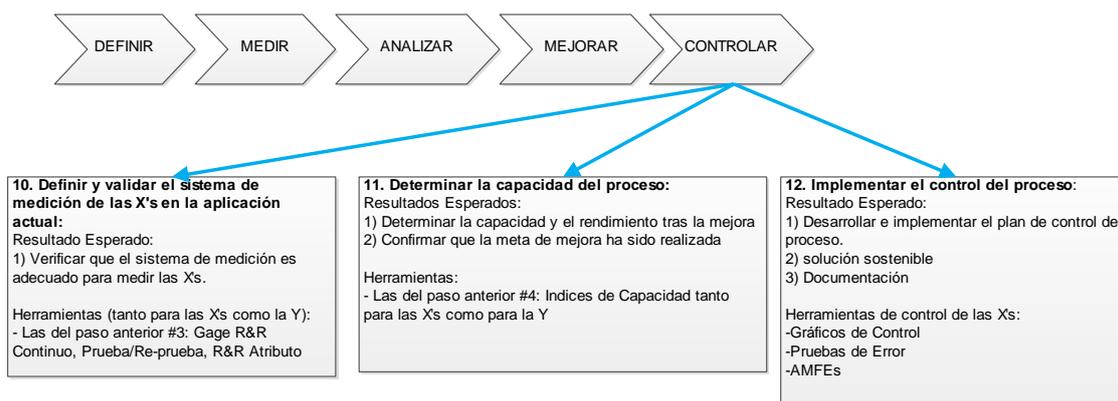
La importancia del **cierre**:

- Hay que reconocer el considerable tiempo y esfuerzo que se dedicó a ésta iniciativa.
- Hay que capturar las lecciones aprendidas, tanto del problema, del proceso como del propio proceso de mejora.
- Hay que compartir las lecciones aprendidas
- Hay que delegar responsabilidades para la estandarización y monitorización a la gente más apropiada.
- Hay que evitar una continuación innecesaria del proyecto
- Hay que resumir/sintetizar lo aprendido tanto del proceso de trabajo como de la evolución del equipo.

FASE 5: CONTROLAR

Los resultados y las mejoras realizadas deben de documentarse y se deben de resumir tanto los planes futuros como las recomendaciones. Al final de ésta fase#5 de CONTROLAR se ha de ser capaz de explicarle al sponsor:

- Qué muestran los datos acerca de la efectividad de la solución y cómo quedan los resultados finales con respecto a lo planificado.
- Por qué se está ahora seguro de que la solución actual debe de ser estandarizada
- Cómo se han documentado los nuevos métodos y cómo son utilizados en el día a día del negocio.
- Qué es lo que se está haciendo para monitorizar el proceso y mantener las ganancias
- Cuáles son las lecciones aprendidas y cuáles son las recomendaciones desarrolladas por el equipo para posibles futuras mejoras.



En el mundo físico la Entropía explica la pérdida gradual de orden en un sistema. A no ser que añadamos energía en forma de documentación y controles sobre el proceso en marcha, éste tenderá a degradarse a lo largo del tiempo perdiéndose las ganancias conseguidas mediante las actividades de diseño y mejora.

El plan de calidad es la estructura a través de la cual añadimos “ésta energía” a los procesos del negocio.

Principales objetivos de la Fase Controlar:

- Asegurar que nuestro proceso está bajo control tras la implementación de un cambio o solución y que este o esta perdura en el tiempo.
- Detectar rápidamente los estados fuera de control, determinar las causas especiales asociadas y así las acciones necesarias puedan ser tomadas para corregir el problema antes de que las no-conformidades se produzcan

Mantener el Control:

- Mantener a las X's dentro de tolerancia mediante el empleo de controles apropiados (gestión del riesgo, prueba de error,.....etc)
- Aplicar Gráficos de Control a las X's para controlar y monitorizar la variación
- Entender las implicaciones sobre los planes de calidad existentes debido a la modificación de los sistemas de control actuales
- Establecer un plan de transición para mantener el control del proceso mejorado

FASE 5: CONTROLAR

Un sistema de Control de Proceso es:

- Una estrategia para mantener el rendimiento del proceso mejorado a lo largo del tiempo.
- Identifica las acciones específicas y las herramientas requeridas para sostener las mejoras o ganancias del proceso

Un sistema de control podría incorporar: un análisis de riesgo, equipos de prueba de error, control estadístico del proceso, planes de recolección de datos, mediciones continuadas, planes de auditoría, planes de respuesta, planos del producto, documentación del proceso, responsabilidades/propietarios del proceso,.....etc

Es importante porque:

- Define las acciones, recursos y responsabilidades necesarias para asegurar que el problema permanece corregido y los beneficios de la solución continúan haciéndose efectivos.
- Da los métodos y herramientas necesarias para mantener la mejora del proceso, independiente del actual equipo.
- Asegura que las mejoras realizadas sean documentadas (a veces necesarias para cumplir con los requisitos regulatorios o legales)
- Facilita la implementación de la solución a gran escala mediante la promoción de un entendimiento común del proceso y de las mejoras planeadas.

El sistema de control de proceso controla al proceso en marcha y para ser efectivo se basa en:

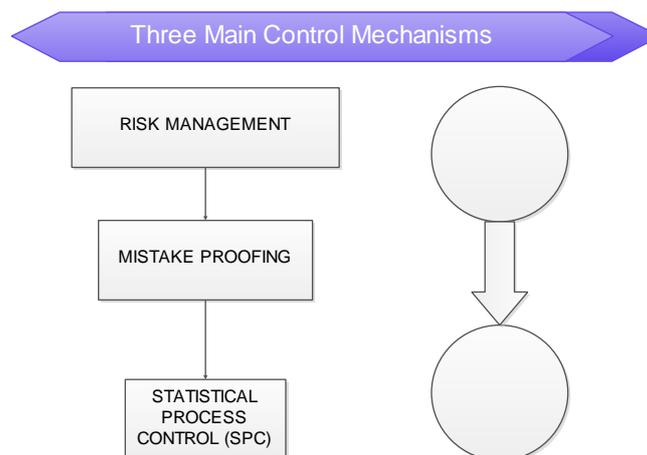
- La importancia del requisito
- El método de proceso/producción
- La capacidad del proceso

Pasos principales en su desarrollo:

- Completar un plan de implementación:
 - @ planear e implementar la solución y desarrollar un método para controlar cada X vital o las fuentes clave de variación
 - @ definir todas las posibles áreas que podrían requerir una actuación para controlar la X de proceso y determinar el camino apropiado de actuación.
- Desarrollar un plan de recogida de datos para confirmar que la solución cumple con tus metas de mejora:
 - @ Establecer mediciones en marcha/continuadas necesarias para la Y del proyecto y crear un plan de respuesta a seguir en caso de que el rendimiento del proceso caiga por debajo de los estándares establecidos.
- Comunicar tu estrategia:
 - @ documentar el proceso y el plan de control para asegurar la estandarización del proceso y la continuación de los beneficios de la solución
- Entrenar al personal
- Llevar a cabo o ejecutar el nuevo proceso y recoger datos para corroborar la solución.

FASE 5: CONTROLAR

Principales mecanismos de Control:



Gestión del Riesgo:

- Determinar la probabilidad y el impacto de cada riesgo que se presente en el plan de cambio de proceso
- Unir la probabilidad y el impacto de su ocurrencia al riesgo para determinar luego las acciones para reducirla o eliminarla
- Asignar responsabilidades o dueños y determinar los plazos para cada acción de reducción/eliminación

Prueba de Error:

- Ayuda a sustentar la solución eliminando las posibilidades de que una X pueda ser establecida fuera del nivel o configuración deseada.
- Avisa al operador del proceso antes de que la X se vaya fuera de los límites y así poder tomar acciones preventivas.
- Puede usarse sola o con el análisis de riesgo o con el control estadístico del proceso a fin de sustentar la solución.

Control Estadístico de Proceso:

- Los gráficos de control pueden usarse para monitorizar las X's y rápidamente detectar un cambio en el proceso debido a una causa especial de variación.
- Es muy útil cuando tus X's no se pueden someter a pruebas de error o ser fácilmente controladas dentro del rango/intervalo ("range") de la tolerancia requerida

Como no también estarían los Planes de Control.

La involucración y toma de responsabilidades es esencial para el éxito del proyecto, tanto de la gente del equipo 6-sigma como del equipo operativo ajena al proyecto.

Confirmación de la solución:

- Hay que calcular la nueva capacidad del proceso tras la implementación de la mejora.
- Hay que determinar si la nueva capacidad de proceso (sigma del proceso ó Z_{CP} a corto plazo) cumple con la meta de mejora:
 - @ ver si hemos conseguido el desplazamiento que buscaba de la tendencia central de mis datos ("mean") y la reducción en la varianza o en el DPMO.
 - @ Usar las pruebas de hipótesis tal y como en la fase de Analizar a la hora de verificar tus X's con datos.
- Verificar que satisface las necesidades del cliente, si dio como resultado algún otro beneficio inesperado y si se puede extrapolar a otros proyectos.

6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

Implementación de la metodología 6-sigma en varias plantas de un mismo grupo industrial.

ÍNDICE DEL PRESENTE CASO PRÁCTICO:

0.-	Descripción del producto y del problema planteado por el cliente	
1.-	Fase#1. Definición del proyecto 6σ y del problema a solucionar	
2.-	Fase#2. Medir	
3.-	Fase#3. Analizar	
4.-	Fase#4. Mejorar	
5.-	Fase#5. Controlar	
6.-	Conclusiones	

6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

0.- Descripción del producto y del problema planteado por el cliente.

El cliente principal del grupo reclama que hagamos un control y una medición exhaustiva de una serie de características de su producto ya que por contrato estamos obligados tanto a medir estas características como a analizarlas desde un punto de vista estadístico. Es decir, que por contrato se deben realizar estudios de control del proceso (SPC: "Statistical Process Control") y estudios de capacidad. Además debemos de reportarle los resultados de éste tipo de estudios de manera trimestral a nuestro cliente.

Nuestro cliente clasifica a éstas características o mediciones de dos maneras:

- CTQ ("Critical to Quality"): característica a evaluar sobre el producto terminado la cual resulta crítica para la calidad del producto. Éste tipo de característica es intrínseca al producto y por lo tanto vendrá claramente identificada o bien en los planos o bien en las especificaciones del cliente. Por norma general las CTQs dimensionales vendrán en los planos y las CTQs relativas al material, calidad de la soldadura, requisitos de montaje,.....etc vendrán reflejadas en las especificaciones.
- CTP ("Critical to Process"): característica a evaluar sobre algún aspecto del proceso de fabricación y que o bien nuestro cliente o bien nosotros mismos clasificamos como crítica en base a la experiencia y al conocimiento del propio proceso de fabricación.

Nuestra compañía posee varias plantas para la fabricación de tanto torres eólicas como de bridas eólicas y el cliente objeto de éste proyecto está recibiendo torres terminadas desde 4 de las 10 plantas del grupo.

En una de sus numerosas visitas a las plantas de fabricación, el cliente nos sometió al siguiente cuestionario y durante ésta visita se cercioró de que simplemente estábamos registrando y reportando las mediciones para cada tramo de torre de manera individual en su respectivo dossier de calidad pero que la planta en cuestión no estaba recopilando todos los datos del total de tramos producidos bajo una misma tabla para su posterior análisis estadístico, toma de medidas si fuera necesario, control y reporte a cliente.

6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

CTQ Questionnaire

Supplier Name:

Question	Answer	Evidence Provided (Y/N and type of evidence)	Comments
How does your company currently capture and record GE Drawing CTQ data? (electronic file, paperwork, etc)			
Regarding CTQ data, what does your business do with the data that is collected (where/how is it stored, sorted, trended/analyzed, etc)?			
Do you currently share your CTQ data results with GE SQ and/or DE at some regular interval?			
Are there other CTP/CTQ items that are not specified by GE that your company currently tracks (e.g. weld yields, cycle times, etc)?			
Does your business complete process capability analysis? i.e. SPC, run charts, CpK etc.			
Do you currently share any process capability analysis with GE SQ and/or DE for ongoing production?			
Does your business have a regular rhythm for review of CTQ/CTP data? Please describe the interval and format.	welding defect rate monthly		
Does your business develop and maintain a continuous improvement action plan based on your process capability analysis and data analysis?	continuous improvement action plan based on customer claims, NCR's suppliers, Audits, Surveys, Welding defect rate...		
If your business has multiple sites supplying GE, do all sites have the same data tracking, trending/analysis and monitoring methods?			
Overall SQE Comments on the supplier's program for CTQ/CTP data monitoring:	Overall SQM Comments on the supplier's program for CTQ/CTP data monitoring:		

Note: This questionnaire should be completed with the supplier and not for the supplier or by the supplier.

Una torre eólica metálica no es más que un conjunto de varios tramos de torre (generalmente de 3 a 5 en función de la altura total a alcanzar). Cada tramo de torre no es más que un conjunto de numerosas virolas (en función de la largura del tramo individual) y dos bridas, la superior y la inferior.

Las virolas (o “cans” en inglés) son chapas viroladas de acero, es decir, dobladas mediante rodillos para conformar cilindros rectos y en algunos casos cónicos (generalmente las virolas cónicas van en la parte superior del tramo superior de la torre eólica una vez montada ésta en el parque). Cada virola unitaria tiene una soldadura longitudinal (LW:”longitudinal weld”) y las virolas se unen entre sí mediante soldaduras circulares (CW:”circular weld”). Tanto al principio como al final de cada tramo de torre estarían lo que se llaman las bridas, también unidas a la primera y a la última virola mediante soldaduras circulares, y que hacen de elementos de unión entre:

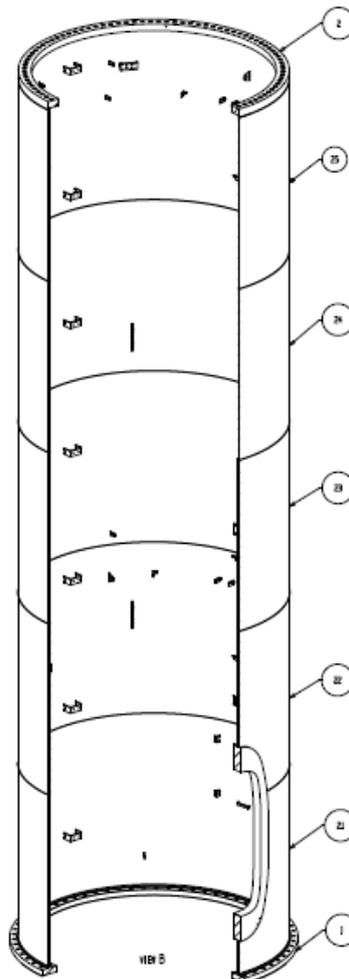
- Tramo inferior a cimentación
- Tramo a Tramo
- Tramo superior al rodamiento principal de la Nacelle (carcasa superior del aerogenerador la cual se ha auto-orienta hacia la dirección predominante de viento que haya en cada momento).

6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

Veamos un detalle o foto del interior de una torre eólica:

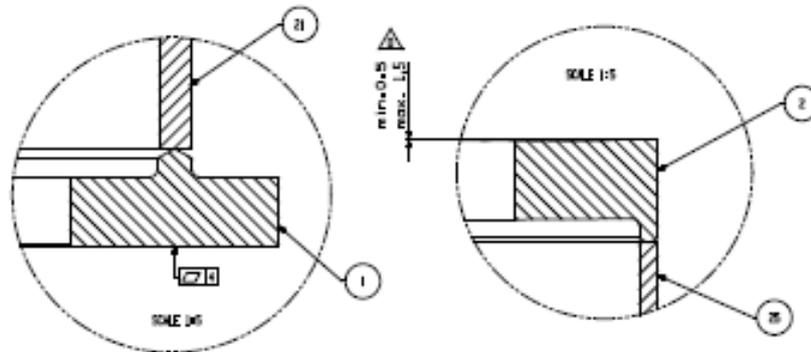


Veamos a continuación un detalle de un tramo inferior (seccionado para poder ver su interior junto con algunos de sus elementos soldables de pequeño tamaño así como con el marco de la puerta de acceso) junto con sus respectivas dos bridas superior e inferior y cinco virolas entre medio de ambas:

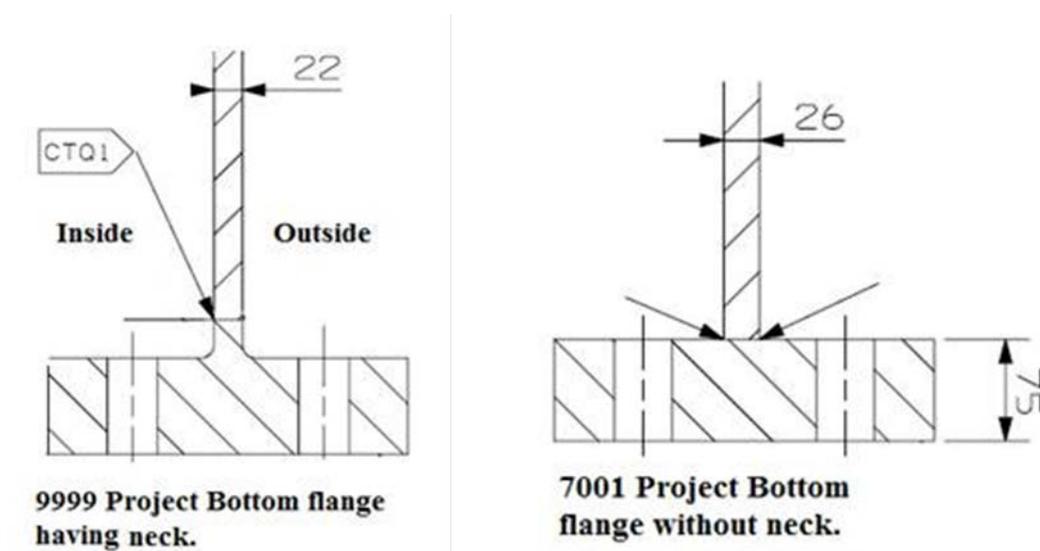


6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

Veamos ahora un detalle de las soldaduras circulares entre la virola inferior y la brida inferior y entre la virola superior y la brida superior del tramo de torre inferior visto anteriormente:



Generalmente la brida inferior del tramo inferior de la torre (“T-flange or T-joint”) tiene un cuello al cual se suelda la primera de las virolas. Sin embargo podría darse el caso de que ésta brida inferior sea una brida totalmente plana sin cuello. Veamos un croquis para cada una de éstas posibilidades:



Brida en T con cuello: se mide la distancia de la terminación de la soldadura hasta la brida tanto por dentro como por fuera. La planitud no aplica en éste caso.

Brida plana sin cuello (junta en T): ni las distancias ni la planitud son de aplicación.

En lo que respecta a éste proyecto concreto, todas las características definidas por nuestro cliente se tratan de CTQ's por lo que podremos encontrar tanto sus valores nominales como sus tolerancias dentro de sus respectivos planos y especificaciones.

6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

Deberán por lo tanto ser analizadas las distintas CTQ's para cada uno de los tramos de torre eólica que se fabrique en cada una de las plantas del grupo:

- 1.- El ratio o tasa de defecto tras inspección por ultrasonidos de las soldaduras circulares únicamente (defectología interna de la propia soldadura). No sería necesario analizar las soldaduras longitudinales. Para cada tramo de torre se tendrá únicamente en cuenta el dato de la "columna I", la tasa de defecto por UT de todas las soldaduras circulares del tramo en su conjunto. Como punto de partida y sin ningún tipo de análisis previo se define como objetivo un 2(+/-1)%.
- 2.- La distancia u holgura por la parte interior de la torre que hay entre la cara interior de la brida y el inicio de la soldadura circular adyacente.
- 3.- Valores máximos de conicidad y de planitud para la brida inferior del tramo de torre en cuestión.
- 4.- Valores máximos de conicidad y de planitud para la brida superior del tramo de torre en cuestión.
- 5.- Rendimiento tras la primera inspección por Ensayos No Destructivos de los elementos de pequeño tamaño soldables a la torre por su interior (anclajes de las plataformas, escaleras, soportes de los cables, anclajes de la línea de vida, amarres del ascensor,.....etc). Es decir, si tras inspeccionar en una primera batida el total de los 100 elementos soldables de un tramo concreto de torre encuentro 20 que no cumplen, entonces obtendría una tasa de rendimiento de 0,8.
- 6.- Fuerzas de fijación de las bridas metálicas inoxidables que amarran o fijan los cables de potencia.
- 7.- Par de apriete de los tornillos que amarran a las orejetas de seguridad.
- 8.- Desplazamiento de una virola con la inmediatamente superior tras soldadura circular.

Traducción al inglés de las CTQs mencionadas justo encima:

- 1.- UT defect rate in Circular Weld's only. One tower section has several CWs, depending usually on its overall length.
- 2.- Flange inside surface to weld toe distance for both bottom and top flanges.
- 3.- Bottom flange. Maximum flange taper and flatness.
- 4.- Upper flange. Maximum flange taper and flatness.
- 5.- Welded Bosses NDT first pass yield values (by Visual and Magnetic particle testing).
- 6.- Power cables zip ties fixation forces in the 2.x Tower models. Not applicable to the 1.x tower models as bus-bars are being used instead of the power cables.
- 7.- Torque of tie-offs screws in the 2.x Tower models. In the 1.X tower models the tie-offs are welded to the tower cans so this CTQ would not be applicable to the 1.X tower model.
- 8.- Wind tower fabrication. Post Weld offset measurement.

6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

Cada una de las 4 plantas que trabajan directamente para éste cliente deberá de registrar a granel todos los datos obtenidos tras la medición de todos y cada uno de los tramos fabricados en la siguiente y única plantilla Excel estándar llamada “CTQ_CTP_Reporting_Sheet_d.xlsx”, la cual ha sido elaborada de expreso para ésta labor.

Descripción más detallada de las CTQs previamente descritas:

CTQ#1: Veamos el detalle de una soldadura circular real en negro, es decir, antes de pintura:



Ultrasonic Testing Machine

Fotos de equipos para inspección por ultrasonidos.

Aunque el cliente no lo ha definido como una CTQ, las soldaduras tanto circulares como longitudinales también han de ser inspeccionadas visualmente a fin de localizar y reparar los defectos exteriores o la vista de la propia soldadura. A modo de ejemplo se adjunta a continuación un informe de inspección visual de las soldaduras circulares de un tramo cualquiera de torre, con la distinta defectología que podría darse (ISO 5817 Nivel de inspección B).

6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

Gestamp <small>www.gestamp.com</small>		VISUAL INSPECTION REPORT																											
CUSTOMER:- GE WIND ENERGY				PROJECT/P.O :- 55001619								DRAWING:- 123W1979								REVISION:- 0									
MPP NO:-SIPL/GE/MPP/01				QUALIFICATION NO:- 053070								SECTION:-GEE 01 Middle Section																	
SR. NO.	WELD DEFECTS	AS PER STANDARD ISO 5817 LEVEL B & AWS D1.1 DEFECT CATEGORY	ACCEPTANCE CRITERIA	CS 1		CS 2		CS 3		CS 4		CS 5		CS 6		CS 7		CS 8		CS 9		CS 10		CS 11		CS 12		RESULT	REMARK
				I/S	O/S	I/S	O/S	I/S	O/S	I/S	O/S	I/S	O/S	I/S	O/S	I/S	O/S	I/S	O/S	I/S	O/S	I/S	O/S	I/S	O/S	I/S	O/S		
				RO	R1	RO	R1	RO	R1	RO	R1	RO	R1	RO	R1	RO	R1	RO	R1	RO	R1	RO	R1	RO	R1	RO	R1			RO	R1
1	CRACK	300	NOT PERMITTED	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	Acceptable		
2	CRATER CRACK	304	NOT PERMITTED	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	Acceptable		
3	SURFACE PORE	2017	NOT PERMITTED	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	Acceptable		
4	END CRATER PIPE	2025	NOT PERMITTED	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	Acceptable		
5	LACK OF FUSION	401	NOT PERMITTED	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	Acceptable		
6	CONTINUOUS UNDERCUT	5011	NOT PERMITTED	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	Acceptable		
7	INTERMITTENT UNDERCUT	5012	25MAX	--	--	√	--	--	--	√	--	--	--	--	--	--	--	--	√	--	--	--	--	--	--	--	Acceptable		
8	EXCESSIVE WELD METAL	502	3 MAX	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	Acceptable		
9	EXCESSIVE CONVEKIVITY	503	MAX 5MM & MIN. 5MM	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	√	--	--	--	--	√	--	--	--	--	--	--	--	Acceptable		
10	INCORRECT WELD TOE	505	BUT JOINT MINIMUM 250°	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	Acceptable		
11	OVERLAP	506	NOT PERMITTED	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	Acceptable		
12	SAGGING	509	NOT PERMITTED	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	Acceptable		
13	BURN THROUGH	510	NOT PERMITTED	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	Acceptable		
14	EXCESSIVE ASYMMETRY	512	IN 3.5MM ± 10%	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	Acceptable		
15	INSUFFICIENT THROAT THICKNESS	5213	NOT PERMITTED	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	Acceptable		
16	EXCESSIVE THROAT THICKNESS	5214	MAX 3MM	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	Acceptable		
17	STAY ARC	601	NOT PERMITTED	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	Acceptable		
18	SPATTER	602	NOT PERMITTED	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	Acceptable		
19	LINEAR MISALIGNMENT	507	2 MM	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	Acceptable		
Result of Examination:-																													
INSPECTED BY:-Kadole Santosh K.												DATE:- 15/03/2013								SIGNATURE:-									
APPROVED BY:-												DATE:-								SIGNATURE:-									

CTQ#2: Distancia mínima de 10mm desde la cara interior de la brida hasta el inicio del cordón de soldadura circular adyacente (soldadura circular entre brida y virola).

Medio poka-yoke de control:

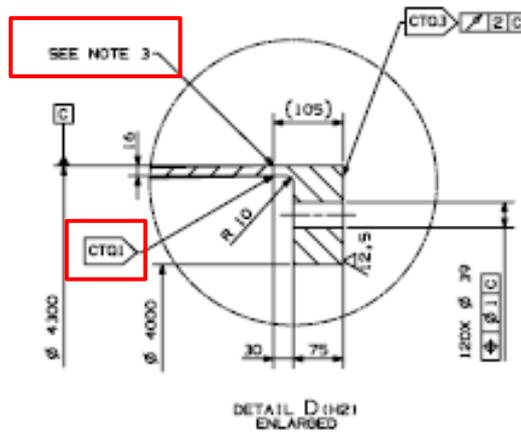


Medios de medición: O bien con un calibre tal y como se representa en la foto de debajo o bien directamente con una pequeña regla metálica.



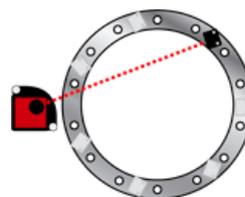
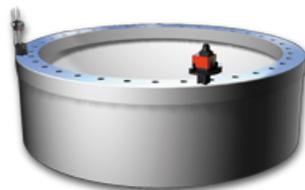
6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

A modo de ejemplo veamos los requisitos del plano del cliente para una brida cualquier



3. TRANSVERSE WELDS OF TOWER SHELLS ACCORDING TO DIN EN1993-1-9, TABLE 8.3; CONSTRUCTION DETAIL 7, DETAIL CATEGORY 90, QUALITY LEVEL ACCORDING TO ISO 5817 CLASS B. SHELL/FLANGE WELDS - MINIMUM VERTICAL DISTANCE OF 10mm SHALL BE MAINTAINED FROM THE WELD TOE TO INSIDE FLANGE SURFACE. THIS REQUIREMENT APPLIES TO ALL MANUAL, AUTOMATIC AND REPAIR WELDING PROCESS.

CTQs #3 y #4: Planitud de la superficie exterior de la brida así como inclinación de la misma ("taper" en inglés). Equipo de medición: Easy Laser (www.damalini.com).

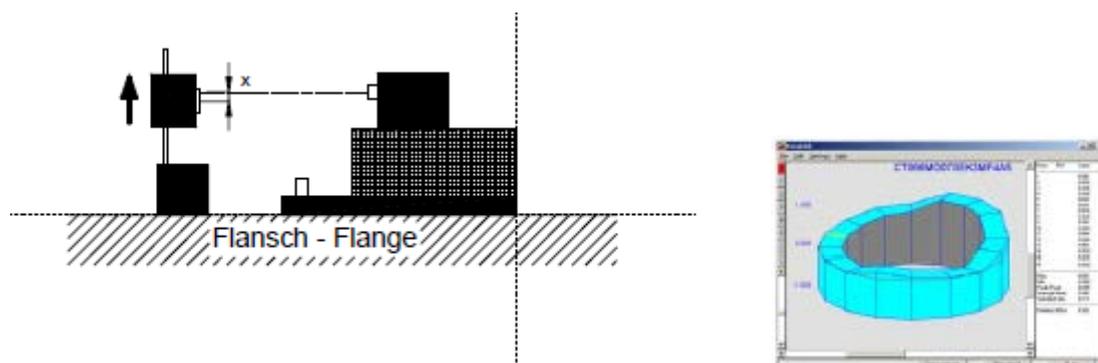


6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

La medición de la planitud o el alabeo en planos circulares (por ejemplo, bridas) se basa también en la utilización de tres puntos de referencia, situados a intervalos de 120° en torno al círculo. Es preciso decidir el número de puntos de medición y seleccionar tres de ellos como puntos de referencia en los que descansará el plano láser. En este caso, todos los resultados de la medición mostrados en pantalla se habrán calculado con respecto a los tres puntos de referencia seleccionados/plano láser.

Es posible medir el círculo interior y exterior de la brida (DI/DE), con un máximo de 300 puntos de medición. Después, se puede ver el gráfico en el programa EasyLink (versión 2.2) y también seguir trabajando con los valores de medición para probar distintas configuraciones: el mejor ajuste para el centro, el mejor ajuste alrededor de cero, los valores positivos/negativos absolutos más adecuados, etc.

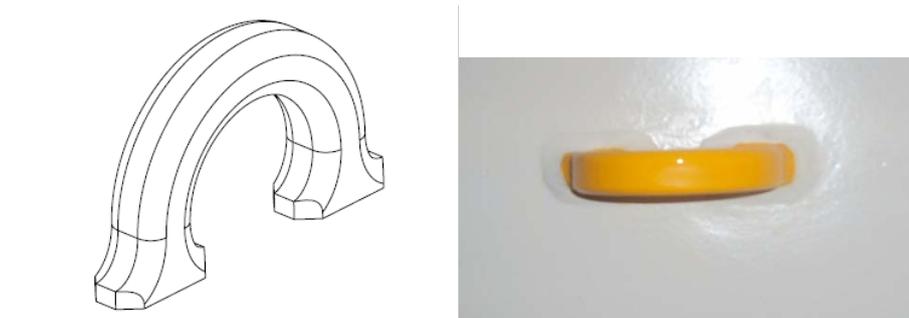
Medición de la planitud se realiza con respecto a un plano de referencia paralelo al plano horizontal. Los valores de medición de los otros puntos mostrarán la desviación con respecto al plano horizontal previamente definido.



CTQ#5: Elementos soldados por el interior de la torre a las distintas virolas. En éste caso se muestran dos casquillos roscados (por su parte interior) y una de las orejetas de seguridad pintada de amarillo. Sus soldaduras deben de ser inspeccionadas por inspectores certificados a tal efecto mediante inspección visual y mediante ensayos de partículas magnéticas a fin de asegurar de que las soldaduras fueron realizadas correctamente y sin defectos de ningún tipo (tipo poros, grietas, mordeduras, falta de fusión.....etc).



6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.



Fotos del ensayo de partículas magnéticas (con spray de contraste y el yugo).

CTQ#6: Adjunto foto de los cables de potencia junto con las bridas de acero inoxidable de los modelos de torre 2.x (objeto de éste proyecto) así como otra foto de las barras de potencia (“red bus-bars”) que en los modelos 1.x hacen las veces de los cables de potencia pero que al ir fijadas dentro de una canalización metálica atornillada no requieren de las bridas objeto del análisis.



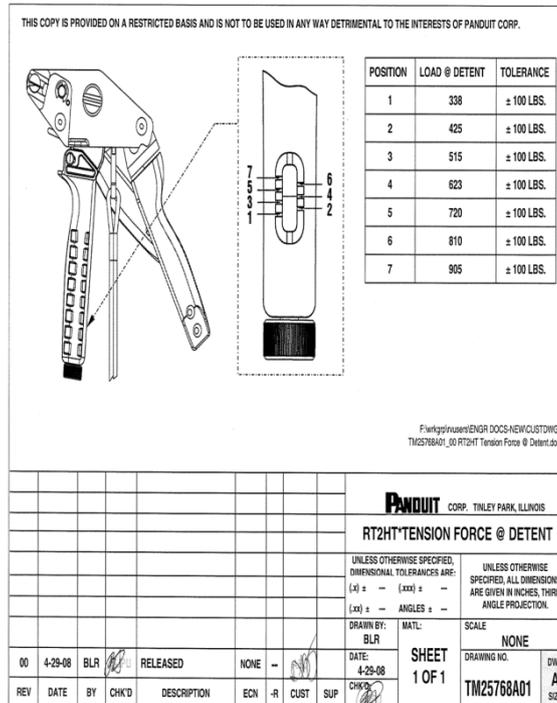
6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.



Para la fijación de los cables de potencia con bridas metálicas se emplean pistolas tales como:

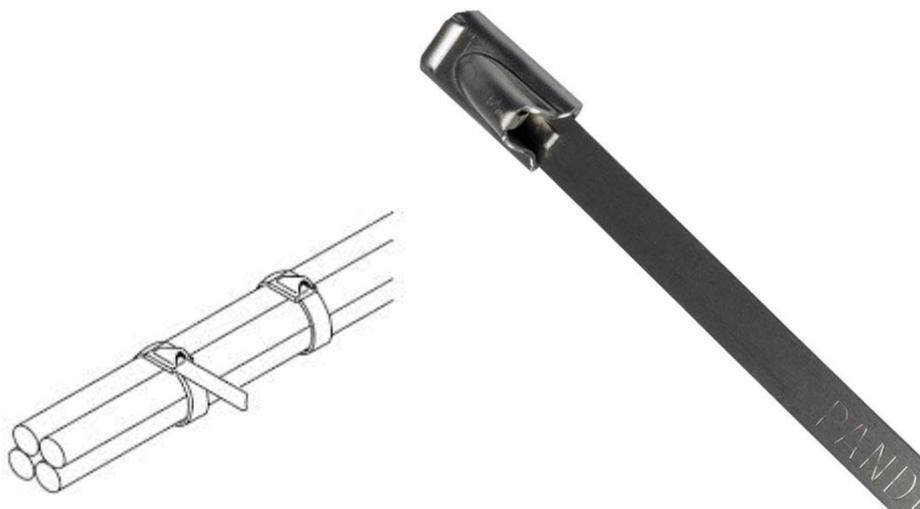


Al tratarse de pistolas fabricadas y taradas por el mismo fabricante de las bridas metálicas y que anualmente se le mandan a calibrar/re-tarar, se le propondrá al cliente el hecho de que no es necesario tener que medir la fuerza de apriete de cada brida individual y de ésta manera excluir del estudio a ésta CTQ.



6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

En concreto las bridas de acero inoxidable que se utilizan es la referencia de Panduit “MLT4SH-LP316: Stainless Steel cable ties super-heavy 4” (102mm) maximum bundle diameter”.



CTQ#7: Veamos una orejeta de seguridad del tipo atornillada a virola, las que únicamente podrían ser objeto de análisis ya que las que van soldadas carecen de tornillos a los que medir el par de apriete.



De igual manera que en el caso anterior, al estar las herramientas de apriete taradas y controladas por una tercera parte cada año, le propondremos al cliente el obviar ésta CTQ. A modo de ejemplo se adjunta una foto de una llave dinamométrica del tipo de las que se emplean para el montaje de las orejetas de seguridad.



6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

CTQ#8: Descentramiento ó des-alineamiento entre virolas, parámetro crítico en lo que la resistencia a fatiga de la estructura se refiere. Veamos tal y como son las especificaciones del cliente en inglés para luego tratar de traducirlas/explicarlas en castellano.

6.11.6 Post Weld Offset in Circumferential Welds - In circumferential welds the outer diameters of the adjacent parts shall be coincident as shown in Figure 12 unless otherwise specified on drawing. Acceptance limits for positive and negative offset is listed in the Table 9. In case of unequal plate thickness, offset is the total misalignment subtracted by the scheduled misalignment (See Fig. 12,13). For the sake of convention, the terms "positive & negative" offset will be the same for reporting all seam offsets. If and when an issue arises concerning offset, the supplier must report the following: a) $t_1=t_2$; b) $t_1<t_2$; or c) $t_1>t_2$, the measured offset and whether it is positive or negative.

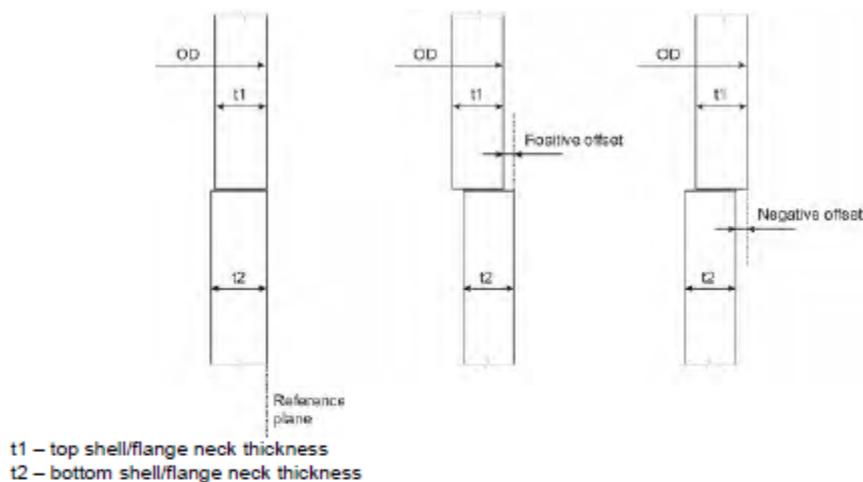


FIGURE 12 - NEGATIVE AND POSITIVE OFFSET MEASUREMENTS

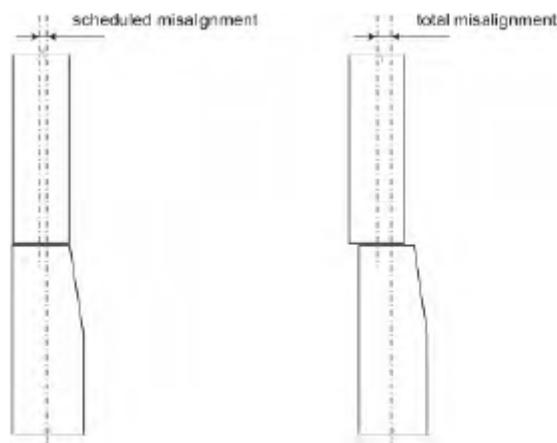
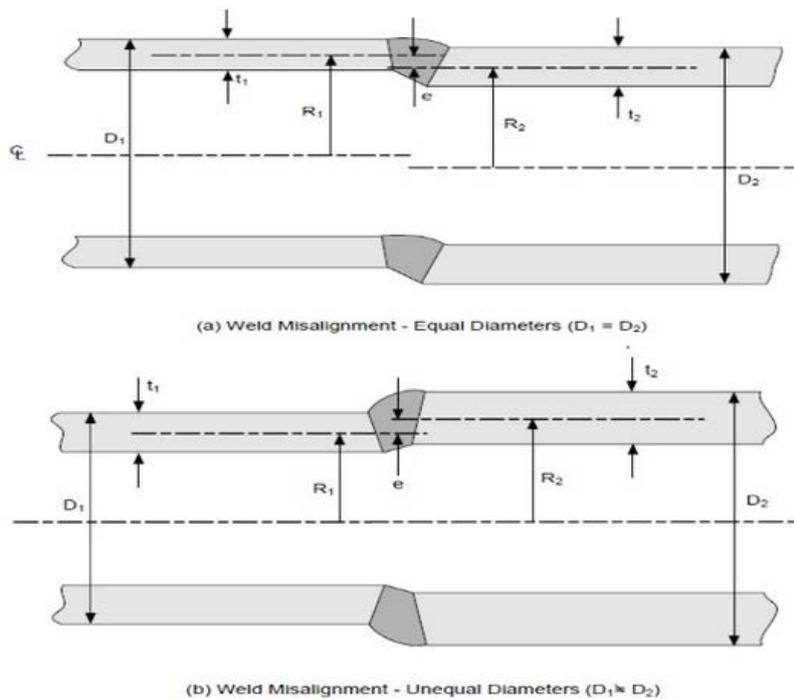


FIGURE 13 - SCHEDULED AND TOTAL MISALIGNMENT

Para un espesor de la virola superior $t_1 < t_2$ (espesor de la virola que va debajo), caso más habitual, nuestro cliente solo nos permite un desalineamiento positivo de entre 1 y 4mms, por lo que podríamos asumir la siguiente especificación: **2,5 +/-1,5mms**. El rango de tolerancia sería de 3mms.

6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

Des-alineamiento de la soldadura con respecto a la línea central en la soldadura circunferencial de virolas cilíndricas (“centerline offset Weld misalignment in cylindrical Shell circumferential welds”):



Los métodos que actualmente se están siguiendo para la medición de ésta característica son dos.

Método#A: Con un listón metálico perfectamente recto y plano y la galga de espesores siguiente (a straight rule & a Filler Gage):

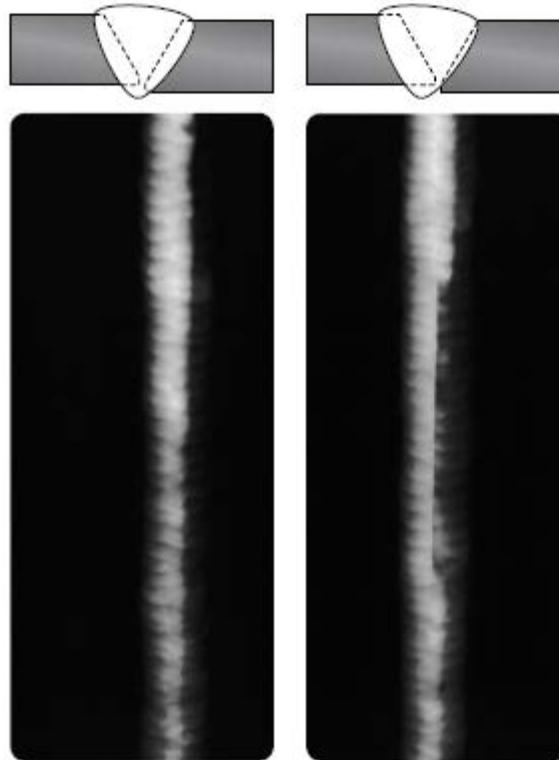


6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

Método#B: Con las galgas llamadas de pico de loro de a continuación (“Bridge welding gage”):



Si miráramos éste tipo de defecto mediante rayos X se vería de la siguiente manera:



Offset or mismatch (H-L).

An abrupt change in film density across the width of the weld image.

Offset or mismatch with Lack of Penetration (LOP).

An abrupt density change across the width of the weld image with a straight longitudinal darker density line at the centre of the width of the weld image along the edge of the density change.

6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

Ajuste, tarado y calibración de los equipos mencionados anteriormente:

CTQ1: El equipo de medición/evaluación por ultrasonidos se ajusta y calibra anualmente en la casa del propio fabricante (GE Inspection Technologies, Olympus,.....etc).

CTQ2: Tanto los calibres como las reglas metálicas son enviadas cada año a un laboratorio externo para que sean verificados. Si están en buen estado el laboratorio emite un certificado para los mismos con validez de un año.

CTQ3 y CTQ4: Al igual que con el equipo de Ultrasonidos, el equipo Easy Laser se envía al fabricante cada año para su ajuste, calibración y re-certificación.

CTQ5: Cada año se envía el yugo a la casa que lo fabricó para su evaluación y si es caso ajuste. Los inspectores de visual cada año han de acudir a una revisión médica y cada 5 años deben de renovar sus certificados como inspectores visuales de materiales metálicos/soldaduras.

CTQ6 y CTQ7: Aunque no serán objeto del proyecto, tanto las pistolas para apriete/fijación de bridas inoxidable como las llaves dinamométricas son enviadas cada año al fabricante para su tarado y recertificación de carácter anual. Como no se dispone en planta de equipos capaces de medir un par de apriete ya aplicado sobre un tornillo o una fuerza de fijación ya aplicada sobre una brida inoxidable se le propondrá al cliente el no tener que realizar éste tipo de mediciones, básicamente porque el fabricante de los equipos empleados en el montaje los evalúa, ajusta y tara/calibra cada año.

CTQ8: Tanto las galgas de espesores como de pico de loro y las reglas metálicas son enviadas cada año a un laboratorio externo para que sean verificados. Si están en buen estado el laboratorio emite un certificado para los mismos con validez de un año.

6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

A modo de ejemplo veamos los datos recogidos por una de las plantas en la plantilla Excel mencionada anteriormente "CTQ_CTP_Reporting_Sheet_d.xlsx":

GESBEY		TURKEY		TURKEY		TURKEY		TURKEY		TURKEY		TURKEY		TURKEY		TURKEY		TURKEY		TURKEY		TURKEY	
Tower Kit #	Section group #	Supplier ID	GE ID	Total Weld Length	116029	Manufacturing Date	NO Total	Peak Length of weld Defects mm	% UT Defect Rate	Location Identification Length of weld ->	Section Serial Number	ND	LOD	ND	LOD	ND	LOD	ND	LOD	ND	LOD	ND	LOD
109W221G012	117W0911_A	1/13 Top Section	F22351-104-00161-W860	20.01.2014	0	0	0.00%	01.427081542.0011.00161	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
109W221G012	117W0911_A	2/13 Top Section	F22351-104-00162-W860	16.03.2014	1	30	0.03%	01.427081542.002.00162	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
109W221G012	117W0911_A	3/13 Top Section	F22351-104-00163-W860	23.03.2014	3	2205	1.09%	01.427081542.003.00163	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
109W221G012	117W0911_A	4/13 Top Section	F22351-104-00164-W860	27.03.2014	0	0	0.00%	01.427081542.004.00164	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
109W221G012	117W0911_A	5/13 Top Section	F22351-104-00165-W860	31.03.2014	1	25	0.02%	01.427081542.005.00165	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
109W221G012	117W0911_A	6/13 Top Section	F22351-104-00166-W860	11.04.2014	0	0	0.00%	01.427081542.006.00166	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
109W221G012	117W0911_A	7/13 Top Section	F22351-104-00167-W860	14.04.2014	0	0	0.00%	01.427081542.007.00167	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
109W221G012	117W0911_A	8/13 Top Section	F22351-104-00168-W860	19.04.2014	1	20	0.04%	01.427081542.008.00168	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
109W221G012	117W0911_A	9/13 Top Section	F22351-104-00169-W860	19.04.2014	1	30	0.03%	01.427081542.009.00169	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
109W221G012	117W0911_A	10/13 Top Section	F22351-104-00170-W860	14.05.2014	0	0	0.00%	01.427081542.010.00170	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
109W221G012	117W0911_A	11/13 Top Section	F22351-104-00171-W860	20.05.2014	0	0	0.00%	01.427081542.011.00171	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
109W221G012	117W0911_A	12/13 Top Section	F22351-104-00172-W860	20.05.2014	0	0	0.00%	01.427081542.012.00172	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
109W221G012	117W0911_A	13/13 Top Section	F22351-104-00173-W860	11.06.2014	1	20	0.02%	01.427081542.013.00173	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tower Kit #	Section group #	Supplier ID	GE ID	Manufacturing Date	Top Flange inside to weld toe distance	Top Flange Top Flange Taper	Bottom Flange inside surface to weld toe distance	L-Flange Taper	L-Flange Filletness	T-Flange Taper	T-Flange Filletness	Flare NDT 1st pass yield
109W221G012	117W0911_A	1/13 Top Section	F22351-104-00161-W860	20.01.2014	89	0.13	0.16	17.00	0.36	0.16	N/A	0.49
109W221G012	117W0911_A	2/13 Top Section	F22351-104-00162-W860	16.03.2014	83	0.06	0.11	16.00	0.42	0.33	N/A	0.57
109W221G012	117W0911_A	3/13 Top Section	F22351-104-00163-W860	23.03.2014	81	0.09	0.11	16.00	0.41	0.17	N/A	0.56
109W221G012	117W0911_A	4/13 Top Section	F22351-104-00164-W860	27.03.2014	75	0.13	0.13	15.00	0.44	0.51	N/A	0.91
109W221G012	117W0911_A	5/13 Top Section	F22351-104-00165-W860	31.03.2014	80	0.13	0.18	15.00	0.48	0.14	N/A	0.81
109W221G012	117W0911_A	6/13 Top Section	F22351-104-00166-W860	03.04.2014	80	0.4	0.43	15.00	0.62	0.67	N/A	0.22
109W221G012	117W0911_A	7/13 Top Section	F22351-104-00167-W860	11.04.2014	81	0.18	0.18	17.00	0.51	0.11	N/A	0.8
109W221G012	117W0911_A	8/13 Top Section	F22351-104-00168-W860	14.04.2014	79	0.13	0.19	16.00	0.48	0.19	N/A	0.86
109W221G012	117W0911_A	9/13 Top Section	F22351-104-00169-W860	14.05.2014	83	0.24	0.18	16.00	0.37	0.13	N/A	0.8
109W221G012	117W0911_A	10/13 Top Section	F22351-104-00170-W860	14.05.2014	84	0.14	0.14	17.00	0.57	0.24	N/A	1
109W221G012	117W0911_A	12/13 Top Section	F22351-104-00172-W860	20.05.2014	80	0.14	0.14	16.00	0.25	0.14	N/A	0.99
109W221G012	117W0911_A	13/13 Top Section	F22351-104-00173-W860	11.06.2014	81	0.09	0.21	19.00	0.47	0.75	N/A	1

Top sections 109w221g012 made in Turkey		
Tower Section#	CW#	Max Off-set or misalignment measurement
1	MF2-CW1	2,6
1	CW2	2,3
1	CW3	1,5
1	CW4	2,5
1	CW5	2,1
1	CW6	1,5
1	CW7	1,7
1	CW8	1,6
1	CW9	1,5
1	MF1-CW10	1,6
2	MF2-CW1	2,5
2	CW2	2,3
2	CW3	1,4
2	CW4	2,5
2	CW5	1,9
2	CW6	1,6
2	CW7	1,7
2	CW8	1,5
2	CW9	1,5
2	MF1-CW10	1,5

9.- CASO PRÁCTICO REAL METODOLOGÍA 6σ

6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

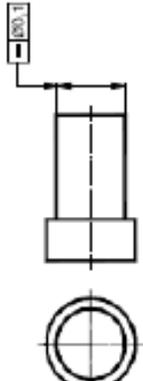
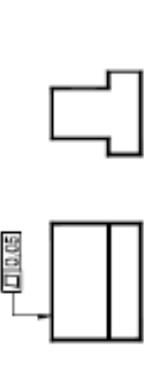
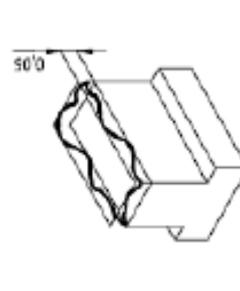
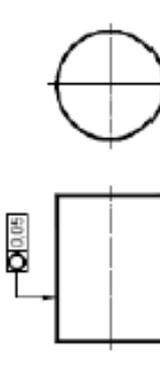
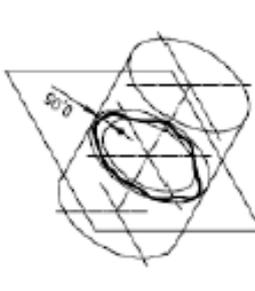
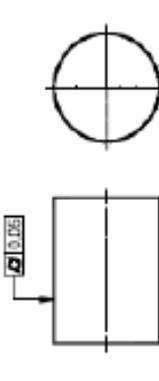
Para mostrarle la táctica 6-sigma a todas las plantas del grupo se evaluará únicamente la última CTQ#8 expuesta anteriormente y en base a los datos obtenidos en una de las plantas, concretamente 13 tramos superiores 109w2217g012 fabricados por Turquía con 10CWs cada uno. Las plantas deberán de seguir éstas mismas pautas con sus respectivos datos y de manera individual para cada una de las CTQ's individuales.

1.- Etapa#1. DEFINIR EL PROYECTO 6-SIGMA Y EL PROBLEMA A SOLUCIONAR: Se trata de llevar a niveles 6sigma a mi proceso concretamente en lo que respecta a los valores de la CTQ#8. Así disminuirémos los costos de inspección y garantizaremos la satisfacción y lealtad del cliente.

Definiremos las métricas (variables a través de las cuales se podrá medir el éxito del proyecto) y la línea base (medición del nivel de desempeño del proceso al inicio del proyecto, generalmente en términos de métricas). Con el siguiente Marco del proyecto veremos en qué consiste realmente el proyecto, las métricas, los beneficios esperados y los beneficios potenciales.

MARCO DEL PROYECTO SEIS SIGMA.	
Fecha: 03-Enero-2014	
Revisión: 02	
Título/Propósito:	Mejorar el proceso de ensamble de las virolas y bridas eólicas antes de realizar la soldadura circular. Medición del desalineamiento tras soldadura ("wind tower fabrication post-weld offset measurement")
Necesidades del negocio a ser atendidas ("business case"):	
Como la calidad de ésta CTQ#8 definida por nuestro cliente no tiene un nivel 6-sigma es necesario duplicar el nivel de inspección actual del 100%. La tasa de retrabajos es demasiado alta lo cual se traduce en un aumento de los costos de inspección (dos inspectores), aumento del tiempo de ciclo, incremento de los costos de calidad (reprocesos e inventarios en proceso) y posible insatisfacción del cliente. La mayoría de las especificaciones de diseño de soldadura son tras soldadura lo que significa que la CTQ para el ajuste/montaje sólo puede realizarse cuando se complete la fabricación. Dada la importancia de éste parámetro para la resistencia a la fatiga de la estructura, la exactitud antes y después de soldar es de suma importancia.	
Declaración del problema ("Problem statement"):	
El alto nivel de retrabajo genera al año 8200PPM (una calidad de 2,4 sigmas a LP o de 3,9 sigmas a CP), lo que implica un costo anual de reproceso de 20.000€ y un costo anual de inspección de por lo menos 15.000€. Adicionalmente habría un impacto no cuantificado sobre el tiempo de ciclo y la satisfacción del cliente. El desalineamiento entre virolas es difícil de medir con exactitud y precisión tras soldadura. Los equipos/utensilios de medición actuales no tienen la exactitud suficiente como para un gage R&R veraz.	
Objetivo ("Goal Statement"):	
Llegar a un nivel de calidad 6-sigma en mi proceso y eliminar el reproceso y la re-inspección al 100% de ése proceso. Para ello desarrollar un equipo de medición con la suficiente exactitud como para que cumpla con los criterios estándar de un Gage R&R y que sea fácil de usar por los técnicos de calidad a la hora de medir éste parámetro antes y después de soldar.	
Alcance ("Project Scope"):	
El proyecto se limitará a abordar los problemas de las torres eólicas en relación con los factores del ensamble que influyen en la CTQ#8. Desarrollo de un equipo en base a los requisitos de la especificación del cliente y a los datos reportados por las plantas. CTQ's del proyecto: - los propios valores de mi proceso y de la CTQ de desalineamiento. - Meta para el Gage R&R de hasta el 20% como máximo. - desarrollo de una herramienta global, a usar por todas las plantas por igual y de la misma manera. - herramienta fácil de usar, sencilla y robusta	
Roles y Responsabilidades:	
Propietarios: Areas de Calidad y de Fabricación en negro.	
Patrocinador o Champion: El director de fabricación.	
El Equipo : BB líder: Javier. Gerente de línea: Hakan. Jefe de Línea: Sertach. Técnicos de calidad: Seckin y Aydin.	
Los Recursos : Registros de Calidad, apoyo del área#3 de fabricación en negro.	
Las Métricas: Valores de desalienamiento entre virola-virola y virola-brida. PPM por reprocesos.	
Hitos del proyecto ("Project milestones"): DMAMC: desde la semana 01 a la 20.	
Fecha de inicio del proyecto: 01-01-2014	
Fecha planeada de de finalización: 01-06-2014	
Entregable del proyecto:	
Cambiar y documentar el procedimiento de ensamble, eliminar los reprocesos y la re-inspección al 100%, reducción del tiempo de ciclo. Ahorros anuales previstos de 35.000€, de los cuales 20.000 serían por re-inspección y 15.000 por retrabajos.	

6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

TIPO DE TOLERANCIA	CARACTERÍSTICAS	SÍMBOLO	INDICACIÓN EN EL DIBUJO	ZONA DE TOLERANCIA	INTERPRETACIÓN
	Rectitud	—			El eje del cilindro controlado deberá estar contenido en el interior de un cilindro de 0,1 mm de diámetro.
	Planitud				La superficie plana deberá estar contenida entre dos planos paralelos separados 0,05 mm.
	Redondez				El contorno circular de cualquier sección transversal deberá estar contenido entre dos circunferencias concéntricas cuya diferencia de radios es 0,05 mm.
	Cilindricidad				La superficie cilíndrica deberá estar contenida entre dos cilindros concéntricos cuya diferencia de radios es 0,05 mm.
Forma					

6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

Anteriormente y a modo de información se expusieron las maneras de interpretar los distintos tipos de tolerancias geométricas según la ISO 1101. Esta norma a partir del 01-Sept-2015 será sustituida por la ISO/TC 213.

Hice referencia a las tolerancias geométricas porque éstas afectan a la calidad/situación de la superficie de las chapas que conforman las dos virolas que hay a ambos lados de cada soldadura circular (CW) individual. Actualmente las distintas plantas están utilizando o bien reglas planas que apoyan sobre las virolas, con lo cual ésta/s desviaciones geométricas interfieren/impactan directamente en la calidad de las mediciones, o bien las galgas de pico de loro, las cuales para el caso de soldaduras de gran tamaño, o bien andan justas o bien no alcanzan a sobrepasar la soldadura de un lado al otro.

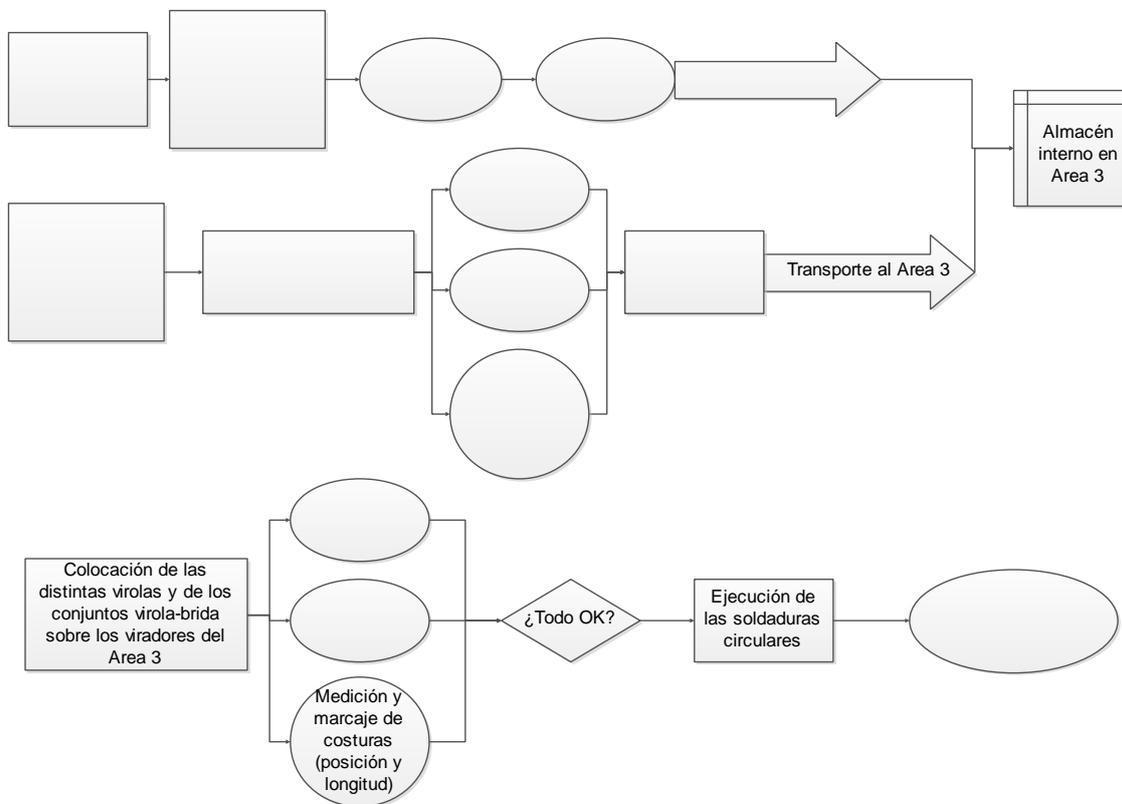
2.- Etapa#2. MEDIR.

Trataremos de entender el proceso en mayor detalle (**mapa o flujo-grama de proceso**), validaremos el sistema de medición de las métricas involucradas (mediante un Gage R&R o estudio de repetibilidad y reproducibilidad) y estableceremos la línea base. Después de validar el sistema de medición para una de las plantas haremos un estudio de capacidad y estabilidad para establecer la línea base o desempeño actual, en este caso de mi variable llamada CTQ#8. Éste ejercicio serviría a modo de ejemplo o pauta para dinamizar al resto de las plantas en la misma línea.

Estudio Gage R&R: Metodología que permite investigar el error de un sistema de medición y ver si éste es suficientemente pequeño. Estudiaremos 10 soldaduras circulares de un mismo tramo de torre, con 2 inspectores de los que regularmente efectúan éste control en una de las plantas y cada inspector realizará 2 ensayos sobre cada soldadura individual.

Los resultados obtenidos se presentan en la tabla de a continuación. En un primer vistazo se observa que hay una discrepancia importante en los resultados de los dos inspectores. Por ejemplo en la parte#1 el inspector-A reporta valores cercanos a 2,55 mientras que el inspector-B cercanos a 3,1.

6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.



Flujograma del proceso de premontaje de virolas y bridas previo a la soldadura circular.

6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

#Parte	#Ensayo	#Operario	Medición
1	1	A	2,61
2	1	A	2,30
3	1	A	1,50
4	1	A	2,49
5	1	A	2,09
6	1	A	1,55
7	1	A	1,69
8	1	A	1,60
9	1	A	1,58
10	1	A	1,59
1	2	A	2,52
2	2	A	2,34
3	2	A	1,43
4	2	A	2,55
5	2	A	1,93
6	2	A	1,60
7	2	A	1,71
8	2	A	1,52
9	2	A	1,52
10	2	A	1,53
1	1	B	3,00
2	1	B	2,81
3	1	B	2,59
4	1	B	3,51
5	1	B	2,09
6	1	B	1,60
7	1	B	1,56
8	1	B	1,62
9	1	B	1,53
10	1	B	1,61
1	2	B	3,27
2	2	B	2,88
3	2	B	2,63
4	2	B	3,41
5	2	B	2,17
6	2	B	1,65
7	2	B	1,58
8	2	B	1,57
9	2	B	1,57
10	2	B	1,75

media operadorA 1,88
desv. Std operador A 0,42

Media OperadorB 2,22
Desv. Std Operador B 0,72

Si realizo un análisis gráfico de los datos anteriores se confirma claramente lo comentado antes. En promedio, los inspectores están reportando diferentes lecturas para la CTQ#8, sobre todo para las primeras 4 piezas en las que el inspector-B reporta lecturas mayores. En cuanto al error (desviación de la media) de cada operador no parece ser demasiado, lo cual sugiere que hay problemas de reproducibilidad entre operarios pero no de repetibilidad en individuos.

Para confirmar esto es necesario cuantificar de forma numérica el error de la medición y para ello seguiré el método de estimación de las varianzas “método de medias y rangos” ó “X-barra/R” para datos continuos, dada la especificación de diseño de 2,5 +/-1'5mms.

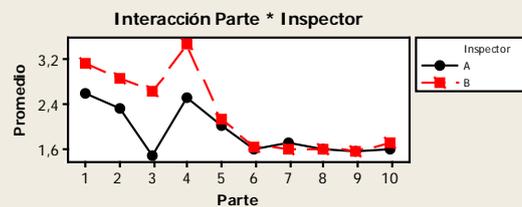
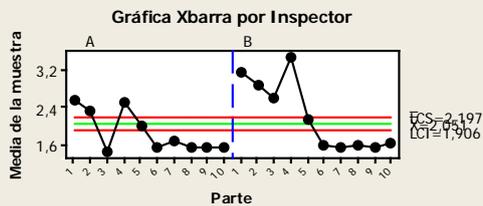
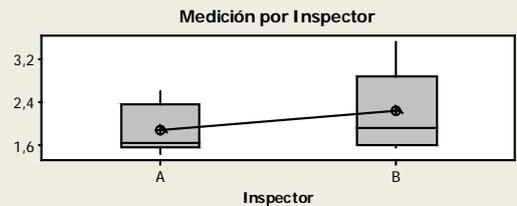
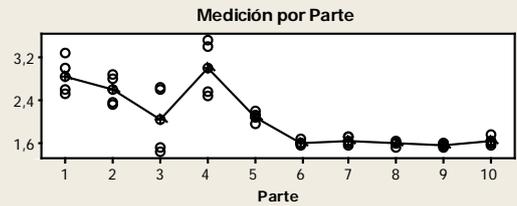
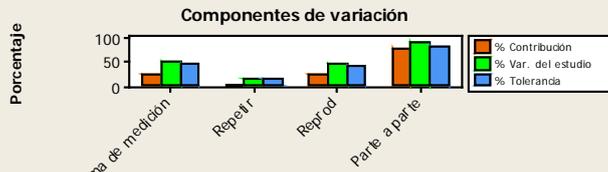
[Estadísticas>Herramientas de Calidad>Estudio de Medición>Estudio R&R del sistema de medición\(cruzado\)](#). En lugar del método de análisis “ANOVA” elijo el método “Xbarra y R” para datos continuos.

6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

1er estudio Gage R&R

Nombre del sistema de medición : 1er Gage R&R
 Fecha del estudio:

Notificado por:
 Tolerancia:
 Misc:



XBarra/R (método de medias y rangos)

Fuente	CompVarianza	%Contribución (Varianzas)
R&R del sistema de medición total	0,061778	23,15
Repetibilidad	0,004720	1,77
Reproducibilidad	0,057058	21,38
Parte a parte	0,205055	76,85
Variación total	0,266834	100,00

La tolerancia del proceso es = 3

Fuente	Desv. Est. (DE)	Var. del estudio (5,15 * DE)
R&R del sistema de medición total	0,248553	1,28005
Repetibilidad	0,068706	0,35383
Reproducibilidad	0,238868	1,23017
Parte a parte	0,452830	2,33208
Variación total	0,516559	2,66028

Fuente	%Var. del estudio (\$VE)	%Tolerancia (VE/Toler)
R&R del sistema de medición total	48,12	42,67
Repetibilidad	13,30	11,79
Reproducibilidad	46,24	41,01
Parte a parte	87,66	77,74
Variación total	100,00	88,68

Número de categorías distintas (n_c) = 2

Cabe destacar a los dos gráficos de la parte superior derecha en los que se representa en el primero a la media frente al #parte y en el segundo a la desviación de la media frente al #operador.

6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

Para cuantificar de manera numérica el error de la media hemos utilizado el “método de las Medias y rangos” y concluimos con que el sistema de medición tiene un desempeño inadecuado ya que los siguientes índices son ambos claramente mayores del 30%:

$$\left(\frac{P}{T}\right) = \frac{\text{precisión sist. medición}}{\text{variac. tolerada ó rango tolerancia}} = \frac{5,15 \cdot \hat{\sigma}_{R\&R}}{3} = \frac{5,15 \cdot (DE_{R\&R} \cdot 100)}{3} = \frac{5,15 \cdot 0,248553 \cdot 100}{3} = 42,668 > 30\%$$

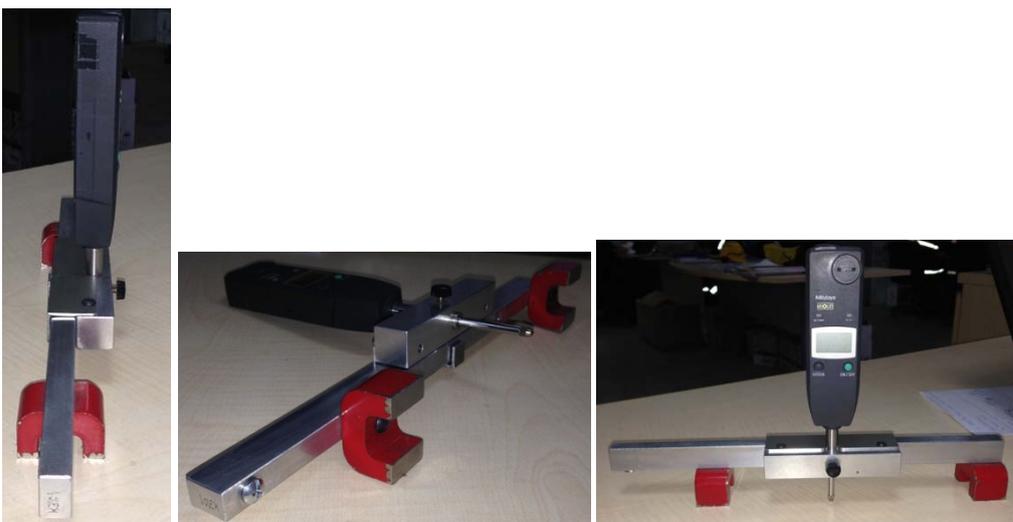
$$\left(\frac{VE}{VarTot}\right) = \frac{\text{desv. std equipo medición}}{\text{desv. std total}} = \frac{\hat{\sigma}_{R\&R}}{\hat{\sigma}_{TOTAL}} = \frac{(DE_{R\&R} \cdot 100)}{0,516559} = \frac{0,248553 \cdot 100}{0,516559} = 48,11 > 30\%$$

Además el número de categorías distintas $n_c=2$, al ser menor que 4, indica que el sistema NO tiene la resolución adecuada.

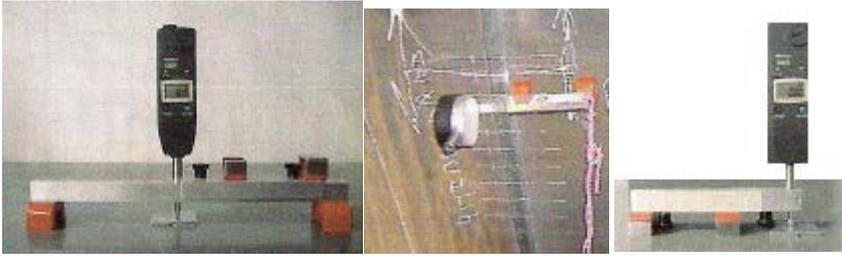
De los datos obtenidos anteriormente con el programa Minitab se concluye que el problema está en la reproducibilidad entre operarios ya que del 23,15% de variación total con la que contribuye el sistema de medición, 21,38 se debe a la reproducibilidad. En resumen, los operadores no utilizan el instrumento de la misma manera para medir la CTQ#8 y el sistema de medición es inaceptable tanto para controlar el proceso como para distinguir entre piezas buenas y malas. Este primer estudio Gage R&R suspende.

Se toman dos medidas para reconducir la situación:

1.-) El desarrollo de la siguiente nueva herramienta de medición para evitar que las alteraciones geométricas que pudiera haber en la chapas (a ambos lados de la soldadura) tergiversen las mediciones.



6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.



2.-) Se desarrolló un programa de mejora de la habilidad de los inspectores de calidad así como una formación en el uso del nuevo equipo. Después de su re-entrenamiento se volvió a hacer un estudio Gage R&R obteniéndose unos resultados donde a primera vista se observa una mayor coincidencia entre las lecturas de ambos inspectores:

6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

#Parte	#Ensayo	#Operario	Medición
1	1	A	2,58
2	1	A	2,03
3	1	A	1,97
4	1	A	2,51
5	1	A	2,21
6	1	A	1,61
7	1	A	1,98
8	1	A	1,73
9	1	A	1,95
10	1	A	2,49
1	2	A	2,61
2	2	A	2,19
3	2	A	2,04
4	2	A	2,42
5	2	A	2,01
6	2	A	1,55
7	2	A	1,95
8	2	A	1,74
9	2	A	1,86
10	2	A	2,62
1	1	B	2,76
2	1	B	2,17
3	1	B	1,91
4	1	B	2,70
5	1	B	2,07
6	1	B	1,72
7	1	B	1,83
8	1	B	1,79
9	1	B	1,89
10	1	B	2,69
1	2	B	2,61
2	2	B	2,11
3	2	B	2,00
4	2	B	2,76
5	2	B	2,13
6	2	B	1,88
7	2	B	1,86
8	2	B	1,82
9	2	B	1,85
10	2	B	2,65

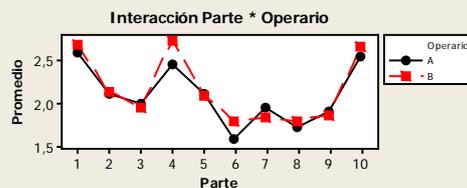
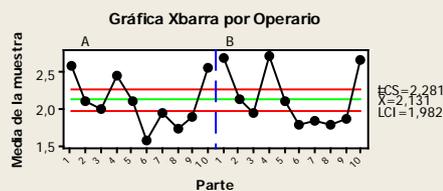
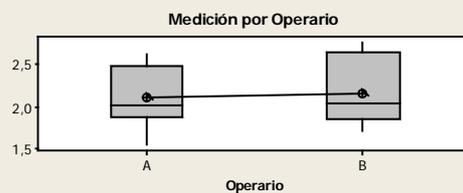
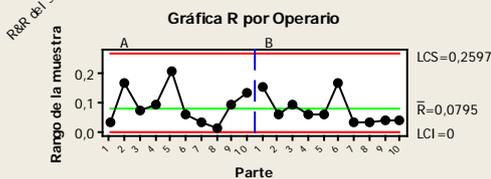
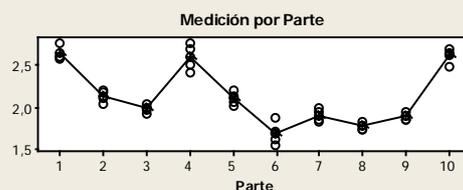
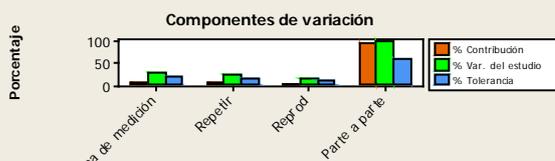
media operadorA 2,10
 desv. Std operador A 0,34

Media OperadorB 2,16
 Desv. Std Operador B 0,38

2º Estudio GageR&R

Nombre del sistema de medición : 2º GageR&R
 Fecha del estudio:

Notificado por:
 Tolerancia: 3
 Misc:



6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

2º Estudio R&R del sistema de medición para "Medición" - Método XBarra/R

Fuente	CompVar	%Contribución (de CompVar)
R&R del sistema de medición total	0,0063819	6,67
Repetibilidad	0,0049673	5,19
Reproducibilidad	0,0014147	1,48
Parte a parte	0,0892469	93,33
Variación total	0,0956288	100,00

La tolerancia del proceso es = 3

Fuente	Desv. Est. (DE)	Var. del estudio (6 * DE)
R&R del sistema de medición total	0,079887	0,47932
Repetibilidad	0,070479	0,42287
Reproducibilidad	0,037612	0,22567
Parte a parte	0,298742	1,79245
Variación total	0,309239	1,85543

Fuente	%Var. del estudio (%VE)	%Tolerancia (VE/Toler)
R&R del sistema de medición total	25,83	15,98
Repetibilidad	22,79	14,10
Reproducibilidad	12,16	7,52
Parte a parte	96,61	59,75
Variación total	100,00	61,85

Número de categorías distintas = 5

$$\left(\frac{P}{T}\right) = \frac{5,15 \cdot \hat{\sigma}_{R\&R}}{3} = \frac{5,15 \cdot (DE_{R\&R} \cdot 100)}{3} = \frac{5,15 \cdot 7,9887}{3} = 13,71 < 30\%$$

$$\left(\frac{VE}{VarTot}\right) = \frac{\hat{\sigma}_{R\&R}}{\hat{\sigma}_{TOTAL}} = \frac{(DE_{R\&R} \cdot 100)}{30,9239} = \frac{7,9887}{30,9239} \cdot 100 = 25,83 < 30\%$$

Como $(P/T)=13,71$ y $(VE/VarTot)=25,83$ y ambos son menores de 30% se considera que ahora sí tenemos un sistema de medición con un error aceptable. Lo anterior se confirma con el número de categorías distintas ya que $n_c=5$, que al ser mayor que 4, me corrobora que la resolución del sistema de medición es también adecuada.

6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

Ya podría proceder con mi Estudio de Capacidad y de Estabilidad de la CTQ#8 para establecer la línea base de mi proceso ya que una vez aprobada la calidad de las mediciones, se procede a determinar la línea base de la CTQ#8.

Planifico un estudio de "estabilidad" utilizando la "carta de control $\bar{X} - R$ ", con tamaño de subgrupo igual a cuatro, hasta completar 20 subgrupos repartidos en un periodo de tiempo suficiente como para que se manifieste la variación de LP del proceso. Resumiendo, mido 4 soldaduras circulares por turno de una de las plantas durante 20 turnos seguidos (1,33 semanas a 3 turnos de Lunes a Viernes).

20x4 mediciones

Subgrupo	Mediciones			
1	1,20	1,57	1,68	1,09
2	2,34	2,18	2,07	2,12
3	1,95	1,71	2,09	1,87
4	1,69	1,36	1,29	1,76
5	1,63	1,80	2,14	1,59
6	1,85	2,12	1,90	2,22
7	2,36	2,85	2,69	2,45
8	2,20	1,89	1,94	1,76
9	2,43	2,18	2,29	2,76
10	2,23	2,59	1,87	1,69
11	2,35	2,26	3,07	2,55
12	1,68	1,18	1,47	1,70
13	1,66	1,96	2,36	1,78
14	2,20	1,55	1,20	2,00
15	2,29	2,18	1,95	2,29
16	1,96	1,55	1,73	1,87
17	1,71	1,86	1,85	1,57
18	2,38	2,82	2,24	2,46
19	2,47	2,72	2,02	2,36
20	1,85	2,44	1,95	2,39

Desv. Estandar
0,416025803

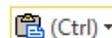
Realizo el "estudio de estabilidad" de los datos mediante la siguiente "carta $\bar{X} - R$ ".
[Estadísticas>Gráficas de Control>Gráficas de variables para subgrupos>Xbarra-R...](#)

Gráfica Xbarra-R de medic1;; medic4

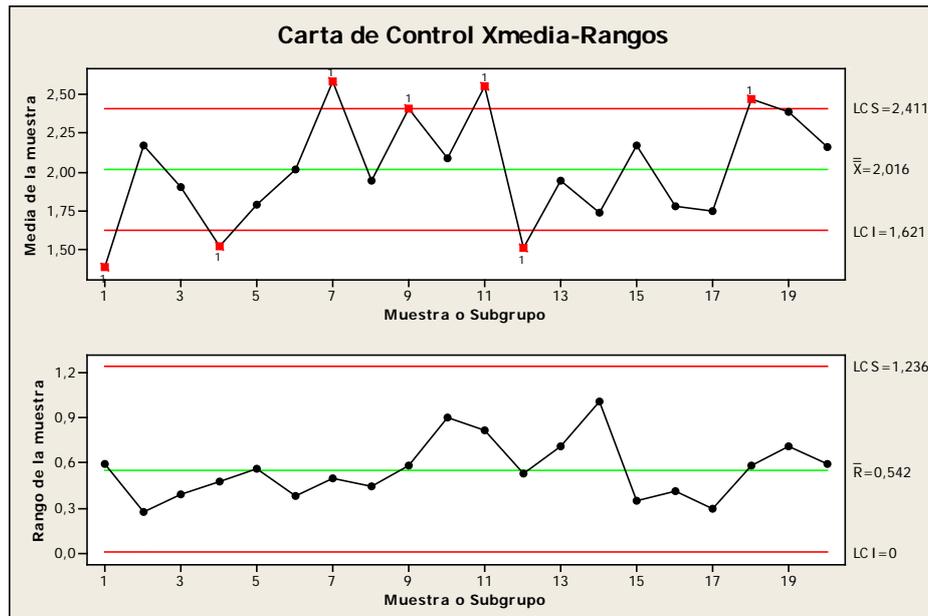
Resultados de la prueba para la gráfica Xbarra de medic1;; medic4

PRUEBA 1. Un punto más que las 3,00 desviaciones estándar desde la línea central.

La prueba falló en los puntos; 1; 4; 7; 9; 11; 12; 18



6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.



De la carta de control anterior se aprecia que el proceso es muy inestable en cuanto a la media o tendencia central y estable en cuanto a la dispersión entre valores o rango . Al aplicar el criterio de puntos fuera de los límites, vemos que de los 20 puntos 7 están fuera de los límites de control. Por lo tanto, considerando sólo los 7 puntos que están fuera, una estimación del índice de inestabilidad (s_t) podría calcularse de la siguiente manera:

$$\text{índice de inestabilidad } s_t = \frac{7}{20} \cdot 100 = 35\%$$

Este índice es demasiado grande por lo que el proceso puede considerarse muy inestable en cuanto a la tendencia central.

La variación de CP se obtiene a partir del rango medio de la carta R:

$$\sigma_{CP} = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{0,542}{2,059} = 0,263$$

De donde el factor d_2 se obtiene de la siguiente tabla que ya vimos en la fase Controlar (en éste caso con un tamaño 4 de subgrupo):

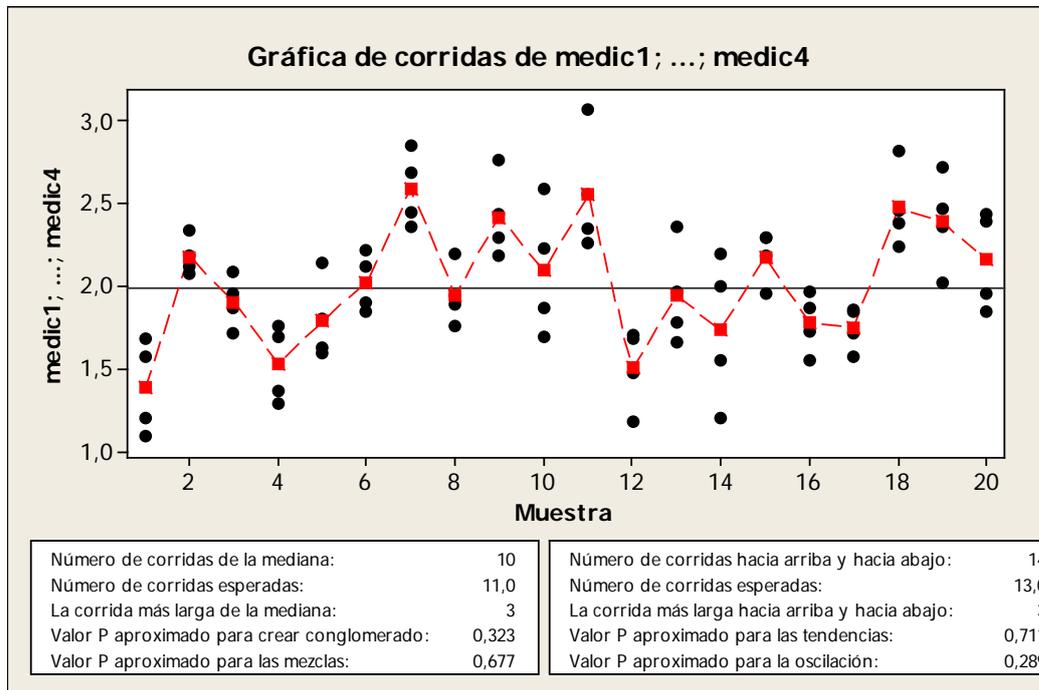
X-bar, R charts. Limits

Number of observations in subgroup (n)	Factors for \bar{X} charts		Factors for R charts	
	$\bar{\sigma} = \bar{R}/d_2$	Control Limits: $\bar{X} \pm A_2 \cdot \bar{R}$	Lower Control Limit: $D_3 \cdot \bar{R}$	Upper Control Limit: $D_4 \cdot \bar{R}$
	d_2	A_2	D_3	D_4
2	1,128	1,880	0,000	3,267
3	1,693	1,023	0,000	2,575
4	2,059	0,729	0,000	2,282
5	2,326	0,577	0,000	2,115
6	2,534	0,483	0,000	2,004
7	2,704	0,419	0,076	1,924
8	2,847	0,373	0,136	1,864
9	2,970	0,337	0,184	1,816
10	3,078	0,308	0,223	1,777
11	3,173		0,256	1,744
12	3,258		0,283	1,717
13	3,336		0,307	1,693
14	3,407		0,328	1,672
15	3,472		0,347	1,653

6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

Prueba de aleatoriedad de los datos con la Gráfica de ejecuciones para ver si existe un carácter aleatorio:

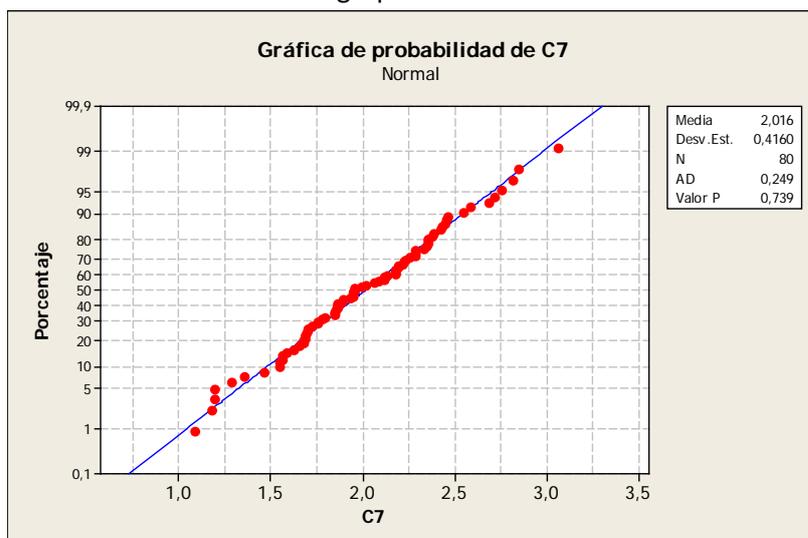
[Estadísticas>Herramientas de Calidad>Gráfica de corridas...](#)



Como todos los valores de P son $> 0,05$ acepto la hipótesis nula H_0 : El proceso es aleatorio.

Prueba estadística para ver si existe **Normalidad** con la prueba de Normalidad: Tras poner todos los datos en una sola columna y antes del estudio de capacidad se verifica estadísticamente que los datos se atienen a una distribución normal: [Estadísticas>Estadística Básica>Prueba de Normalidad...](#)

Podría también haber estudiado cada subgrupo de forma individual, sin falta de haber puesto todos los datos de los 4 subgrupos en una sola columna.

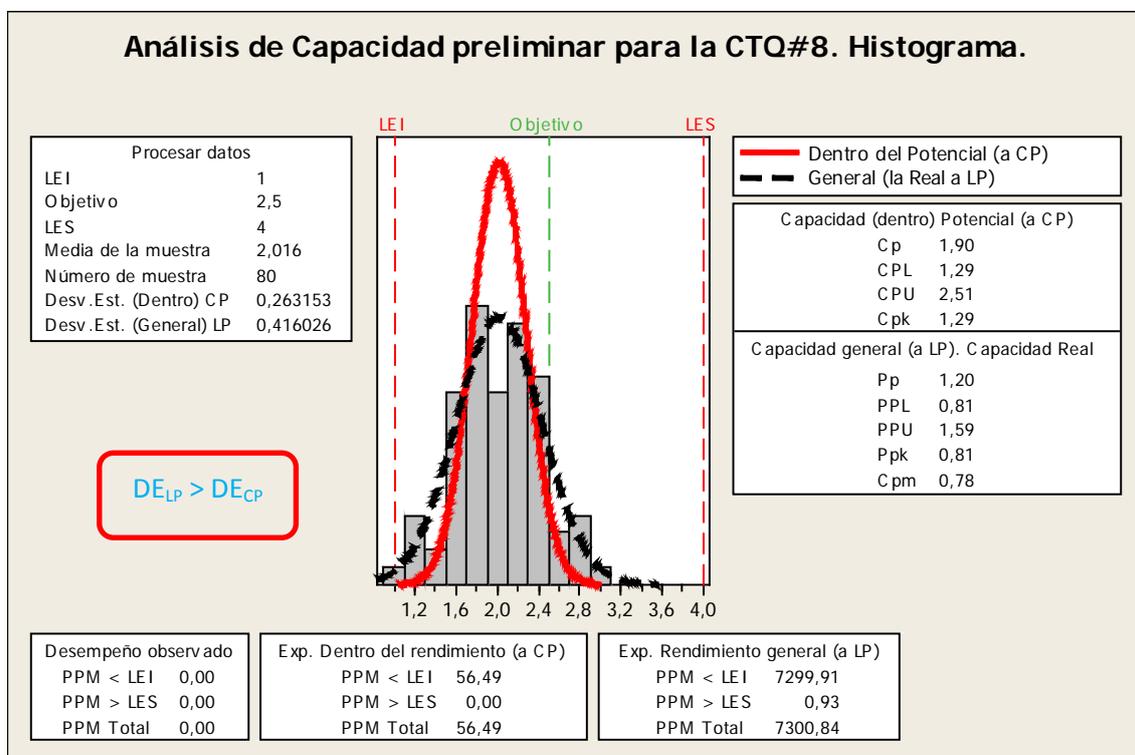
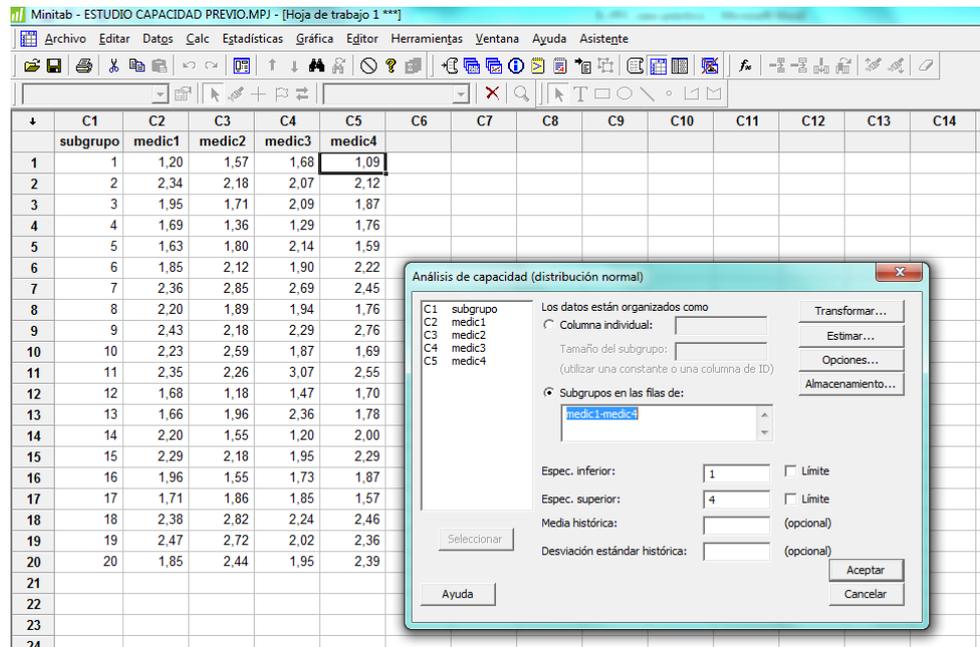


Como $P > 0,05$ acepto la hipótesis nula H_0 : el proceso es Normal.

6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

Ahora ya sí y en cuanto al estudio de la "capacidad", las especificaciones o tolerancias para la CTQ#8 (2,5 +/- 1,5) son LEI=1mm y LES=4mms. Del **histograma** de debajo se observa que los resultados están demasiado cerca del límite inferior, lo cual incrementa considerablemente la aparición de soldaduras circulares que no cumplen con las especificaciones.

Estadísticas>Herramientas de Calidad>Análisis de capacidad>Normal



6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

Meta del 6-sigma	
A C.P.:	A L.P.:
Z=6	Z=4,5
C _{pk} =2	Rdto. 99'99%
	3,4 PPM

Cálculos basados en un desplazamiento de la media de 1,5 sigma. Zvalue=Nivel sigma.

La curva de línea continua fina es la distribución potencial (con variación σ_{CP}) que se tendría si se reduce la variabilidad entre subgrupos a los niveles de variación que hay dentro de los subgrupos, que es típicamente lo que ocurre cuando el proceso se encuentra en control estadístico durante el período de muestreo. De aquí se deduce que la capacidad a corto plazo está por debajo de la meta del 6-Sigma (elijo c_{pk} en vez de c_p porque hay descentramiento):

$$c_{pk} = \frac{\text{Min}(4 - 2,016 ; 2,016 - 1)}{3 \cdot \sigma_{CP}} = \frac{1,016}{3 \cdot 0,263153} = 1,29$$

$$Z_{CP} = 3 \cdot c_{pk} = 3 \cdot 1,29 = 3,87 \text{ sigmas}$$

La variación Real (de LP) se obtiene calculando la desviación estándar del total de los datos recogidos (80 datos). $\sigma_{LP} = \text{Desv. Estandar del total de datos} = 0,416$

Este valor de variación a LP es considerablemente mayor que el de la variación a CP y es el que mediante la curva de línea discontinua me muestra la calidad que en realidad se tiene para la CTQ#8. La capacidad a LP será:

$$Z_{LP} = 3 \cdot P_{pk} = 3 \cdot 0,81 = 2,43 \text{ sigmas}$$

Esta capacidad está por debajo de la meta de 4,5 sigmas. Dado que la capacidad a LP es $P_{pk}=0,81$ ó $Z_{LP}=2,43$ sigmas se tienen entonces 7470 PPM defectuosas. Este valor es ligeramente inferior al dato de capacidad expuesto en el marco del proyecto de 8200 PPM y la diferencia se explica porque al disminuir el error de la medición (debido a mejoras en el mismo), de forma inmediata se reduce la variación observada y con ello se percibe la ligera mejoría, concretamente midiendo el rendimiento del proceso y/o su capacidad.

Con el histograma queda claro que una razón importante del nivel tan alto de PPM que se tiene es el descentrado del proceso. Aún con la variación actual si se centrara el proceso sobre el objetivo o valor nominal de 2,5 la capacidad se incrementaría hasta niveles de $C_p=C_{pk}=1,90$, lo cual estaría muy cerca de nuestra meta de $c_{pk}=2$.

Tener un proceso con tan pobre estabilidad nos obliga, además de tener que centrar el proceso, a buscar la razón de su escaso control. En resumen, la situación inicial del proceso es muy inestable e incapaz, por lo que deberemos mejorar su situación.

6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

En ésta fase#2 de MEDIR hemos llevado a cabo los siguientes aspectos:

- hemos revisado los métodos actuales de medición con la galga de pico de loro y las galgas de espesores junto con una regla, los cuales no tenían la exactitud requerida por el GageR&R (a ser posible menos del 10%).
- Hemos enumerado las limitaciones y hemos identificado las áreas de mejora mediante lluvia de ideas. No fue posible un GageR&R ya que la exactitud no era medible.
- Se desarrollaron prototipos en base a la CTQ#8. El diseño del nuevo equipo de medición ha de cumplir con todas las metas, incluida la del GageR&R.
- Se ensaya el nuevo equipo y el método de uso en cada una de las plantas
- Se efectua una GageR&R para confirmar las metas. El GageR&R con el nuevo equipo de medición para mi CTQ#8 ha de ser $\leq 10\%$ (la resolución necesaria), o menor del 30% si se toman las debidas precauciones.
- Históricamente el pañeado se medía antes de soldar y no después.
- La herramienta de nuevo diseño es capaz de medir salvando el sobreespesor de soldadura ("Weld Crown"). Herramientas empleadas: Estadística Básica y muestreo.
- Hemos hecho la declaración de los objetivos:
 - @ GageR&R < 30%
 - @ Estandarizar tanto la herramienta como el método de medición.
- Fuentes de variación: Antes se asumía que los planos eran paralelos cuando en realidad no lo son. La nueva herramienta ha de tener esto mismo en cuenta.

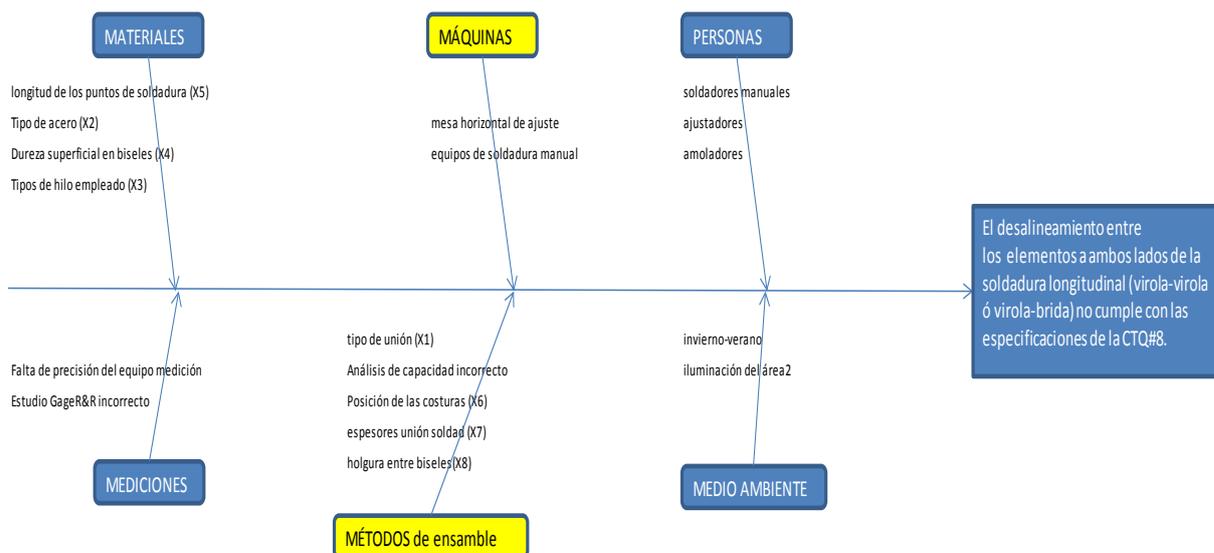
3.- Etapa#3. ANALIZAR.

En ésta etapa se identifican las X's potenciales (variables o causas posibles de un problema en un proceso) que están influyendo en los problemas de mi CTQ#8, ya que a partir de esto es posible identificar las pocas X's vitales. Partiendo de los estudios de la fase anterior, las causas potenciales se generaron mediante lluvia de ideas y se organizaron en un diagrama de causa-efecto, donde se exponen los factores que podrían estar influyendo en la CTQ#8.

En base a los graves problemas de control representados en la carta de control $\bar{X} - R$ el equipo se inclina principalmente por atribuirle el problema al material y a los métodos de ensamble de las virolas entre sí.

Una de las hipótesis es que el exceso de variabilidad en los valores de la CTQ#8 es por la aplicación de las mismas instrucciones de trabajo a los diferentes tipos de configuración de virolas. Entonces el equipo plantea que si se disgregaran las poblaciones que son diferentes entre sí, será posible desarrollar métodos adecuados para cada población que den por resultado valores cercanos al nominal de la CTQ#8.

6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.



A partir del diagrama de causa-efecto para la desviación de la CTQ#8 y del conocimiento del proceso, se consideran las siguientes X's potenciales que merecerá la pena investigar más a fondo: (nivel-1 fácil o malo, nivel+1 difícil o bueno)

X1: tipo de unión. Virola-virola(chapa con chapa) ó virola-brida (chapa con brida).

X2: tipo de acero. Chapa de S355J2+N junto con brida de S355N ó tanto chapa como brida de calidad S355NL.

X3: tipo de hilo empleado para soldar. Hilo tipo A o hilo tipo B.

X4: dureza superficial en los biseles. Menos de 320HV o menos de 250HV.

X5: Longitud de los puntos de soldadura para fijación de la junta. 30 ó 60mms.

X6: posición de las costuras o puntos de soldadura manuales. Por fuera o por dentro.

X7: Espesores de la unión soldada. Mismo espesor nominal o espesor distinto a ambos lados de la Soldadura Circular. Evaluar compatibilidad perimetral ya que teóricamente deberíamos tener el mismo perímetro exterior a ambos lados de la soldadura (diferencias admisibles si son inferiores a 30 ó a 15mms respectivamente).

X8: Holgura entre los dos biseles enfrentados. De 1'5-3mms o de 0-1'5mms.

Se puede ver que para cada X se definieron dos niveles de la misma (un nivel bajo y otro nivel alto), que corresponden a los valores alternativos que se pueden tomar y que serán usados para probar cuál de éstas X's son realmente vitales.

Las primeras tres X's pueden dar lugar a diferentes poblaciones de soldaduras circulares, en el sentido que independientemente de la influencia que tengan sobre la CTQ#8 por diseño del cliente se deben de ensamblar estructuras en cualquier combinación de niveles de estos 3 factores. Por éste motivo la solución ideal sería que existiera y se encontrara una combinación de los niveles de los cinco factores X4 a X8 en la cual el desempeño de la CTQ#8 fuera adecuado para cualquier combinación de los primeros tres factores.

6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

En éste tipo de problemas de fabricación en el que hay varias X's potenciales y es necesario identificar las pocas X's que son vitales, la técnica por excelencia es la del **Diseño de Experimentos (DoE)**. Concretamente emplearemos el **Diseño Factorial**, metodología que permite estudiar el efecto individual y de interacción de dos o más factores (X) sobre una o más variables de respuesta (Y). Para ello, cada factor a investigar debe de tener por lo menos 2 niveles, y entonces el diseño factorial consiste en ejecutar en el proceso todas las combinaciones posibles que pueden formarse con los distintos niveles de los factores.

Por ejemplo, si se tienen 2 factores con 2 niveles cada uno, entonces el total de pruebas o combinaciones de niveles serían cuatro $[(\text{niveles})^{\text{factores}}=2^2=4]$, tal y como se muestra en la siguiente tabla:

Niveles Factor X1	Niveles Factor X2	Respuesta Y
Bajo	Bajo	
Alto	Bajo	
Bajo	Alto	
Alto	Alto	

El DoE consistiría en ejecutar estas cuatro condiciones de prueba en orden aleatorio, cierta cantidad de veces (réplicas), y en cada prueba se debe de registrar cuál es el valor obtenido para la variable de respuesta Y.

En nuestro caso concreto, como en principio queremos investigar 8 factores X, el total de combinaciones considerando 2 niveles en cada factor sería de $2^8=256$, cantidad algo excesiva o poco práctica de pruebas. Lo que se suele hacer en éste tipo de casos es:

- O bien ejecutar el diseño factorial 2^8 de manera fraccionada, para investigar de manera simultánea el efecto individual de los 8 factores y sus interacciones.
- O bien investigar por separado alguno de los factores.

En mi caso concreto procedo a investigar los 2 primeros factores por separado considerando que cada combinación de éstos dos factores es una población de soldaduras circulares, que forzosamente debe de seguir fabricándose (dado por el diseño del cliente). Dicho esto no tiene sentido elegir en ellos un nivel óptimo.

Realizo varios **experimentos comparativos simples** con los factores X_1 y X_2 de forma individual y **encuentro diferencias significativas entre el tipo de unión X_1** , por lo que sus condiciones de fabricación óptimas las estudiaré por separado. En cambio **en cuanto al tipo de material X_2 no encontré diferencias significativas en la CTQ#8** para uno u otro material. Resaltar que éste análisis individual es válido si los factores no interactúan entre sí ni con los otros 6 factores restantes.

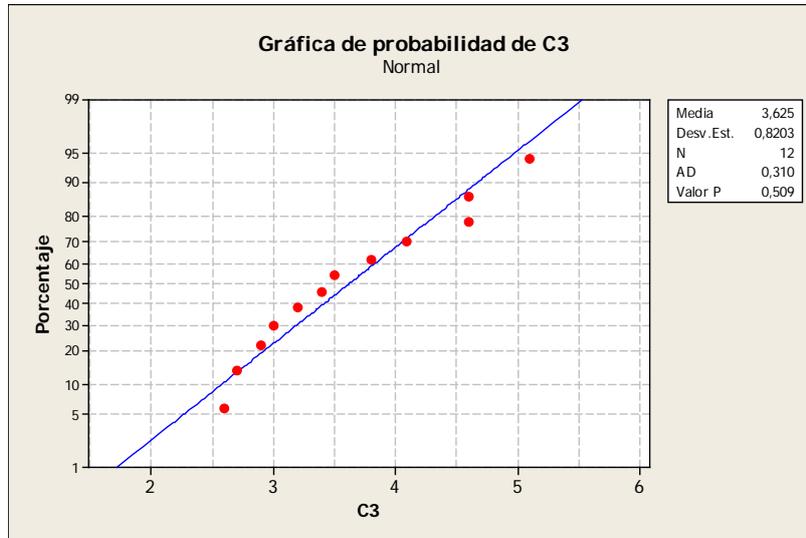
Los experimentos comparativos simples son experimentos para comparar 2 condiciones, 2 tratamientos o 2 niveles de un mismo factor de interés (como es éste mi caso). Se trata de analizar las diferencias potenciales entre las medias (2 sample t-test, paired t-test,...), realizar pruebas de hipótesis, prueba de las 2 varianzas,.....etc.

6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

A modo de ejemplo evaluemos mediante experimentos comparativos simples X2:

A) Prueba de Normalidad: poniendo todos los datos en una misma columna:

[Estadísticas>Estadística Básica>Prueba de Normalidad](#)



Como $P > 0,05$ acepto H_0 : el proceso es normal.

B) Prueba de homogeneidad de la varianza (HOV):

[Estadística>Estadística Básica>Dos varianzas...](#)

Prueba e IC para dos varianzas: X2 Material A; X2 Material B

Método

Hipótesis nula $\text{Sigma}(\text{X2 Material A}) / \text{Sigma}(\text{X2 Material B}) = 1$

Hipótesis alterna $\text{Sigma}(\text{X2 Material A}) / \text{Sigma}(\text{X2 Material B}) \text{ not} = 1$

Nivel de significancia $\text{Alfa} = 0,05$

Estadísticas

Variable	N	Desv.Est.	Varianza
X2 Material A	6	0,760	0,578
X2 Material B	6	0,821	0,675

Relación de desviaciones estándar = 0,925

Relación de varianzas = 0,856

Intervalos de confianza de 95%

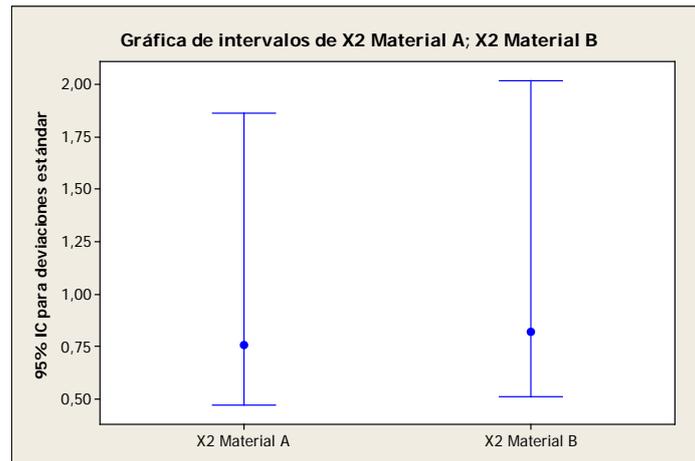
Distribución de los datos	IC para relación de Desv.Est.	IC para relación de varianza
Normal	(0,346; 2,474)	(0,120; 6,119)
Continuo	(0,112; 2,255)	(0,013; 5,084)

Pruebas

Método	GL1	GL2	Estadística de prueba	Valor P
Prueba F (normal)	5	5	0,86	0,869
Prueba de Levene (cualquiera continua)	1	10	0,19	0,674

Como $P > 0,05$ acepto H_0 : No hay diferencias en las varianzas

6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.



Estadísticas>Estadística Básica>t de 2 muestras... seleccionando varianzas iguales

24/11/2014 14:26:14

Prueba T e Intervalo Confianza de dos muestras: X2MaterialA; X2MaterialB

T de dos muestras para Material A vs. Material B

	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Material A	6	3,317	0,760	0,31
Material B	6	3,933	0,821	0,34

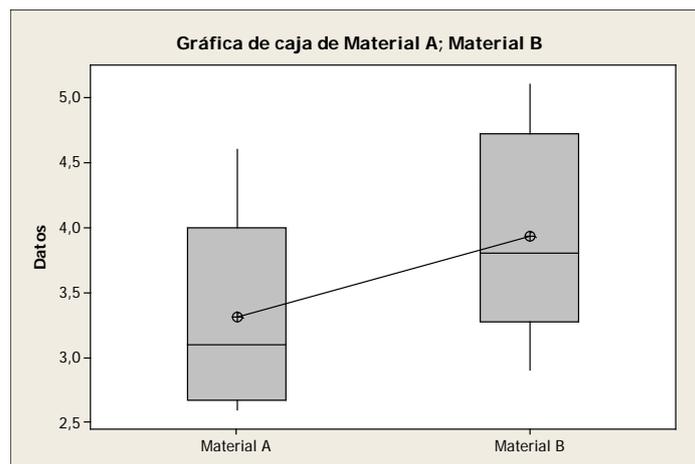
Diferencia = μ (Material A) - μ (Material B)

Estimado de la diferencia: -0,617

IC de 95% para la diferencia: (-1,635; 0,401)

Prueba T de diferencia= 0 (vs.no=): Valor T=-1,35 Valor P=0,207 GL=10

Ambos utilizan Desv.Est. agrupada = 0,7913



Como $P=0,207 > 0,05$ acepto H_0 : las medias de las 2 poblaciones son prácticamente iguales.

6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

Con los otros 6 factores opto por ejecutar un experimento factorial fraccionado $2^{6-1} = 2^5$ con los niveles de prueba dados anteriormente. Este diseño consiste en un total de 32 pruebas que codifico con un -1 para el primer nivel o nivel bajo y un +1 para su nivel más alto. Se soldó una soldadura circular para cada una de éstas condiciones y luego se midió la CTQ#8 correspondiente, obteniéndose la siguiente tabla:

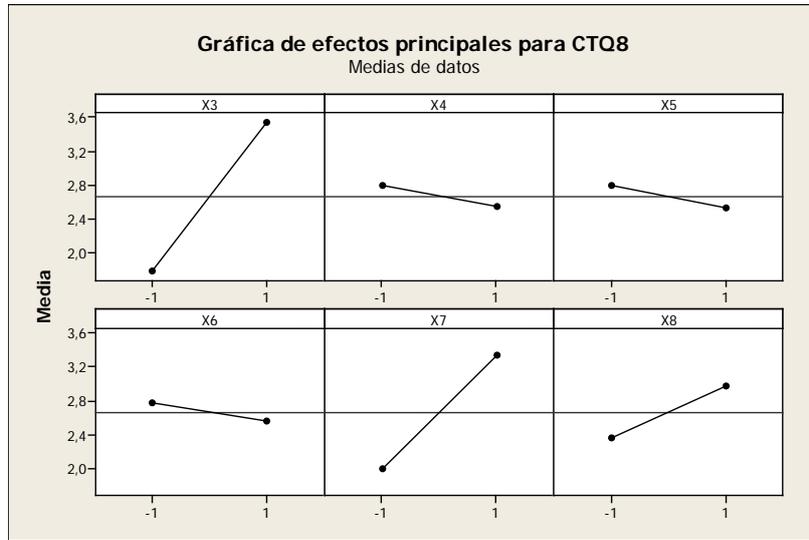
Diseño Experimental 2^{6-1} y valores de la CTQ#8

	Tipo de hilo de soldar X3	Dureza superficial de los biseles X4	Longitud de los puntos de sold X5	Posición de los puntos sold o costuras X6	Espesores de la unión sold X7	Holgura entre biseles enfrentados X8	CTQ#8
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0,82
2	1	-1	-1	-1	-1	1	3,89
3	-1	1	-1	-1	-1	1	1,69
4	1	1	-1	-1	-1	-1	2,66
5	-1	-1	1	-1	-1	1	1,39
6	1	-1	1	-1	-1	-1	2,91
7	-1	1	1	-1	-1	-1	0,57
8	1	1	1	-1	-1	1	3,00
9	-1	-1	-1	1	-1	1	1,38
10	1	-1	-1	1	-1	-1	2,76
11	-1	1	-1	1	-1	-1	1,02
12	1	1	-1	1	-1	1	3,52
13	-1	-1	1	1	-1	-1	0,41
14	1	-1	1	1	-1	1	2,76
15	-1	1	1	1	-1	1	0,94
16	1	1	1	1	-1	-1	2,19
17	-1	-1	-1	-1	1	1	2,72
18	1	-1	-1	-1	1	-1	3,87
19	-1	1	-1	-1	1	-1	2,66
20	1	1	-1	-1	1	1	4,59
21	-1	-1	1	-1	1	-1	2,03
22	1	-1	1	-1	1	1	4,37
23	-1	1	1	-1	1	1	3,07
24	1	1	1	-1	1	-1	4,20
25	-1	-1	-1	1	1	-1	2,78
26	1	-1	-1	1	1	1	4,27
27	-1	1	-1	1	1	1	3,10
28	1	1	-1	1	1	-1	3,13
29	-1	-1	1	1	1	1	3,28
30	1	-1	1	1	1	-1	5,00
31	-1	1	1	1	1	-1	0,70
32	1	1	1	1	1	1	3,68

6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

Procedo a analizar los resultados en Minitab:

Asistente>Análisis Gráfico>Graficar Relaciones entre variables ó ---Gráfica de efectos principales



En la gráfica anterior se aprecia que son los factores X₃, X₇ y X₈ los que inducen una mayor variación sobre la media.

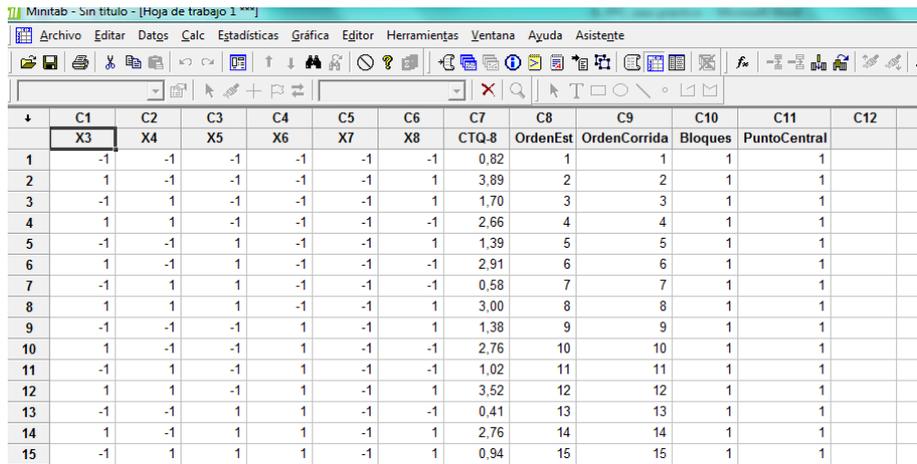
Procedo ahora en Minitab a desarrollar el **DoE ó Diseño Factorial**. En mi caso, como ya he ejecutado las pruebas para las distintas combinaciones y dispongo de las respuestas Y para cada una de ellas, optaré por la ruta siguiente en Minitab:

Estadísticas>DOE>Factorial>Definir diseño factorial personalizado...

Factor	Nombre	Tipo	Bajo	Alto
A	X3	Númerico	-1	1
B	X4	Númerico	-1	1
C	X5	Númerico	-1	1
D	X6	Númerico	-1	1
E	X7	Númerico	-1	1

6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

Obteniéndose lo siguiente:

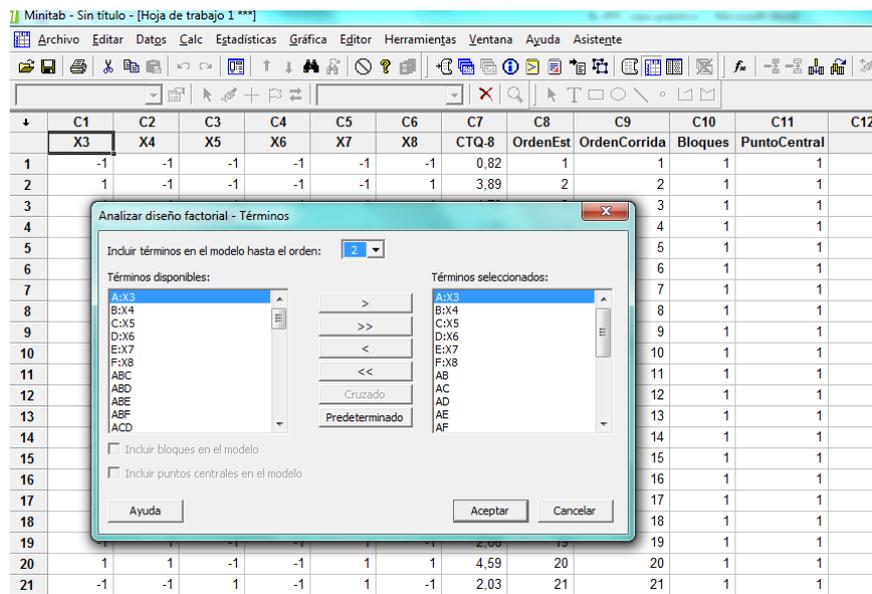


	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
	X3	X4	X5	X6	X7	X8	CTQ-8	OrdenEst	OrdenCorrida	Bloques	PuntoCentral	
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0,82	1	1	1	1	
2	1	-1	-1	-1	-1	-1	3,89	2	2	1	1	
3	-1	1	-1	-1	-1	-1	1,70	3	3	1	1	
4	1	1	-1	-1	-1	-1	2,66	4	4	1	1	
5	-1	-1	1	-1	-1	-1	1,39	5	5	1	1	
6	1	-1	1	-1	-1	-1	2,91	6	6	1	1	
7	-1	1	1	-1	-1	-1	0,58	7	7	1	1	
8	1	1	1	-1	-1	-1	3,00	8	8	1	1	
9	-1	-1	-1	1	-1	-1	1,38	9	9	1	1	
10	1	-1	-1	1	-1	-1	2,76	10	10	1	1	
11	-1	1	-1	1	-1	-1	1,02	11	11	1	1	
12	1	1	-1	1	-1	-1	3,52	12	12	1	1	
13	-1	-1	1	1	-1	-1	0,41	13	13	1	1	
14	1	-1	1	1	-1	-1	2,76	14	14	1	1	
15	-1	1	1	1	-1	-1	0,94	15	15	1	1	

Estadísticas>DOE>Factorial>Analizar Diseño Factorial...

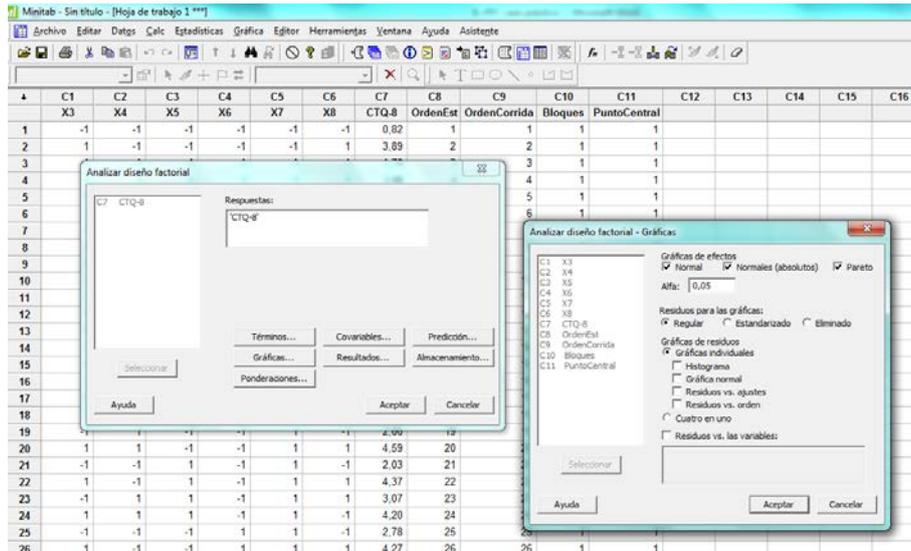
Selecciono la columna donde están mis “Respuestas:”

- Pincho en el botón de “**Términos...**” y en “Incluir términos en el modelo hasta el orden:” selecciono 2.
- pincho en el botón de “**Gráficas...**”



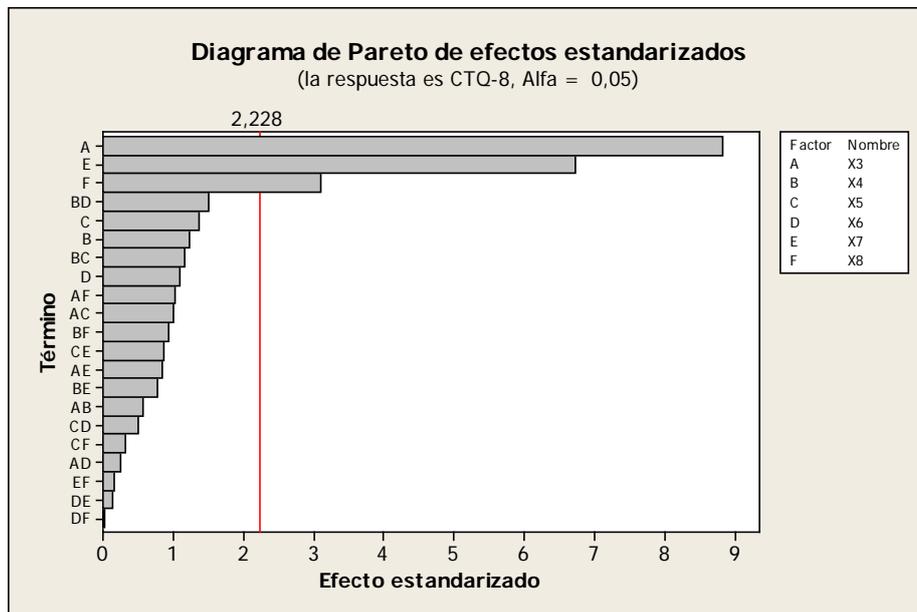
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
	X3	X4	X5	X6	X7	X8	CTQ-8	OrdenEst	OrdenCorrida	Bloques	PuntoCentral	
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0,82	1	1	1	1	1
2	1	-1	-1	-1	-1	-1	3,89	2	2	1	1	1
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20	1	1	-1	-1	1	1	4,59	20	20	1	1	1
21	-1	-1	1	-1	1	-1	2,03	21	21	1	1	1

6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

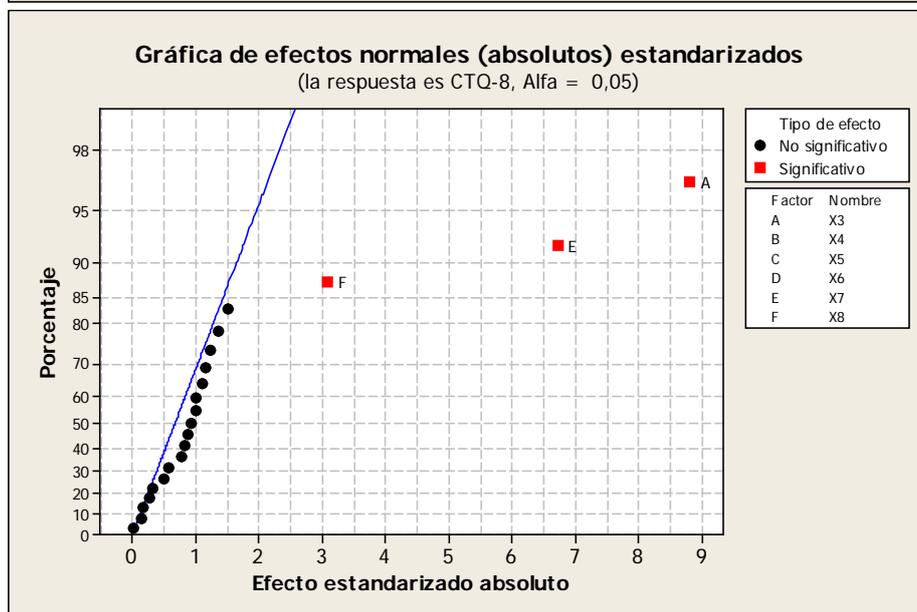
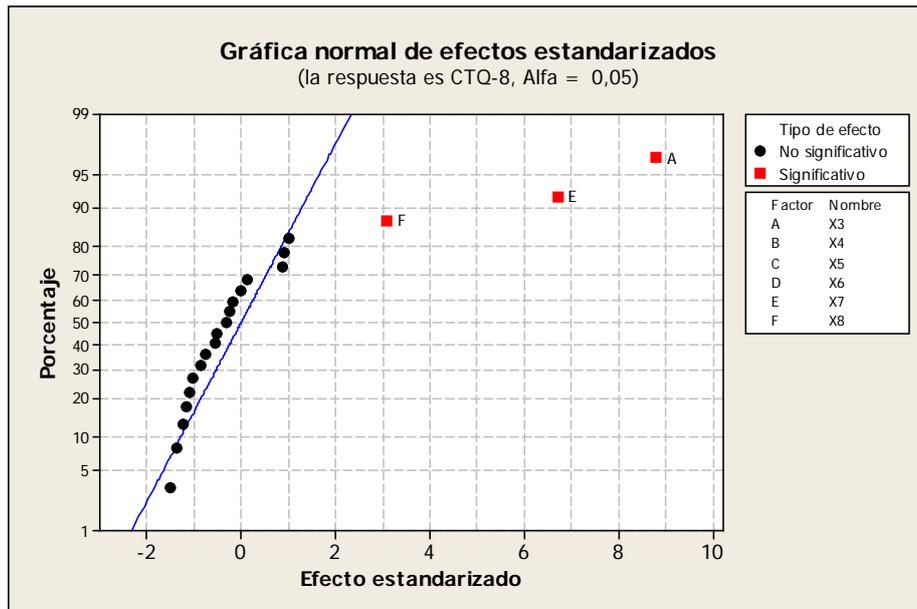


Selecciono las 3 gráficas disponibles: Normal, Normales(absolutos) y Pareto.

En el diagrama de Pareto de los efectos principales e interacciones dobles sobre la CTQ#8, es donde se observa claramente una separación de 3 efectos activos: los efectos individuales (principales) X3, X7 y X8.



6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.



6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

25/11/2014 11:26:13

Ajuste factorial: CTQ-8 vs. X3; X4; X5; X6; X7; X8

Efectos y coeficientes estimados para CTQ-8 (unidades codificadas)

Término	Efecto	Coef	SE Coef	T	P
Constante		2,6693	0,1001	26,67	0,000
X3	1,7638	0,8819	0,1001	8,81	0,000
X4	-0,2449	-0,1224	0,1001	-1,22	0,249
X5	-0,2728	-0,1364	0,1001	-1,36	0,203
X6	-0,2211	-0,1106	0,1001	-1,10	0,295
X7	1,3454	0,6727	0,1001	6,72	0,000
X8	0,6191	0,3096	0,1001	3,09	0,011
X3*X4	-0,1125	-0,0562	0,1001	-0,56	0,586
X3*X5	0,1999	0,0999	0,1001	1,00	0,342
X3*X6	-0,0518	-0,0259	0,1001	-0,26	0,801
X3*X7	-0,1680	-0,0840	0,1001	-0,84	0,421
X3*X8	-0,2030	-0,1015	0,1001	-1,01	0,334
X4*X5	-0,2308	-0,1154	0,1001	-1,15	0,276
X4*X6	-0,3009	-0,1504	0,1001	-1,50	0,164
X4*X7	-0,1534	-0,0767	0,1001	-0,77	0,461
X4*X8	0,1859	0,0929	0,1001	0,93	0,375
X5*X6	-0,1012	-0,0506	0,1001	-0,51	0,624
X5*X7	0,1747	0,0874	0,1001	0,87	0,403
X5*X8	-0,0620	-0,0310	0,1001	-0,31	0,763
X6*X7	0,0269	0,0134	0,1001	0,13	0,896
X6*X8	-0,0036	-0,0018	0,1001	-0,02	0,986
X7*X8	-0,0339	-0,0169	0,1001	-0,17	0,869

S = 0,566093

PRESS = 32,8153

R-cuad. = 93,60%

R-cuad.(pred.) = 34,49%

R-cuad.(ajustado) = 80,17%

Análisis de varianza para CTQ-8 (unidades codificadas)

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F
Efectos principales	6	43,8993	43,8993	7,3166	22,83
X3	1	24,8865	24,8865	24,8865	77,66
X4	1	0,4797	0,4797	0,4797	1,50
X5	1	0,5951	0,5951	0,5951	1,86
X6	1	0,3912	0,3912	0,3912	1,22
X7	1	14,4803	14,4803	14,4803	45,19
X8	1	3,0665	3,0665	3,0665	9,57
2-Interacciones de (No.) factores	15	2,9846	2,9846	0,1990	0,62
X3*X4	1	0,1012	0,1012	0,1012	0,32
X3*X5	1	0,3196	0,3196	0,3196	1,00
X3*X6	1	0,0214	0,0214	0,0214	0,07
X3*X7	1	0,2258	0,2258	0,2258	0,70
X3*X8	1	0,3297	0,3297	0,3297	1,03
X4*X5	1	0,4260	0,4260	0,4260	1,33
X4*X6	1	0,7242	0,7242	0,7242	2,26
X4*X7	1	0,1882	0,1882	0,1882	0,59
X4*X8	1	0,2764	0,2764	0,2764	0,86
X5*X6	1	0,0820	0,0820	0,0820	0,26
X5*X7	1	0,2443	0,2443	0,2443	0,76
X5*X8	1	0,0308	0,0308	0,0308	0,10
X6*X7	1	0,0058	0,0058	0,0058	0,02
X6*X8	1	0,0001	0,0001	0,0001	0,00
X7*X8	1	0,0092	0,0092	0,0092	0,03
Error residual	10	3,2046	3,2046	0,3205	
Total	31	50,0886			

6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

Fuente	P
Efectos principales	0,000
X3	0,000
X4	0,249
X5	0,203
X6	0,295
X7	0,000
X8	0,011
2-Interacciones de (No.) factores	0,804
X3*X4	0,586
X3*X5	0,342
X3*X6	0,801
X3*X7	0,421
X3*X8	0,334
X4*X5	0,276
X4*X6	0,164
X4*X7	0,461
X4*X8	0,375
X5*X6	0,624
X5*X7	0,403
X5*X8	0,763
X6*X7	0,896
X6*X8	0,986
X7*X8	0,869
Error residual	
Total	

Observaciones inusuales de CTQ-8

Obs	Orden	Est.	CTQ-8	Ajuste	EE de ajuste	Residuo	Residuo estándar
2	2		3,89400	3,18662	0,46938	0,70738	2,24R
31	31		0,70300	1,41038	0,46938	-0,70738	-2,24R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Gráfica de los efectos para CTQ-8

Pareto de los efectos para CTQ-8

Gráfica de efectos normales (absolutos) para CTQ-8

Estructura de alias

I + X3*X4*X5*X6*X7*X8
X3 + X4*X5*X6*X7*X8
X4 + X3*X5*X6*X7*X8
X5 + X3*X4*X6*X7*X8
X6 + X3*X4*X5*X7*X8
X7 + X3*X4*X5*X6*X8
X8 + X3*X4*X5*X6*X7
X3*X4 + X5*X6*X7*X8
X3*X5 + X4*X6*X7*X8
X3*X6 + X4*X5*X7*X8
X3*X7 + X4*X5*X6*X8
X3*X8 + X4*X5*X6*X7
X4*X5 + X3*X6*X7*X8
X4*X6 + X3*X5*X7*X8
X4*X7 + X3*X5*X6*X8
X4*X8 + X3*X5*X6*X7
X5*X6 + X3*X4*X7*X8
X5*X7 + X3*X4*X6*X8
X5*X8 + X3*X4*X6*X7
X6*X7 + X3*X4*X5*X8
X6*X8 + X3*X4*X5*X7
X7*X8 + X3*X4*X5*X6

6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

Realizando un análisis ANOVA de la varianza para la CTQ#8 se confirma la significancia de estos tres efectos sobre ella.

Estadísticas>ANOVA>ANOVA balanceado...

X3*X6 + X4*X5*X7*X8
X3*X7 + X4*X5*X6*X8
X3*X8 + X4*X5*X6*X7
X4*X5 + X3*X6*X7*X8
X4*X6 + X3*X5*X7*X8
X4*X7 + X3*X5*X6*X8
X4*X8 + X3*X5*X6*X7
X5*X6 + X3*X4*X7*X8
X5*X7 + X3*X4*X6*X8
X5*X8 + X3*X4*X6*X7
X6*X7 + X3*X4*X5*X8
X6*X8 + X3*X4*X5*X7
X7*X8 + X3*X4*X5*X6

ANOVA: CTQ-8 vs. X3; X7; X8

Factor	Tipo	Niveles	Valores
X3	aleatorio	2	-1; 1
X7	aleatorio	2	-1; 1
X8	aleatorio	2	-1; 1

Análisis de varianza de CTQ-8

Fuente	GL	SC	CM	F	P
X3	1	24,887	24,887	91,03	0,000
X7	1	14,480	14,480	52,96	0,000
X8	1	3,067	3,067	11,22	0,002
Error	28	7,655	0,273		
Total	31	50,089			

S = 0,522879 R-cuad. = 84,72% R-cuad. (ajustado) = 83,08%

Donde: “Fuente”: Fuentes de variación. “GL”: grados de libertad. “SC”: suma de cuadrados. “CM”: cuadrados medios. “F”: Estadístico F_0 . “P”: significancia o valor-p.

En “Modelo” coloco a los 3 factores independientes uno detrás del otro ya que no son ni anidados [B(A)] ni cruzados [A B A*B].

De acuerdo con el estadístico R^2 ajustado, estos tres términos explican el 83,08% de la variación presente en los datos. Verifico el cumplimiento de los supuestos de normalidad, independencia y varianza constante que se piden para validar el modelo ANOVA.

6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

La ecuación de regresión o de transferencia para la variable CTQ#8 asociada a la tabla de la página 38 con los datos del diseño experimental $2^{(6-1)}$ es:

Estadísticas>Regresión>Regresión

Análisis de regresión: CTQ-8 vs. X3; X7; X8
La ecuación de regresión es
 $CTQ-8 = 2,67 + 0,882 X3 + 0,673 X7 + 0,310 X8$

Predicador	Coef	SE Coef	T	P
Constante	2,66931	0,09243	28,88	0,000
X3	0,88107	0,09243	9,54	0,000
X7	0,67269	0,09243	7,28	0,000
X8	0,30956	0,09243	3,35	0,002

S = 0,522879 R-cuad. = 84,7% R-cuad. (ajustado) = 83,1%

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Regresión	3	42,433	14,144	51,73	0,000
Error residual	28	7,655	0,273		
Total	31	50,089			

Fuente	GL	SC	Sec.
X3	1	24,887	
X7	1	14,480	
X8	1	3,067	

Observaciones poco comunes

Obs	X3	CTQ-8	Ajuste	ajuste	Residuo	Residuo estandar
30	1,00	5,0960	3,9143	0,1849	1,0917	2,23R
31	-1,00	0,7030	2,1506	0,1049	-1,4476	-2,96R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

$$CTQ\#8 = 2.67 + 0,882.X_3 + 0,673.X_7 + 0,310.X_8$$

Con ésta ecuación es posible predecir el valor de la CTQ#8 en cada combinación de los tres factores, denotando los niveles bajo y alto de cada factor con -1 y +1 respectivamente.

Con excepción del X_8 (Holgura entre los dos biseles enfrentados que podría ser de entre 1'5-3mms o de entre 0-1'5mms), no tiene sentido predecir en valores intermedios, dado que X_3 y X_7 toman valores discretos (una u otra de las dos opciones posibles).

En resumen, se encontraron 4 causas vitales, X_1 durante el primer experimento y X_3 , X_7 y X_8 en éste segundo. Por lo tanto, para encontrar condiciones óptimas de ensamblaje, es necesario considerar:

X1: tipo de unión. Virola-virola(chapa con chapa) ó virola-brida (chapa con brida).

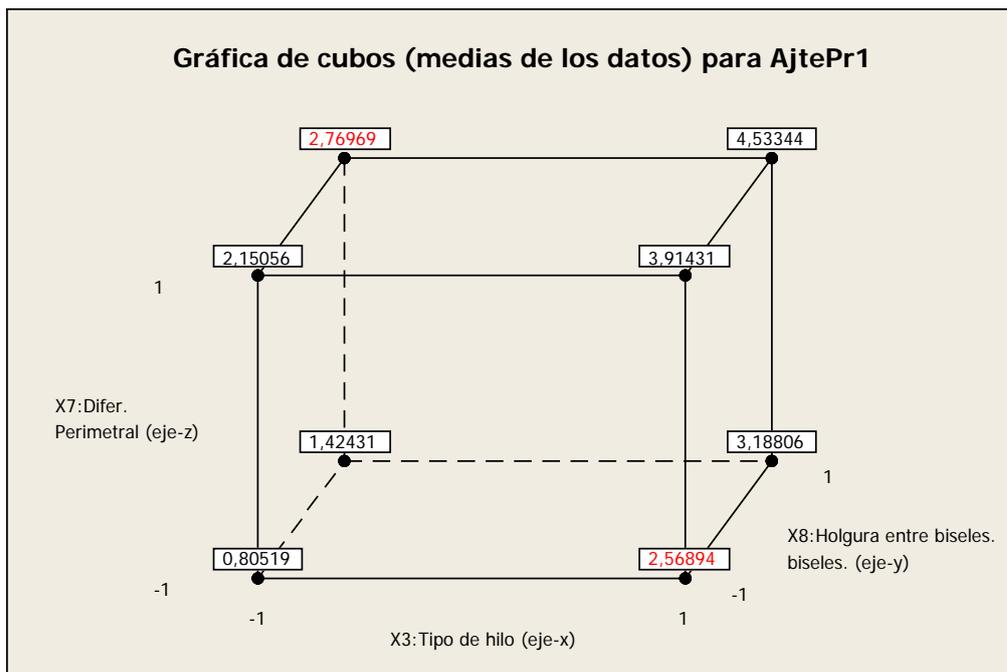
X3: tipo de hilo empleado para soldar. Hilo tipo A o hilo tipo B.

X7: Espesores de la unión soldada. Mismo espesor nominal o espesor distinto a ambos lados de la Soldadura Circular. Evaluar compatibilidad perimetral ya que teóricamente deberíamos tener el mismo perímetro exterior a ambos lados de la soldadura (diferencias admisibles si son inferiores a 30 ó a 15mms respectivamente).

X8: Holgura entre los dos biseles enfrentados. De 1'5-3mms o de 0-1'5mms.

6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

4.- Etapa#4. MEJORAR. El objetivo de ésta etapa es proponer e implementar soluciones que atiendan a la causa raíz (las X's vitales), es decir, asegurarse de corregir o minimizar el problema. En nuestro caso hay que encontrar las condiciones apropiadas de operación del proceso en función de los 3 factores significativos mostrados en el diagrama de Pareto de la página#41. Para ello se elaboró la gráfica de cubo siguiente, donde se observa el valor predicho de la CTQ#8 en cada combinación de los 3 factores significativos en el experimento (X_3 , X_7 y X_8). De ésta manera se deben de buscar las condiciones (vértices) que predicen valores cercanos al nominal de 2,5mms.



Gráfica de cubo (predicción de la CTQ#8 en cada combinación de los tres factores X_3, X_7 y X_8).

Para ver los factores y la combinación de configuraciones utilizadas en su diseño.

Está claro que 2,569 es el valor predicho más cercano a los 2,5mms, y esto se da en la combinación ($X_3=1$, $X_7=-1$ y $X_8=-1$), que en unidades originales corresponde a hiloB de soldar, diferencia perimetral menor de 30mms y holgura entre biseles de 1,5-3mms. Esta sería una de las soluciones propuestas.

Como el factor X_3 (tipo de hilo A ó B) no se puede prefijar/controlar siempre a uno de éstos dos valores discretos posibles, ya que hay torres que se producen con un tipo de hilo y hay otras que se producen con el otro, y si localizamos en el gráfico de cubo los valores más próximos a nuestro objetivo de 2,5 mms tanto para el hilo tipoA como para el hilo tipoB obtendremos las mejores condiciones de operación del proceso en función del tipo de hilo empleado.

6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

Valores esperados para mi CTQ#8 para las 2 combinaciones de los niveles correspondientes:

	Y	Dif. con el Nominal	X3	X7	X8
Punto Óptimo para el hilo tipo A	27,70mms	2,70mms	-1	+1	+1
			Hilo A	dif. Perim<15mms	holgura 0-1'5mms
Punto Óptimo para el hilo tipo B	25,69mms	0,69mms	+1	-1	-1
			Hilo B	dif. Perim<30mms	holgura 1'5-3mms

Pasos seguidos en Minitab:

[Estadísticas>DOE>Factorial>Analizar Diseño Factorial...](#)

Botón “**Términos...**”: Hasta orden1. Seleccione X₃, X₇ y X₈.

Botón “**Predicción...**”: Vuelvo a seleccionar los factores X₃, X₇ y X₈.

Selección “ajustes” en la opción “Almacenamiento”.

Botón “**Resultados...**”:

- En presentación de resultados selecciono “coeficientes y tabla de ANOVA”.
- En presentación de la tabla Alias selecciono “Interacciones predeterminadas”.
- Selección X₃, X₇ y X₈.

Botón “**Almacenamiento...**”:

- En “ajustes y residuos” selecciono “ajustes”.
- En “Información del modelo” selecciono “matriz de diseño”

[Estadísticas>DOE>Factorial>Gráficas Factoriales...](#)

- Selección “**Gráfica de Cubos**”
- Selección “Media de datos”

Botón “**Configuración**”:

- En “Respuestas(opcional)” elijo **AjtePr1**.
- Selección a los factores X₃, X₇ y X₈.

Podría haber aprovechado la continuidad de X8 a fin de buscar un valor intermedio de la holgura entre biseles de entre 0 y 3 mms hasta predecir con los otros dos factores discretos (X3 y X7) los 2,5 mms nominales de mi CTQ#8, tanto para el hilo tipoA como para el hilo tipoB de forma separada. Esto se haría con la opción de Minitab de “[Gráfica>Gráfica de Contornos...](#)” haciendo distintos cortes sobre mi gráfica de cubo anterior (iterando con distintos valores de X8) hasta lograr que los otros dos valores discretos me predigan los 2'5mms. Al tratarse de un proceso de calderería pesada en el que a lo sumo se trabaja en mms y nunca en décimas de mm se desestima éste análisis más fino.

Y: requisitos medibles

X: variables críticas a mejorar. Factores responsables de la variación de los procesos. Variables claves del proceso. Las causas raíces X que afectan a Y.

\hat{Y} : valor pronosticado para la variable aleatoria dependiente Y

6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

Ajuste factorial: CTQ-8 vs. X3; X7; X8

Efectos y coeficientes estimados para CTQ-8 (unidades codificadas)

Término	Efecto	Coef	SE Coef	T	P
Constante		2,6693	0,09243	28,88	0,000
X3	1,7638	0,8819	0,09243	9,54	0,000
X7	1,3454	0,6727	0,09243	7,28	0,000
X8	0,6191	0,3096	0,09243	3,35	0,002

S = 0,522879 PRESS = 9,99871
R-cuad. = 84,72% R-cuad.(pred.) = 80,04% R-cuad.(ajustado) = 83,08%

Análisis de varianza para CTQ-8 (unidades codificadas)

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
Efectos principales	3	42,4333	42,4333	14,1444	51,73	0,000
X3	1	24,8865	24,8865	24,8865	91,03	0,000
X7	1	14,4803	14,4803	14,4803	52,96	0,000
X8	1	3,0665	3,0665	3,0665	11,22	0,002
Error residual	28	7,6553	7,6553	0,2734		
Falta de ajuste	4	0,9242	0,9242	0,2310	0,82	0,523
Error puro	24	6,7311	6,7311	0,2805		
Total	31	50,0886				

Medias de cuadrado mínimo para CTQ-8

	Media	Error estándar de la media
X3		
-1	1,787	0,1307
1	3,551	0,1307
X7		
-1	1,997	0,1307
1	3,342	0,1307
X8		
-1	2,360	0,1307
1	2,979	0,1307

Respuesta pronosticada para los nuevos puntos del diseño utilizando el modelo para CTQ-8

Punto	Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
1	0,80519	0,18487	(0,42651; 1,18387)	(-0,33085; 1,94123)
2	3,18806	0,18487	(2,80938; 3,56674)	(2,05202; 4,32410)
3	1,42431	0,18487	(1,04563; 1,80299)	(0,28827; 2,56035)
4	2,56894	0,18487	(2,19026; 2,94762)	(1,43290; 3,70498)
5	1,42431	0,18487	(1,04563; 1,80299)	(0,28827; 2,56035)
6	2,56894	0,18487	(2,19026; 2,94762)	(1,43290; 3,70498)
7	0,80519	0,18487	(0,42651; 1,18387)	(-0,33085; 1,94123)
8	3,18806	0,18487	(2,80938; 3,56674)	(2,05202; 4,32410)
9	1,42431	0,18487	(1,04563; 1,80299)	(0,28827; 2,56035)
10	2,56894	0,18487	(2,19026; 2,94762)	(1,43290; 3,70498)
11	0,80519	0,18487	(0,42651; 1,18387)	(-0,33085; 1,94123)
12	3,18806	0,18487	(2,80938; 3,56674)	(2,05202; 4,32410)
13	0,80519	0,18487	(0,42651; 1,18387)	(-0,33085; 1,94123)
14	3,18806	0,18487	(2,80938; 3,56674)	(2,05202; 4,32410)
15	1,42431	0,18487	(1,04563; 1,80299)	(0,28827; 2,56035)
16	2,56894	0,18487	(2,19026; 2,94762)	(1,43290; 3,70498)
17	2,76969	0,18487	(2,39101; 3,14837)	(1,63365; 3,90573)
18	3,91431	0,18487	(3,53563; 4,29299)	(2,77827; 5,05035)
19	2,15056	0,18487	(1,77188; 2,52924)	(1,01452; 3,28660)
20	4,53344	0,18487	(4,15476; 4,91212)	(3,39740; 5,66948)

6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

21	2,15056	0,18487	(1,77188; 2,52924)	(1,01452; 3,28660)
22	4,53344	0,18487	(4,15476; 4,91212)	(3,39740; 5,66948)
23	2,76969	0,18487	(2,39101; 3,14837)	(1,63365; 3,90573)
24	3,91431	0,18487	(3,53563; 4,29299)	(2,77827; 5,05035)
25	2,15056	0,18487	(1,77188; 2,52924)	(1,01452; 3,28660)
26	4,53344	0,18487	(4,15476; 4,91212)	(3,39740; 5,66948)
27	2,76969	0,18487	(2,39101; 3,14837)	(1,63365; 3,90573)
28	3,91431	0,18487	(3,53563; 4,29299)	(2,77827; 5,05035)
29	2,76969	0,18487	(2,39101; 3,14837)	(1,63365; 3,90573)
30	3,91431	0,18487	(3,53563; 4,29299)	(2,77827; 5,05035)
31	2,15056	0,18487	(1,77188; 2,52924)	(1,01452; 3,28660)
32	4,53344	0,18487	(4,15476; 4,91212)	(3,39740; 5,66948)

Valores de predictores para nuevas observaciones

Nueva obs	X3	X7	X8
1	-1	-1	-1
2	1	-1	1
3	-1	-1	1
4	1	-1	-1
5	-1	-1	1
6	1	-1	-1
7	-1	-1	-1
8	1	-1	1
9	-1	-1	1
10	1	-1	-1
11	-1	-1	-1
12	1	-1	1
13	-1	-1	-1
14	1	-1	1
15	-1	-1	1
16	1	-1	-1
17	-1	1	1
18	1	1	-1
19	-1	1	-1
20	1	1	1
21	-1	1	-1
22	1	1	1
23	-1	1	1
24	1	1	-1
25	-1	1	-1
26	1	1	1
27	-1	1	1
28	1	1	-1
29	-1	1	1
30	1	1	-1
31	-1	1	-1
32	1	1	1

Gráfica de los efectos para CTQ-8

Pareto de los efectos para CTQ-8

Gráfica de efectos normales (absolutos) para CTQ-8

Estructura de alias

I
X3
X7
X8

Gráfica de cubos (medias de los datos) para AjtePr1

6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

Evaluación y validación de las dos soluciones propuestas (los tratamientos óptimos encontrados para cada una de los dos tipos de hilo existentes) :

Para ello se procede a soldar 20 subgrupos racionales de tamaño 4, o lo que es lo mismo, 80 soldaduras repartidas en 20 turnos distintos de trabajo (1,33 semanas a 3 turnos de Lunes a Viernes).

20x4 mediciones tras mejora

Subgrupo	Mediciones			
1	2,75	2,24	2,70	2,30
2	2,40	2,60	2,44	2,26
3	1,93	2,92	2,69	2,30
4	2,68	2,71	2,71	3,06
5	2,48	2,31	2,64	2,82
6	2,52	2,35	2,43	2,07
7	2,55	1,87	2,50	2,11
8	2,57	2,46	2,88	2,49
9	2,43	2,63	2,26	2,55
10	2,81	3,00	2,55	2,78
11	2,52	1,93	2,34	2,72
12	2,69	2,37	2,54	2,16
13	2,35	2,87	2,40	2,45
14	2,21	2,35	2,66	2,51
15	2,70	2,57	2,35	2,42
16	2,51	2,79	2,29	2,58
17	2,60	2,88	2,40	2,21
18	2,58	2,33	2,89	2,71
19	2,00	2,21	2,62	2,18
20	2,38	2,15	1,99	2,23

Desv. Estandar
0,26

Realizo el “*estudio de estabilidad*” de los datos mediante la siguiente “*carta $\bar{X} - R$* ”.

[Estadísticas>Gráficas de Control>Gráficas de variables para subgrupos>Xbarra-R...](#)

25/11/2014 15:37:43

Bienvenido a Minitab, presione F1 para obtener ayuda.

Gráfica Xbarra-R

Las observaciones para un subgrupo están en una fila de columnas:

CW1 CW2 CW3 CW4

Gráfica Xbarra-R - Opciones

Parámetros | Estimar | Límites S | Pruebas | Etapas | Box-Cox | Mostrar | Almacenamiento

Realizar pruebas seleccionadas para causas especiales

1 punto > K desviaciones estándar desde la línea central

K puntos consecutivos en el mismo lado de la línea central

K puntos consecutivos, todos ascendentes o todos descendentes

K puntos consecutivos, alternando hacia arriba y hacia abajo

K de K+1 puntos > 2 desviaciones estándar desde la línea central (mismo lado)

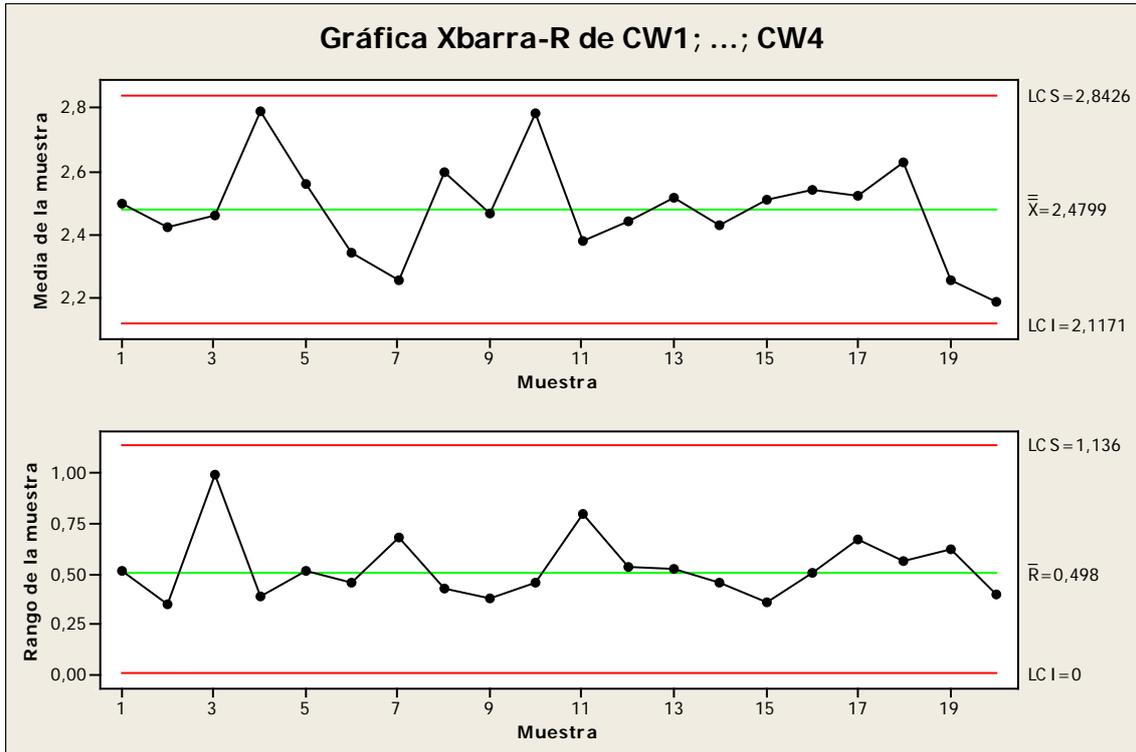
K de K+1 puntos > 1 desviación estándar desde la línea central (mismo lado)

K puntos consecutivos dentro de 1 desviación estándar de la línea central (cualquier lado)

K puntos consecutivos > 1 desviación estándar desde la línea central (cualquier lado)

6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

Superando todas las pruebas de control se obtiene la siguiente carta de control de medias y rangos para mi CTQ#8 después de las mejoras:

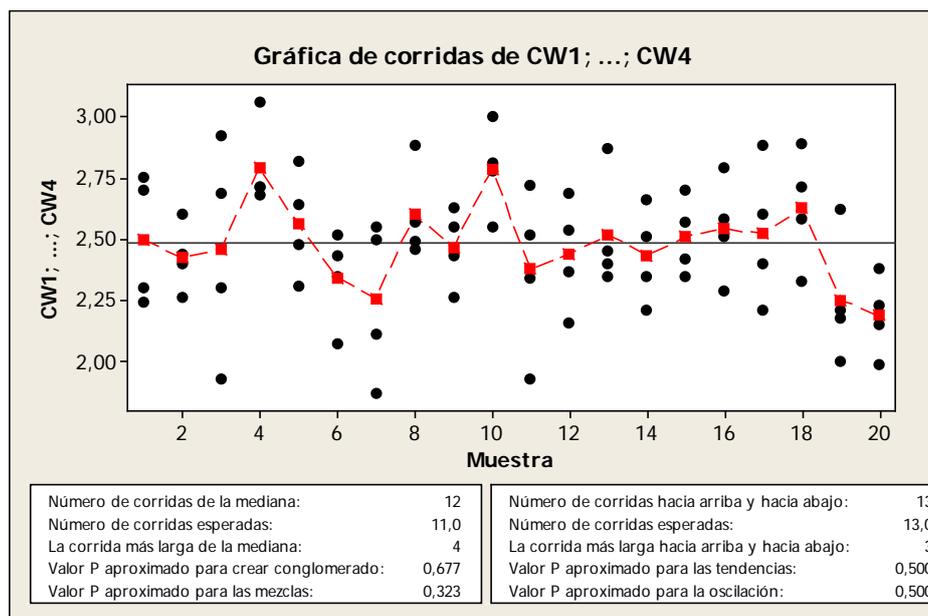


Se puede ver que ahora el proceso es estable tanto en lo que se refiere a la tendencia central como a la dispersión.

$$\sigma_{CP} = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{0,498}{2,059} = 0,2418$$

Prueba de aleatoriedad de los datos con la Gráfica de ejecuciones para ver si existe un carácter aleatorio:

[Estadísticas>Herramientas de Calidad>Gráfica de corridas...](#)

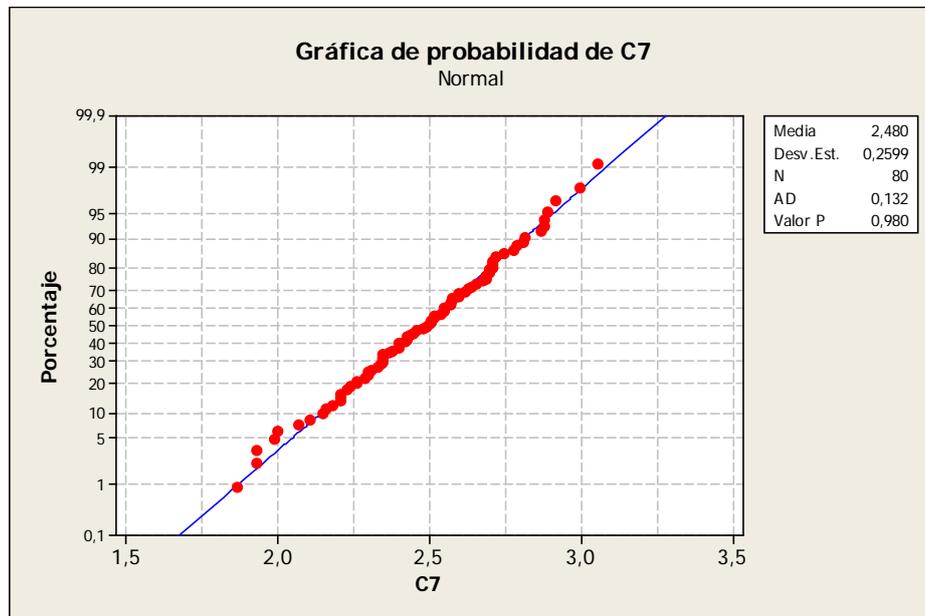


Como todos los valores de P son $> 0,05$ acepto la hipótesis nula H_0 : El proceso es aleatorio.

6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

Prueba estadística para ver si existe **Normalidad** con la prueba de Normalidad : Tras poner todos los datos en una sola columna y antes del estudio de capacidad se verifica estadísticamente que los datos se atienen a una distribución normal: [Estadísticas>Estadística Básica>Prueba de Normalidad...](#)

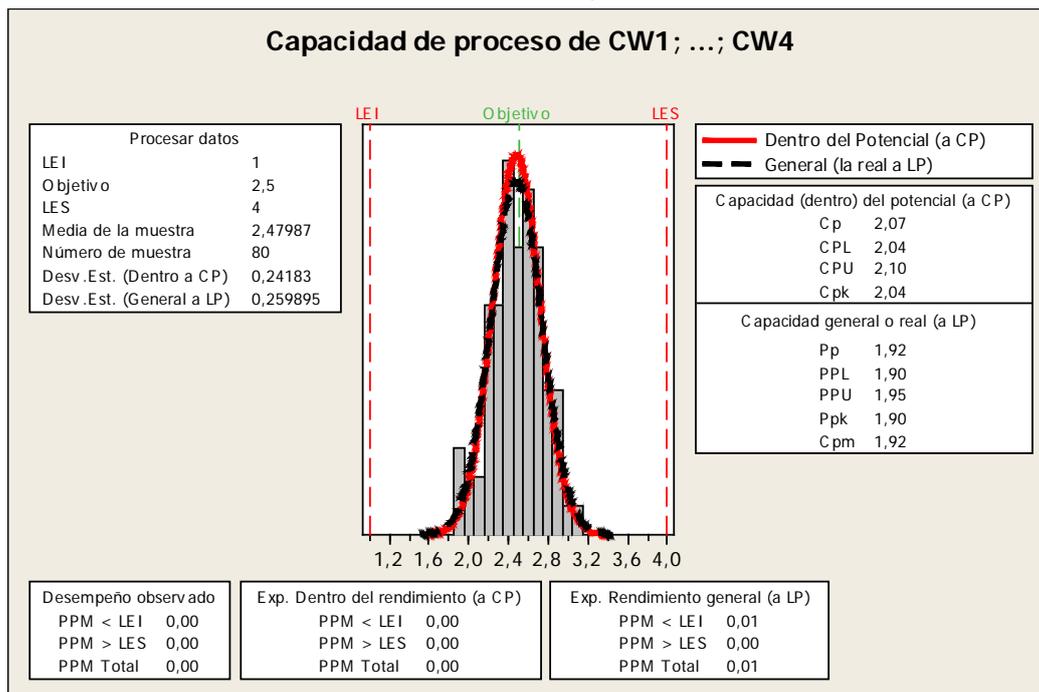
Podría también haber estudiado cada subgrupo de forma individual, sin falta de haber puesto todos los datos de los 4 subgrupos en una sola columna.



Como $P > 0,05$ acepto la hipótesis nula H_0 : el proceso es Normal.

Procedemos ahora a realizar el Estudio de Capacidad de mi proceso en base a las tolerancias ya especificadas para nuestra CTQ#8 (2,5 +/-1,5mm) y los nuevos datos del proceso mejorado:

[Estadísticas>Herramientas de Calidad>Análisis de Capacidad>Normal](#)



6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

En un primer vistazo se observa que la distribución de datos del proceso mejorado está prácticamente centrada con respecto al valor nominal de 2,5mms, a diferencia del estudio de capacidad que se realizó para el proceso al inicio de mi proyecto, donde la campana estaba desplazada hacia la izquierda.

Éstos resultados nos indican que hemos cumplido con la meta de llegar a tener un proceso Seis Sigma en lo que a la CTQ#8 respecta. Adicionalmente se lograron los ahorros anteriormente expuestos (menos reproceso, ligera reducción del tiempo de ciclo y reducción de las horas de inspección).

Comparativa de Estadísticos para la CTQ#8

	ANTES DE LA MEJORA	TRAS LA MEJORA Evaluación preliminar de la capacidad a LP	Si supongo que a LP el proceso se desplaza en su media un Zshift de 1,5 sigmas
C _{pk} (a CP)	1,27	2,04	2,04
P _{pk} (a LP)	0,81	1,90	1,54=(Z _{LP} /3)=(4,62/3)
PPM defectuosas (a LP)	7.470,00	0,01	1,48 iterando en la tabla de valores de calidad a LP
Z _{CP}	3,81	Z _{CP} =3.C _{pk} =6,12	6,12
Z _{LP}	2,31	Z _{LP} =3.P _{pk} =5,7	Z _{LP} =Z _{CP} -Z _{shift} =Z _{CP} -1'5=6'12-1'5= 4,62

6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

5.- Etapa#5. CONTROLAR. Durante esta fase se realiza un plan de medición y control de las X's vitales a fin de mantener las mejoras logradas y se procede a cerrar el proyecto. Se podría hablar de tres niveles en lo que respecta a las acciones de Control:

- Proceso: Se modificó el proceso según las dos soluciones propuestas, una para el hilo tipoA y otra para el hilo tipoB respectivamente. Se implementaron medidas tipo poka-yoke con galgas para holguras X8 de 0-1,5mms (hilo tipoA) y holguras X8 de 1'5-3mms (hilo de soldar tipoB).
- Documentación: Los procedimientos de trabajo se actualizaron en ésta línea.
- Monitorización: Se implementaron cartas de control de medias y rangos, basadas en muestras de tamaño 4 (4 soldaduras) por turno (3 muestras al día ya que se trabaja a 3 turnos) durante la primera y última semana de mes durante 3 meses consecutivos., para monitorizar el comportamiento de la CTQ#8. Como se observó un comportamiento en control estadístico tanto para la media como para la variabilidad durante éstos 3 meses (los resultados de las cartas de control eran similares a los de 2ª carta de control presentada en éste proyecto) se procedió a dar por cerrado al proyecto.

La planta evaluada fabrica en torno a 200 torres al año, de 4 secciones cada una y cada tramo o sección con una media de 10 CWs. Si estimamos 40 semanas hábiles al año resultan 200 CW's a la semana, 20 al día, trabajando de Lunes a Viernes a tres turnos.

En 3 meses de 3'5 semanas hábiles cada uno se habrían fabricado 2100 soldaduras circulares, de las cuales un total de 1200 fueron objeto del control (1ª y última semana de cada mes durante 3 meses).

Como la determinación de un plan de muestreo a partir de 2 puntos de la curva característica es laborioso se simplificó ésta tarea construyendo tablas que te proporcionan el mejor plan, pudiéndose clasificar estos planes en:

- a) Planes de aceptación/rechazo: Normas americanas y japonesas que han sido adoptadas por la propia ISO .
@ Plan Japonés JIS Z 9002.Tablas para inspección por atributos.
@ Military Standard (MIL-STD-105D; ISO 2859; UNE 66020). Tablas MIL IIA (inspección normal), MIL IIB (inspección estricta) y MIL IIC (inspección reducida).
- b) Plan de control rectificativo: se diferencia de los anteriores en que los lotes rechazados se inspeccionan al 100% sustituyendo los elementos defectuosos. Los más utilizados son los debidos a Dodge-Roming.

Incluso la propia "ISO 13053-2: Métodos cuantitativos de la mejora de procesos: 6 sigma Parte2: Herramientas y técnicas" dispone de un anexo con 2 fórmulas para el cálculo del tamaño de lote más adecuado, según sea la variable continua o atributo, para un 95% de probabilidad y en función del intervalo de confianza +/-d que se elija. Hace a su vez referencia a la ISO/TR 18532.

Cabe reseñar que estos planes de muestro serían de aplicación tras el cierre del proyecto 6-sigma, ya que durante la fase de control se supera con creces las cuantías a medir según este tipo de tablas.

6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

6.- Conclusiones del presente proyecto.

Si se pueden definir y medir los requisitos del cliente entonces se podrá calcular tanto el número de defectos en proceso como del activo resultante, es decir, el rendimiento del proceso en niveles sigma. 6-sigma es la administración y gestión en base a hechos y datos estadísticos (distribución Normal de datos) provenientes de mi proceso/producto y consiste en calcular la línea base de mi proceso tanto a corto plazo como a largo plazo, y tanto antes como después de implementar la modificación o mejora de mi proceso.

Tal y como expone la ISO 13053-2:2011 un indicador es una medida diseñada para hacer seguimiento de los cambios, en unos intervalos predefinidos, de una cantidad importante. En 6-sigma los indicadores más ampliamente usados son:

- 1.- Los indicadores de la proporción de un dato de entrada o salida con efecto negativo (o dato defectuoso) generado por el proceso: %, ppm ó DPMO. Por ejemplo, la capacidad 6sigma a CP equivale a 3,4 DPMO.
- 2.- Los índices de capacidad de proceso o ratios de desempeño del proceso a CP y a LP: Cp,Cpk,Pp,Ppk ó Z(número de desviaciones estándar del proceso).

Durante éste proyecto he sido capaz de cuantificar la capacidad sigma $Z(\sigma)$ o rendimiento de mi proceso antes y después de las mejoras. Siempre primero hay que reducir la variación de mi proceso, ya que es lo primero que detectarían mis clientes, para terminar mejorando la capacidad del mismo (centrándolo con respecto al objetivo, o lo que es lo mismo, aproximando su media tras la mejora lo más cerca posible del valor objetivo dado por el cliente en éste nuestro caso).

Hemos descubierto que de cara a la mejora de procesos mediante la metodología 6σ ya hay una ISO 13053:201 (partes 1 y 2) relacionada con la metodología DMAMC y sus distintas herramientas o técnicas.

En definitiva, la metodología 6-sigma se trata de una metodología cuantitativa para canalizar toda actividad de mejora desarrollada en la empresa siempre siguiendo unas mismas pautas o pasos predefinidos y empleando unas herramientas estadísticas y una terminología de común entendimiento dentro de la organización. Dicho esto, cabe decir que ésta metodología es aplicable a todas las áreas y actividades de la organización siempre que se trate del análisis de parámetros (X's e Y's) medibles.

6.- METODOLOGÍA 6σ. CASO PRÁCTICO REAL.

Las conclusiones principales obtenidas a lo largo de cada una de las 5 fases del proyecto podrían ser:

Definir: Definición clara de las CTQs de mi cliente dentro de mi organización. Descripción clara y concisa del problema a solucionar y de los beneficios potenciales.

Medir: Definición y diseño de los métodos de medición y control más apropiados para cada una de las CTQs. Validación de los sistemas de medición mediante la técnica Gage R&R y así poder recolectar datos fiables de mi producto/proceso. Medir la capacidad actual de mi proceso (línea base de partida) tanto a CP como a LP. Estandarizar tanto los métodos como los medios de medición entre las distintas plantas de la organización.

Analizar: Análisis de aquellas variables X potenciales que realmente tienen incidencia en la Y de mi proyecto (mi CTQ). Identificar las fuentes de variación de mi proceso, que en el caso de nuestro proyecto radican, por mencionar un ejemplo, en la falta de planitud de las chapas a ambos lados de la soldadura.

Mejorar: Hemos visto el potencial que tiene la herramienta de diseño de experimentos (DOE), herramienta que me permite estudiar las posibles/distintas combinaciones de las X's a fin de encontrar la combinación de X's que me optimiza la Y(mi CTQ). Definir claramente la solución a implementar de las distintas posibles. Medir la capacidad de mi proceso tras la mejora, tanto a CP como a LP, y verificar que realmente se cumplieron los objetivos que nos marcamos.

Comparativa de Estadísticos para la CTQ#8

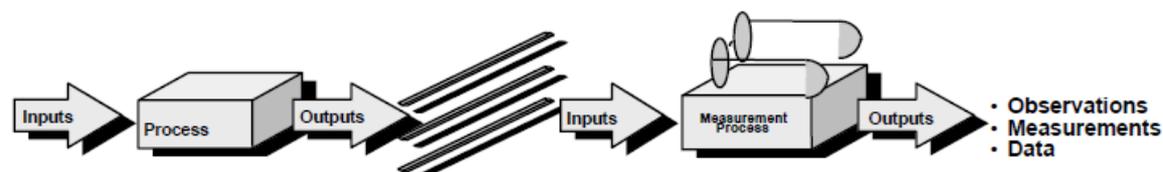
	ANTES DE LA MEJORA	TRAS LA MEJORA Evaluación preliminar de la capacidad a LP	Si supongo que a LP el proceso se desplaza en su media un Zshift de 1,5 sigmas
Cpk (a CP)	1,27	2,04	2,04
Ppk (a LP)	0,81	1,90	1,54=(ZLP/3)=(4,62/3)
PPM defectuosas (a LP)	7.470,00	0,01	1,48 iterando en la tabla de valores de calidad a LP
ZCP	3,81	ZCP=3.Cpk=6,12	6,12
ZLP	2,31	ZLP=3.Ppk=5,7	ZLP=ZCP-Zshift=ZCP-1'5=6'12-1'5= 4,62

Controlar: Una vez implementada la mejora y dado el proyecto por cerrado he de seguir controlando mi proceso mediante las cartas de control (para medias y rangos) por ejemplo, a lo largo de la vida del proceso.

Anexo1.- Gage R&R

Repetibilidad y Reproducibilidad del Sistema de Medición (Gage R&R).

Un Sistema de Medición incluye a los operarios o técnicos de calidad, a los equipos de medición y al medio. Cualquier información que recojamos acerca del comportamiento de un proceso debe de pasar primero por un sistema de sensores, en otras palabras, debemos de entregar la salida de un proceso a la entrada del siguiente. Casi todo lo que utilizamos para tomar una decisión implica el uso de algún tipo de equipo de medición. Hay equipos de medición continuos y discretos (atributos).



Términos a tratar durante éste capítulo:

Datos Continuos (Datos Cuantitativos): Información que puede ser medida sobre un continuo o una escala. Pueden tener casi cualquier valor numérico y pueden ser subdivididos en incrementos más y más pequeños sin perder sentido, dependiendo de la **resolución** del Sistema de Medición. Medidas de tiempo (meses, días, horas,...), temperatura, peso y tamaño por ejemplo serían datos continuos.

Datos Discretos (Atributos ó datos Cualitativos): Información que puede ser categorizada a modo de clasificación. Se fundamenta en el hecho de contar. Sólo un número finito de valores es posible y si los valores fueran subdivididos se perdería su significado. Por ejemplo, el número de piezas dañadas en un envío produciría datos discretos porque las piezas o están dañadas o no lo están.

Análisis del Sistema de Medición ("Measurement System Analysis"): Método matemático para determinar en qué medida la variación inherente al proceso de medición contribuye en la variación total o de conjunto del proceso.

Se trata de identificar la incertidumbre para variables continuas y así poder validar al equipo de medida en relación a las tolerancias del proceso o características del producto a medir. El método más usado es el Gage R&R (Repetibilidad y Reproducibilidad del equipo de medida): herramienta estadística que mide la cantidad de variación/incertidumbre inherente al sistema de medición, proveniente del equipo de medida y de la gente que toma las mediciones, y la compara con el intervalo del proceso o característica del producto a ser medida. Se expresa en porcentaje a fin de validar o no mi sistema de medición. Evaluar un cierto nivel de acuerdo entre los distintos agentes de los procesos es un paso importante para identificar la incertidumbre en la medición de los datos atributo.

NOMINAL: Valor que estimo en un proceso de diseño y al que se aproxima mi valor CTQ(Y) real objetivo en base a la capacidad de diseño del elemento.

Anexo1.- Gage R&R

VARIACIÓN (algunas veces llamada RUIDO) O DISPERSIÓN MEDIA: Es la fluctuación en la salida del proceso. Se cuantifica mediante la desviación estándar (s), la cual es una medida de la dispersión media de los datos alrededor del valor medio o central de los datos ("mean"), es decir, una representación de cómo de lejos están los puntos (los valores de los datos) del valor medio o valor central. La Varianza es el cuadrado de la desviación estándar.

VARIACIÓN OBSERVADA TOTAL: es la variación combinada desde todas las fuentes, incluyendo las del proceso y las del sistema de medida.

Según la ISO 13053-2:2011 las principales causas de incertidumbre/variación en la medición en el caso de variables continuas serían:

1.- RESOLUCIÓN: El incremento más pequeño de la variable a medir que mi equipo es capaz de detectar.

2.- EXACTITUD DE LA MEDICIÓN ("Measurement accuracy (bias)"): La diferencia entre lo que lee el sistema de medición y lo que realmente mide el elemento. La diferencia entre la medición promedio observada (generalmente para un mismo inspector) y un estándar conocido externo a mi medición (el valor verdadero). Es la cercanía con la cual la media de las lecturas de un instrumento de medida se aproxima al valor verdadero de la variable medida. Este término está relacionado con la MEDIA. Ej.: Mi micrómetro siempre mide 0,001 m de menos. SESGO ("Device Bias") o ERROR PURO: Está relacionado con la falta de EXACTITUD. Ej.: Mi micrómetro siempre mide 0,001 m de menos. Es la desviación de la media ("shift in average"); la repetibilidad de las medias.

ERROR RESIDUAL: se refiere a la variación en las observaciones realizadas bajo idénticas condiciones de ensayo, o a la cantidad de variación que NO puede ser atribuida a aquellas variables consideradas ó incluidas en el experimento. BIAS: El Bias en una muestra es la presencia o influencia de cualquier factor que le hace a la población o proceso bajo muestreo parecer diferente de lo que en verdad es. Se introduce un Bias en una muestra cuando se recogen datos sin haber tenido en cuenta antes alguno de los factores clave de influencia. Está relacionado con la falta de PRECISIÓN. PRECISIÓN: Es una medida de la repetibilidad de las mediciones. Dado un valor fijo de una variable, la precisión es la medida del grado con el cual, mediciones sucesivas difieren una de la otra. Este término tiene que ver o está relacionado con la DISPERSIÓN.

Anexo1.- Gage R&R

Exactitud de la medición ("Measurement Accuracy" "Bias"): cómo de cerca está la media del valor verdadero. Relacionado con la media.

Error Puro ó Sesgo del equipo de medición (ó "Device Bias"): es el grado de repetibilidad de las medias ("shift in average"). Es la desviación de las medias y está relacionada con la falta de exactitud.

Resolución Equipo $< (\text{Rango Tolerancia}/10)$

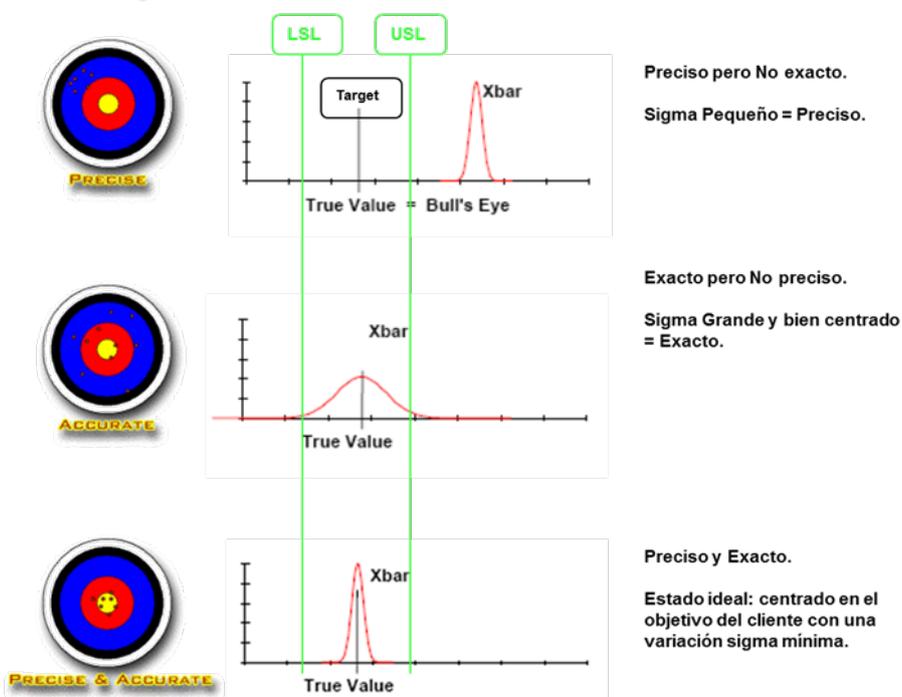
Inaccuracy=Device Accuracy or PURE ERROR=Xbar-True Value

Precisión("Precision"): Grado de variación, ruido o dispersión media. Es una medida de la repetibilidad de las mediciones. Dado un valor fijo de una variable sería la medida del grado con el cual mediciones sucesivas difieren unas de otras

Error Residual o Bias. Variación en las observaciones realizadas de una muestra bajo idénticas condiciones de ensayo ó cantidad de variación ajena a las variables de estudio. Está relacionada con la falta de precisión.

Desviación Estándar $< (\text{Rango Tolerancia}/10)$

Analogía de la diana. Exactitud frente a precisión. Accuracy vs. Precision



Piensa en una diana de dardos. Puedes tirar varios dardos y que resulten muy juntos en la diana (precisos) pero no dar en el centro. También puedes tirarlos y estar repartidos por toda la diana, pero si calculas su media ésta queda en el centro (exactos)

Anexo1.- Gage R&R

3.- ERROR DE LINEALIDAD: Bias de la medición a la largo del rango de utilización del sistema de medición. la coherencia/consistencia del sistema de medición en todo su rango.

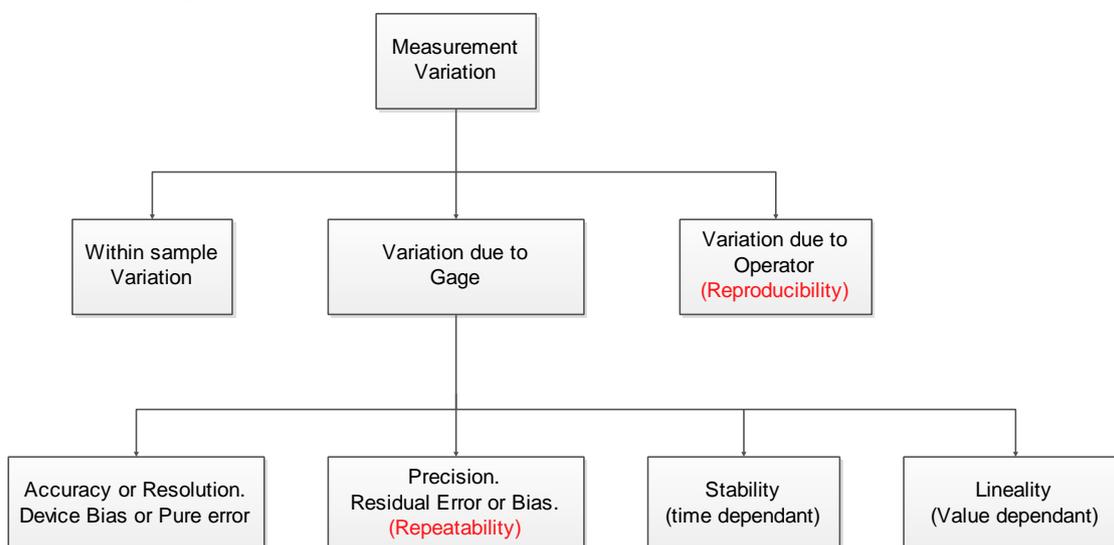
4.- ESTABILIDAD: Variabilidad en los resultados dados por un sistema de medición que mide la misma característica y el mismo producto a lo largo de un periodo extenso de tiempo. Variación obtenida cuando la misma persona mide lo mismo con el mismo equipo varias veces durante un periodo de tiempo prolongado.

5.- REPETIBILIDAD: Diferencia entre los resultados de mediciones sucesivas sobre el mismo mesurando (con todas las mediciones llevadas a cabo bajo idénticas condiciones de medición: mismo procedimiento de medición, mismo observador, mismo instrumento de medición, usado bajo las mismas condiciones de operación, misma ubicación, repetición a lo largo de un corto periodo de tiempo). Variación que se produce cuando una misma persona mide repetidamente lo mismo con el mismo equipo de medición.

6.- REPRODUCIBILIDAD: Diferencia entre los resultados de las mediciones sobre el mismo mesurando (con mediciones llevadas a cabo bajo diferentes condiciones de medición). Variación que se produce cuando dos o más personas miden lo mismo usando el mismo equipo de medición.

Generalmente las causas principales de los errores de medición se deben a diferencias en la formación y experiencia de los agentes del proceso.

Fuentes de variación en un sistema de medición: Para computar la variabilidad real del proceso debo de identificar primero la variación debida al sistema de medición y separarla de la del proceso. El sistema de medición por sí sólo no te revelará el tipo de distorsión (inexactitud y/o imprecisión) que te está transmitiendo a los datos.



Anexo1.- Gage R&R

Podrías tener un proceso con una capacidad de 6-sigma pero si tu sistema de medición es inadecuado nunca lo sabrás.

El equipo de medición debe de ser adecuado en base a dos comparativas diferentes:

- Precisión adecuada del equipo (poca variación): Para ello el ruido del equipo debe de ser inferior al ruido del proceso, de otra manera sino será imposible ver la variación ordinaria o habitual del proceso.
- Resolución/Exactitud adecuada del equipo (la media obtenida se aproxima al valor real): El sesgo o error puro del equipo debe de ser menor que la décima parte del rango de tolerancia.

Si no se cumplen estas dos condiciones el equipo de medición podría ser inadecuado y deberíamos o mejorarlo (MAIC) o reemplazado (DFSS) por otro equipo de precisión aceptable.

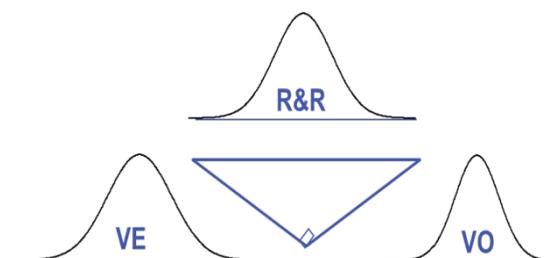
Para mejorar un equipo de medición o el propio sistema de medición primero he de arreglar su precisión (poca variación) y luego su exactitud (media cercana al valor real o verdadero).

¿Cómo medir la efectividad del equipo de medición? Mediante un Gage R&R.

R&R es la repetitividad del sistema de medición (VE: Variación del Equipo) y la reproducibilidad (VO: Variación del Operario) y representa la variación total del sistema de medición.

Repetitividad: Variación del equipo (VE). Fuentes de variación dentro del propio proceso de medición: dentro del inspector, dentro del equipo, dentro de la pieza y dentro del propio método.

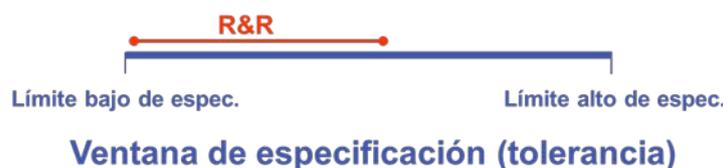
Reproducibilidad: Variación del inspector u operador (VO) (“appraiser” en inglés). Fuentes de variación lo largo o a través del proceso de medición: Entre inspectores, entre equipos, entre configuraciones de piezas y entre los distintos métodos.



$$s_{Equipo}^2 + s_{Operario}^2 = s_{Total(R\&R)}^2$$
$$\sigma_{Equipment\ Variation}^2 + \sigma_{Appraiser\ Variation}^2 = \sigma_{Total\ (R\&R)}^2$$

¿Qué parte de la tolerancia está ocupada por la variabilidad del sistema de medición?

Objetivo: Comparar la variación R&R con el rango de tolerancia. En éste ejemplo en torno al 50% de la tolerancia está ocupada por la variación del sistema de medición. Esto nos deja únicamente el otro 50% para la variación del proceso. Si el sistema de medición se lleva gran parte de la variación entonces no nos quedaría sitio para la variación del proceso.



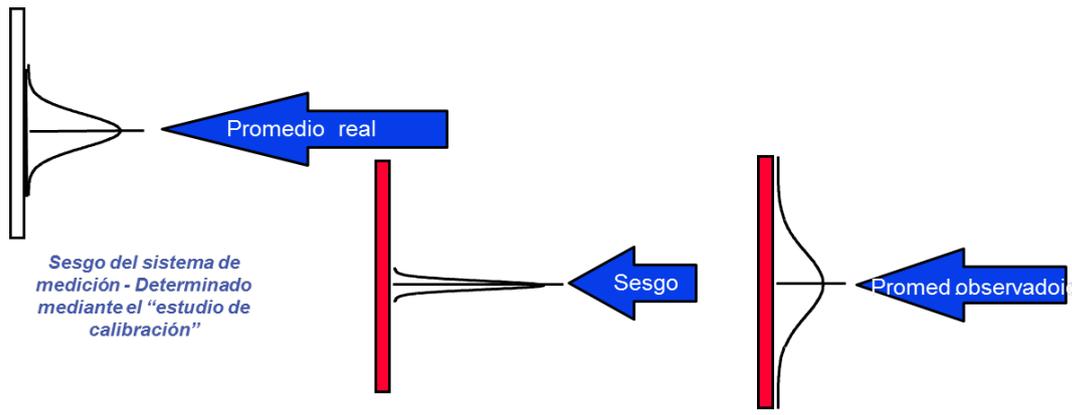
Anexo1.- Gage R&R

Variación de la media ó promedio (sesgo en la Exactitud del equipo).

Objetivo: describir el impacto del sesgo o descentramiento del equipo o error puro en la medición.
 Cuando se observa una media que es distinta de la media real del proceso, se llama sesgo a la diferencia entre ambas.

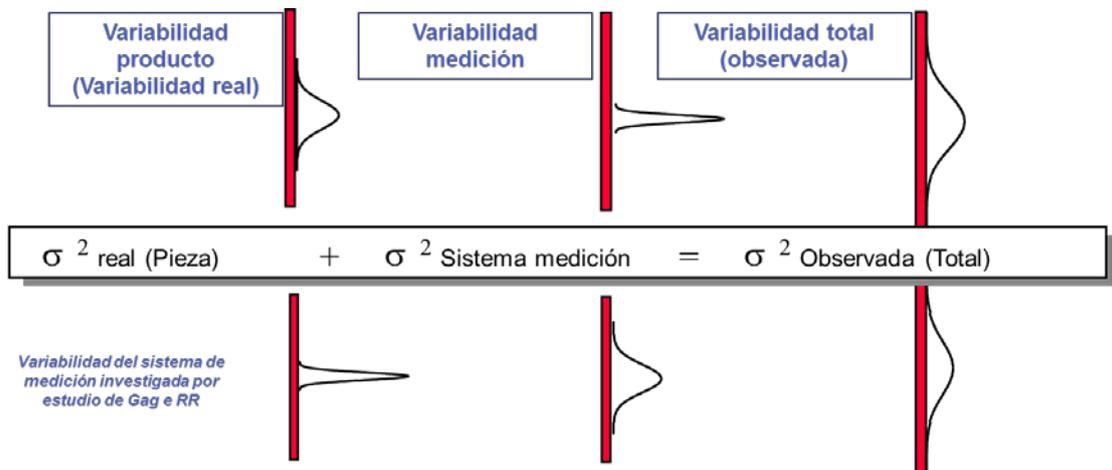


$$\mu_{\text{real (pieza)}} + \mu_{\text{Sist. Medición}} = \mu_{\text{Observada (Total)}}$$



Variación del sistema de medición.

Objetivo: Describir las dos fuentes de variación, la real del proceso y la del sistema de medición, como las dos componentes de la variación total observada en mi proceso.
 El sistema de medición también contribuirá con algo de variación, viniendo ésta de tanto el equipo de medición como del operador/inspector.
 Por ejemplo si mi reloj tiene una variación de +/-1 minuto ya tengo una variación real más una variación en la medición que combinadas ambas me dan la variación total.
 El objetivo es el de cuantificar la variación en la medición y eliminarla para que el valor medido sea lo más cercano posible al valor verdadero del proceso.



Anexo1.- Gage R&R

La escala del equipo de medición (ó resolución) debe de ser como mínimo 10 veces más pequeña que el rango de Tolerancia para poder detectar la posible variación que pudiera (o no) existir. De esta manera los datos que obtenga de los resultados del proceso me servirán de ayuda para calcular la capacidad del proceso. Si la resolución del equipo no es la adecuada tendré que cambiar al equipo por otro distinto.

El sistema de medición o Gage R&R puede ser comparado contra una ventana de especificación a modo de banda de tolerancia o variación total para cuantificar la adecuación del sistema de medición.

@ R&R<10% : El sistema de medición es adecuado/aceptable.

@ R&R 10-30% : El sistema de medición debe de mejorarse aunque podría ser aceptable.

Tomar la decisión en base a la clasificación de la característica, aplicación del componente, aportación/input del cliente, nivel sigma de tu proceso,.....etc.

@ R&R>30% : Sistema de medición no aceptable. Hay que encontrar el problema y eliminar la causa raíz. Hay que re-visitar el diagrama de espina de pez; ¿hay alguna herramienta de medición quizás mejor en el mercado? ¿Merece la pena comprarla?

Los estudios de Gage R&R deben de realizarse sobre el rango de observaciones esperadas:

- Al menos 2 inspectores diferentes
- Al menos 20 mediciones diferentes
- Mismas piezas, bajo las mismas condiciones y con la misma herramienta de medición.

El primer objetivo del estudio es el de cuantificar el nivel de variación de la medición.

Un segundo objetivo sería el de separar las contribuciones de variación de las distintas fuentes.

Para datos continuos los métodos Gage R&R son:

- Forma Abreviada. No distingue entre Reproducibilidad y Repetividad.
- Forma Alargada
- ANOVA. El método que nos da una mayor información.

Antes de hacer un estudio completo de Gage R&R podría ser de utilidad el hacer una Prueba-Re-prueba.

Anexo1.- Gage R&R

GAGE R&R SHORT FORM:

	Operator 1	Operator 2	Operator 3	RANGE (Max - Min)
Part 1	10,1	10,2	10,3	0,2
Part 2	10,0	10,3	10,1	0,3
Part 3	10,2	10,1	10,3	0,2
Part 4	10,2	10,1	10,2	0,1
Part 5	10,0	10,3	10,1	0,3
Tolerance Band = 1.0			Sum of Ranges	1,1
			Average of Ranges (R-bar)= 1,1/5=	0,22

$$Gage\ R\&R = \frac{5,15 \cdot Rbar}{d_2} = 0,651 \text{ (donde } d_2 = 1,74 // \text{ver tabla)}$$

$$\%Gage\ R\&R\ of\ tolerance\ band = \frac{Gage\ R\&R}{Tolerance\ band} \cdot 100 = 65,1\%$$

5,15 representa el 99% de intervalo de confianza para una distribución normal.

(Rbar/d₂) es una aproximación/estimación para la desviación estándar σ (ó s_m) del proceso de medición.

Duncan A. J (1986), Quality Control and Industrial Statistics Appendix D3

Number of parts	Number of Operators		
	2	3	4
1	1.41	1.91	2.24
2	1.28	1.81	2.15
3	1.23	1.77	2.12
4	1.21	1.75	2.11
5	1.19	1.74	2.10
6	1.18	1.73	2.09
7	1.17	1.73	2.09
8	1.17	1.72	2.08
9	1.16	1.72	2.08

As DOF increases, the Confidence Interval becomes tighter

Range increases with additional operators

		d2* Table			
		No. of Operators			
		2	3	4	5
No. of Parts	1	1,41	1,91	2,24	2,48
	2	1,28	1,81	2,15	2,40
	3	1,23	1,77	2,12	2,38
	4	1,21	1,75	2,11	2,37
	5	1,19	1,74	2,10	2,36
	6	1,18	1,73	2,09	2,35
	7	1,17	1,73	2,09	2,35
	8	1,17	1,72	2,08	2,35
	9	1,16	1,72	2,08	2,34
	10	1,16	1,72	2,08	2,34
	11	1,16	1,72	2,08	2,34
	12	1,16	1,72	2,08	2,34
	13	1,16	1,72	2,08	2,34
	14	1,16	1,72	2,08	2,34
	15	1,16	1,72	2,08	2,34
	16	1,16	1,72	2,08	2,34
	17	1,16	1,72	2,08	2,34
	18	1,16	1,72	2,08	2,34
	19	1,16	1,72	2,08	2,34
	20	1,16	1,72	2,08	2,34

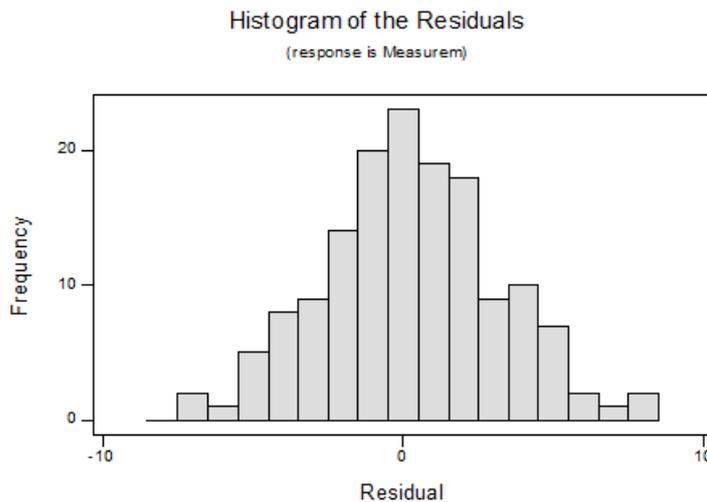
Este método abreviado del Gage R&R se puede aplicar a modo de ejemplo a la medición de piezas bien con calibres, con equipos de Ultrasonidos, mediciones a metro,.....etc

ANOVA Gage R&R.

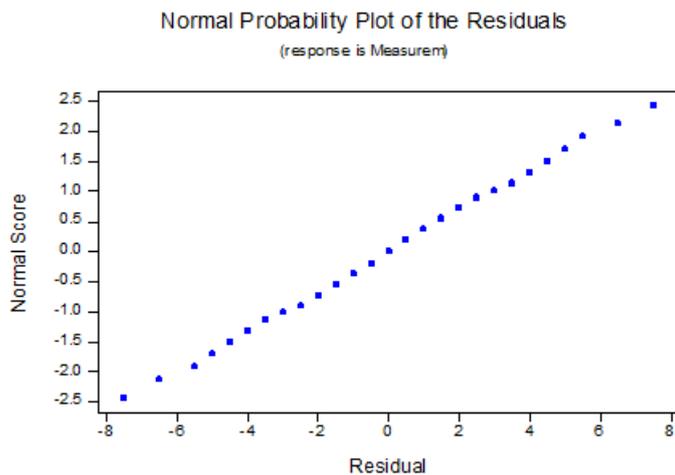
Veamos un ejemplo acerca de una dimensión concreta de 3040 +/-5mms dentro de una carcasa de fibra de vidrio, la cual será medida con una cinta métrica flexible.

- Se miden 25 carcasas
- Cada carcasa es medida por 3 inspectores diferentes (reproducibilidad).
- Cada carcasa es medida 2 veces por cada inspector (repetitividad).

¿Es el equipo de medición adecuado? ¿Cuáles son los componentes de variación?



El 2-way Anova muestra que los datos están uniformemente distribuidos. ANOVA analiza los datos usando un diseño factorial de 2 factores equilibrados. Ambos factores se consideran aleatorios. El modelo incluye los principales efectos de las piezas y operarios, más la interacción de Pieza por Operario (si es que es significativa).



Anexo1.- Gage R&R

Reglas de Oro del ANOVA Gage R&R:

A.) Gage R&R <10%, 10-30% ó >30% vistos anteriormente.

B.) % Contribución (ó Gage R&R StdDev). La varianza GageR&R debería ser pequeña comparada a la varianza Pieza-a-Pieza. Aplica en casos donde el ancho de tolerancia no tiene significado y el % de Tolerancia no está disponible (como por ejemplo en las especificaciones con un solo límite de especificación).

$$C.) \text{Signal to Noise ratio} = \left(\frac{\text{StdDevparts}}{\text{StdDevGageR\&R}} \right) \cdot 1,41$$

Número de categorías distintas: Un ratio redondeado de "señal a ruido" de:

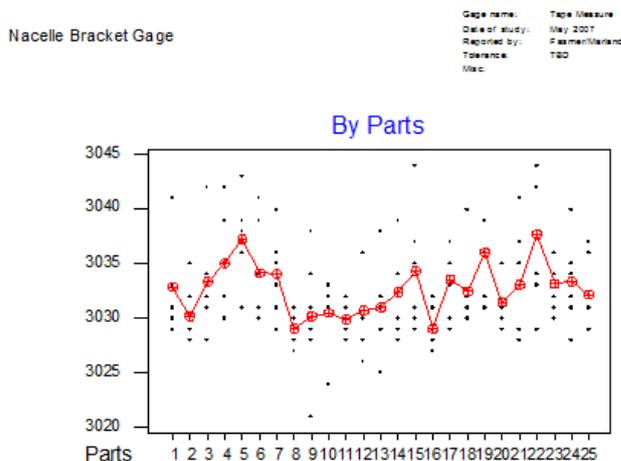
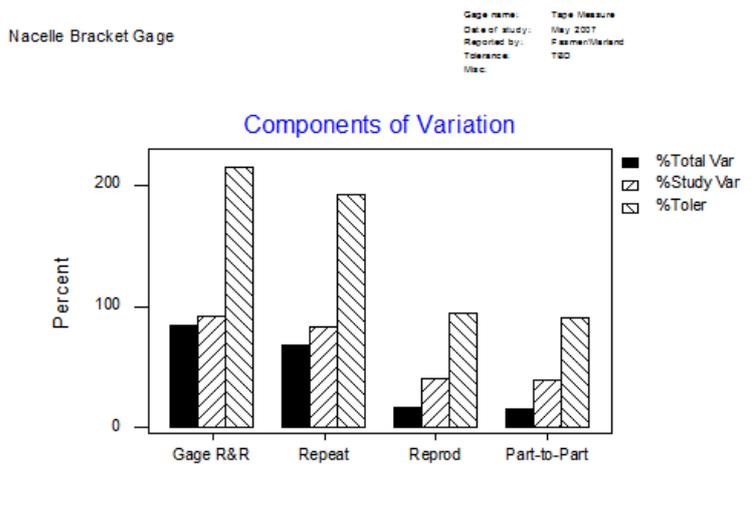
<2: no hay valor para control de proceso, todas las piezas parecen la misma.

=2: se pueden ver 2 grupos: alto/bajo, bueno/malo

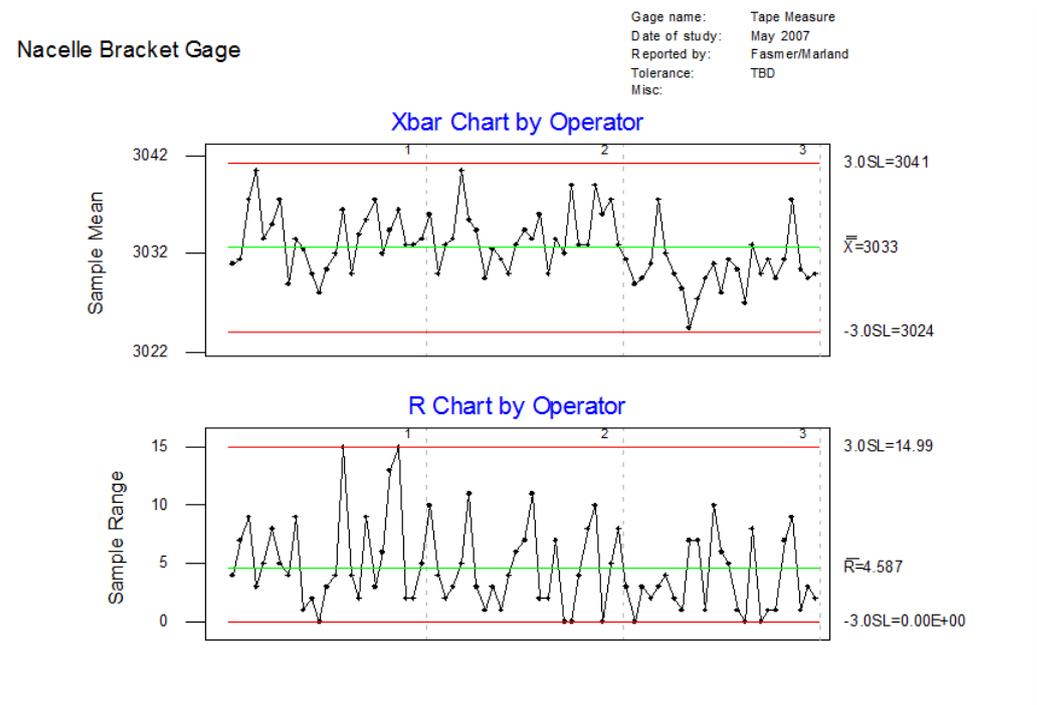
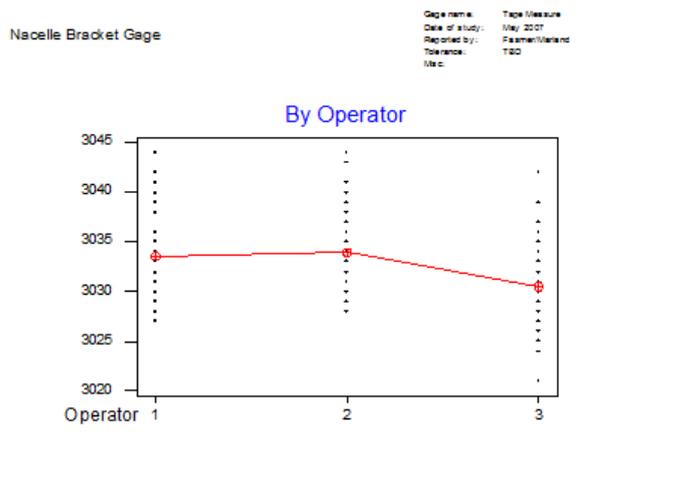
=3: se pueden ver 3 grupos: alto/medio/bajo

>4: sistema de medición aceptable (cuanto más alto mejor)

D.) Resolución efectiva. El 50% o más del gráfico Xbar-Chart por fuera de los límites de control implica que la variación de la pieza supera a la variación del sistema de medición.



Anexo1.- Gage R&R



Source	VarComp	StdDev	5.15*Sigma
Total Gage R&R	17.370	4.16768	21.4636
Repeatability	13.988	3.74011	19.2616
Reproducibility	3.381	1.83879	9.4698
Operator	3.381	1.83879	9.4698
Part-To-Part	3.136	1.77088	9.1200
Total Variation	20.506	4.52831	23.3208

$$\sigma_{EV}^2 + \sigma_{AV}^2 = \sigma_{R\&R}^2$$

$$\sigma_{process}^2 + \sigma_{measured}^2 = \sigma_{observed}^2$$

Source	%Contribution	%Study Var	%Tolerance
Total Gage R&R	84.71	92.04	214.64
Repeatability	68.22	82.59	192.62
Reproducibility	16.49	40.61	94.70
Operator	16.49	40.61	94.70
Part-To-Part	15.29	39.11	91.20
Total Variation	100.00	100.00	233.21

%Repeatability+%Reproducibility = %Total Gage R&R

Number of Distinct Categories = 1

Anexo1.- Gage R&R

Antes de proceder con el ANOVA Gage R&R es conveniente hacer un estudio de calibración del mejor equipo que se tenga disponible (ya que si con éste no se obtienen resultados satisfactorios está claro que con el resto tampoco los iba a obtener) para estar seguro de que el bias del aparato de medición es aceptable, aunque tras el análisis del set de datos se obtendría inmediatamente éste resultado si es que no hubiese realizado la calibración en su momento. Posteriormente habrá que chequear el resto de equipos de medición.

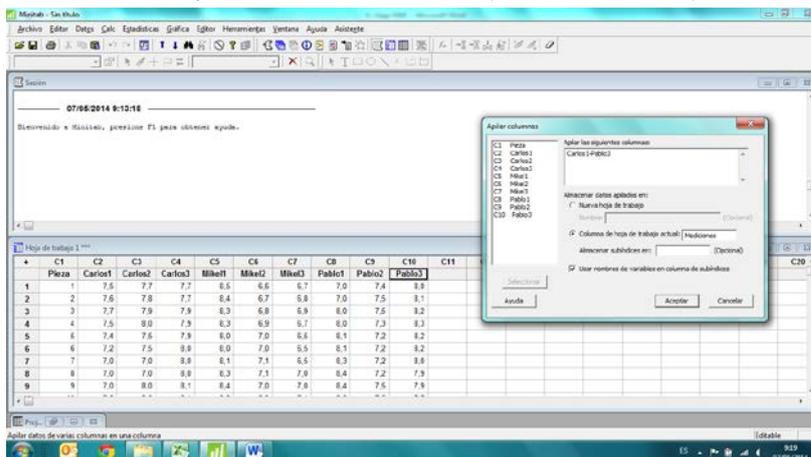
A los operarios hay que seleccionarlos al azar del departamento de calidad y hay que darles las piezas en orden aleatorio y sin que sepan cuál están midiendo.

Para realizar el análisis o estudio del sistema de medición debemos de poner todos los datos de la siguiente manera: en una columna el nombre del operario, en otra el número de serie de la pieza y en otra las mediciones.

O bien se colocan los datos previamente en Excel de ésta manera antes de pasarlos a Minitab o bien se colocan en Minitab los sub-conjuntos de mediciones de cada operario y se crean las 3 columnas requeridas al final hoja, siempre con los datos dispuestos en vertical.

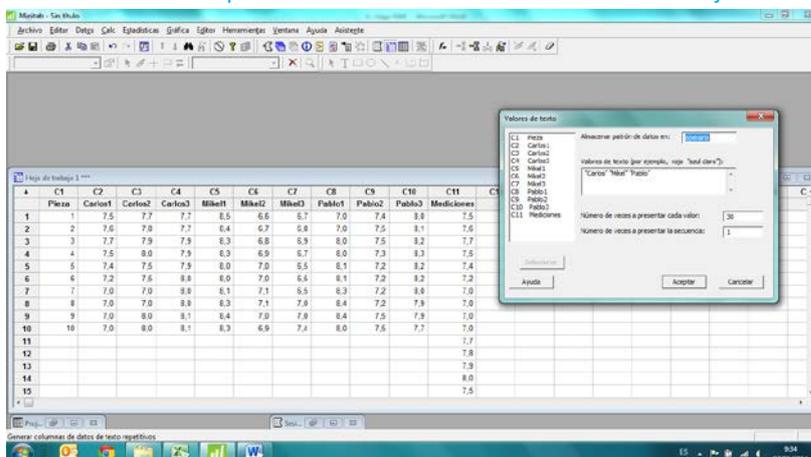
Para crear la primera de las 3 columnas con todas las mediciones utilizaría la opción (compilar varias columnas en una sólo):

- Data>stack>Columns OR ...>Rows (version inglesa)
- Datos>Apilar> Columnas Ó ...>Filas (versión castellano)

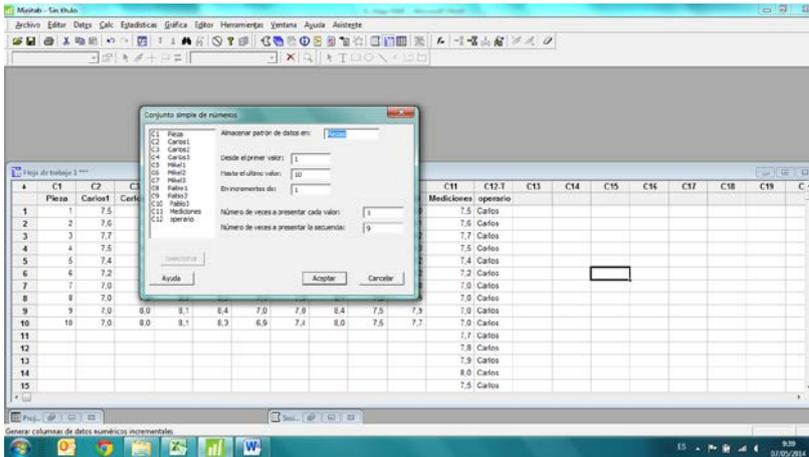


Para crear las columnas 2&3 con los nombres de los operarios y números de pieza respectivamente podemos utilizar:

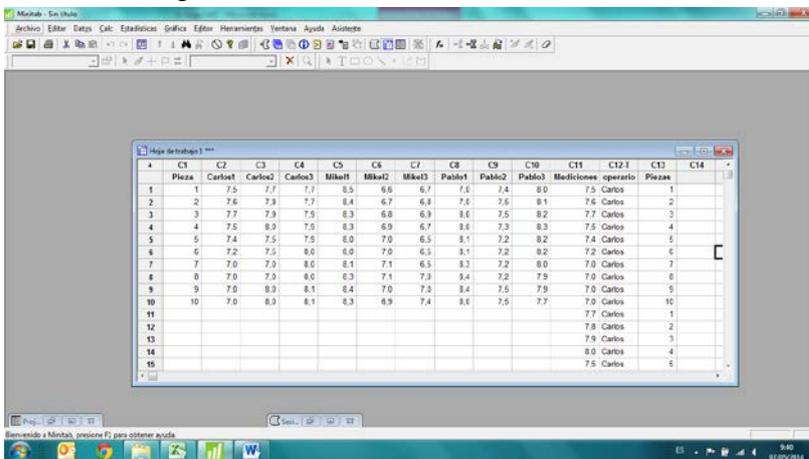
- Calc>Make patterned Data>Text Values AND ...>Simple set of values
- Calc>Crear patrones de datos>Valores de texto Y ...>Conjunto simple de valores de fecha/hora



Anexo1.- Gage R&R



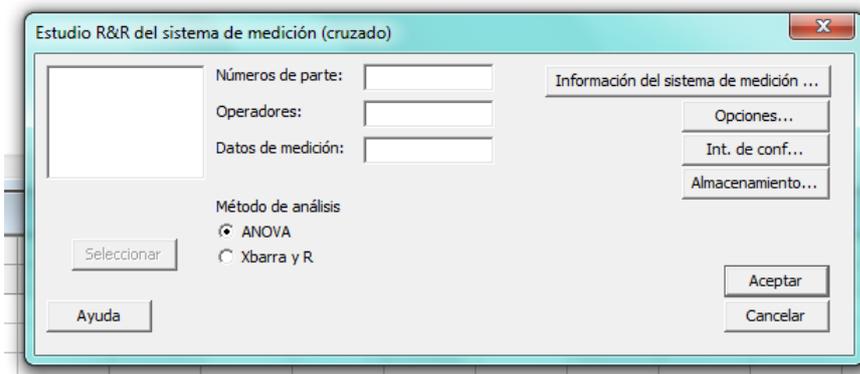
Resultando lo siguiente:



Ahora ya sí podemos comenzar con el estudio del sistema de medición con la siguiente opción:

Estadísticas>Herramientas de Calidad>Estudio de Medición>Estudio R&R del sistema de medición(Cruzado).....

Elegimos la opción cruzado (“crossed”) porque cada pieza será medida por cada uno de los operarios.



El estudio Gage R&R se puede hacer de 2 maneras: via el método de estimación de las varianzas “Xbar and R” y via el método de análisis de las varianzas “ANOVA”.

Con el botón de opciones se pueden obtener gráficos de control para la media y el recorrido, la descomposición de la variabilidad y las mediciones individuales.

CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESO (SPC: Statistical Process

Control): Se trata de una técnica para asegurar que cualquier proceso empleado para entregar un servicio o para producir un artículo tiene la fiabilidad suficiente como para cumplir con las especificaciones.

Todos los procesos están sujetos a variación y ya en el año 1920 el Doctor Walter Shewhart desarrolló un sistema usando la estadística como herramienta para monitorizar ésta variación. Distinguió entre dos tipos de **variación** que encontró en todos los procesos, conocidas como **causas comunes/naturales** y **especiales/asignables** de variación. La herramienta que le permitió diferenciar/separar estos dos tipos de variación es la Hoja de Control o “Control Chart”.

SPC canaliza/engloba tanto calidad como productividad usando conceptos estadísticos muy básicos para controlar y medir el rendimiento de los procesos.

Un proceso es cualquier conjunto de actividades que tiene como efecto un cambio secuencial hacia un objetivo y se dice que está bajo control estadístico cuando la única fuente de variación es de causa común/natural.

Un proceso se somete a control estadístico mediante la identificación y la eliminación de las causas especiales de variación. El rendimiento del proceso es predecible y la habilidad del mismo para cumplir con las necesidades y expectativas del cliente podría ser evaluada cuando el proceso está bajo control. Un proceso bajo control producirá piezas o servicios de manera consistente dentro de sus propios límites de tolerancia natural.

Las **variaciones de causa natural/común/aleatoria** afectan a casi todo proceso productivo y han de ser esperadas. Es una variación que tiene varias causas comunes. Las causas comunes/naturales son muy difíciles de identificar y corregir tal y como el calor, la vibración, la humedad, ...que podrían causar variación tanto de manera individual como colectiva. Se comportan como un sistema constante de las causas del azar, de hecho ésta variabilidad es inherente al proceso.

Aunque los valores individuales medidos en un proceso sean diferentes, en grupo forman como un patrón que puede ser descrito como una distribución. Cuando las distribuciones son Normales (mediciones de salida) y permanecen dentro de los límites especificados, se dice que el proceso está bajo control y que las variaciones naturales son soportables/toleradas.

Las **variaciones asignables/especiales** son aquellos efectos sobre el proceso que no están incorporados al mismo (que no le son inherentes). Las causas de las variaciones asignables son impredecibles y se pueden identificar directamente, corregir (particularmente cuando se sabe del momento en el que ocurren) y así llevar al proceso bajo control. Se puede localizar o rastrear hasta el punto o motivo o razón específica que se quiera. Factores como el desgaste de las máquinas, desajuste de máquinas, operarios inexpertos o fatigados, nuevos lotes de materia prima,.....etc son potenciales fuentes de variación asignable que habrá que eliminar para mantener los procesos bajo control.

Los **Gráficos de Control** son la mejor herramienta para llevar a un proceso bajo control ya que me ayudan a detectar las causas asignables/especiales de variación en el proceso en el momento en el que se den o existan. Además miden la tolerancia natural/común del proceso debida a variación normal o causas comunes. Es la herramienta principal para distinguir entre aleatoriedad, variabilidad natural y variabilidad no aleatoria.

La base para crear un Gráfico de Control es el concepto de “muestreo y distribución” el cual describe la variabilidad aleatoria (natural). Se realizan mediciones de muestra y se presentan sobre el gráfico. El examen de las características de estos datos te ayuda a distinguir entre las variaciones naturales y las variaciones debidas a causas asignables. Una vez que el Gráfico de

Anexo2.- Estudios de Capacidad de un Proceso

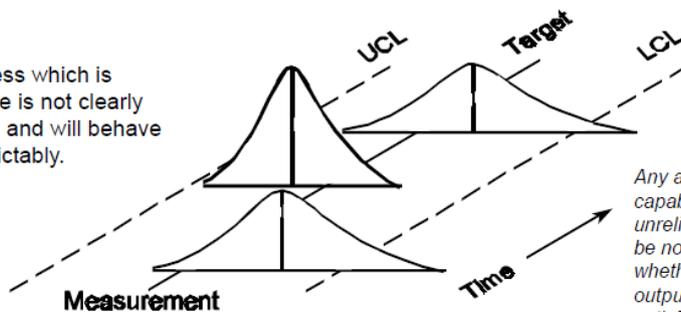
Control de la variable a estudio presente estabilidad entonces podré hacer un Estudio de Capacidad de los parámetros necesarios de mi proceso.

Un proceso bajo control producirá datos medibles (y presumiblemente piezas) dentro de los límites de control establecidos. Una vez que un proceso está bajo control (ESTABLE) y produciendo consistentemente dentro de su tolerancia natural, puede entonces y sólo entonces ser comparado con los límites de la tolerancia de ingeniería (o de diseño) para ver si es capaz de cumplir con esos límites.

Un proceso capaz está directamente relacionado con la habilidad del proceso de producir piezas consistentemente dentro de los límites de tolerancia del plano (o del diseño). La capacidad no puede ser estudiada hasta que el proceso esté bajo control, porque no sería lo suficientemente consistente como para confiar en los resultados del estudio. Aun así sería posible tener un proceso estable (bajo control) que no cumpla con los límites de tolerancia especificados por el plano de producción/diseño de la pieza (proceso bajo control pero no capaz de producir piezas según especificación).

- Before a process capability study is performed the process being studied must be stable.

- A process which is unstable is not clearly defined and will behave unpredictably.



Any analysis of process capability will be unreliable as there will be no way to determine whether or not the output of a process will satisfy the needs of the customer. Process capability studies performed on processes which are unstable will be incorrect.

Diagram of an unstable process

- A process which is stable is also repeatable and predictable. As such, reliable estimates can be made of future performance.

- One way to determine stability is plotting measurements on a control chart. If there is a Natural Pattern then the process will be described as stable. Process capability information will then be meaningful.

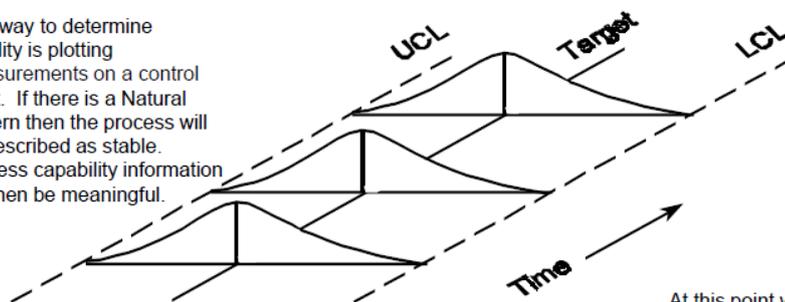
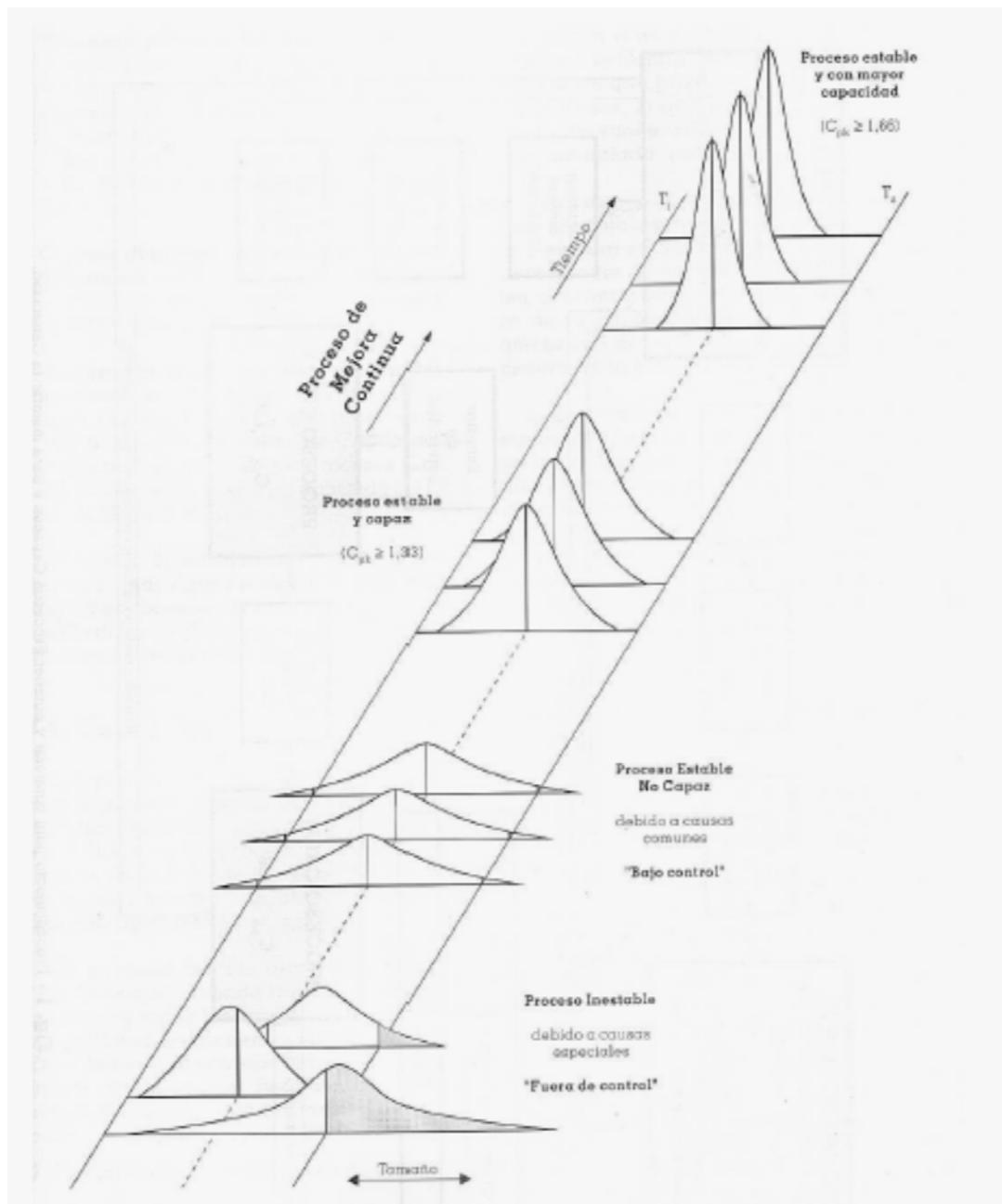


Diagram of a stable process

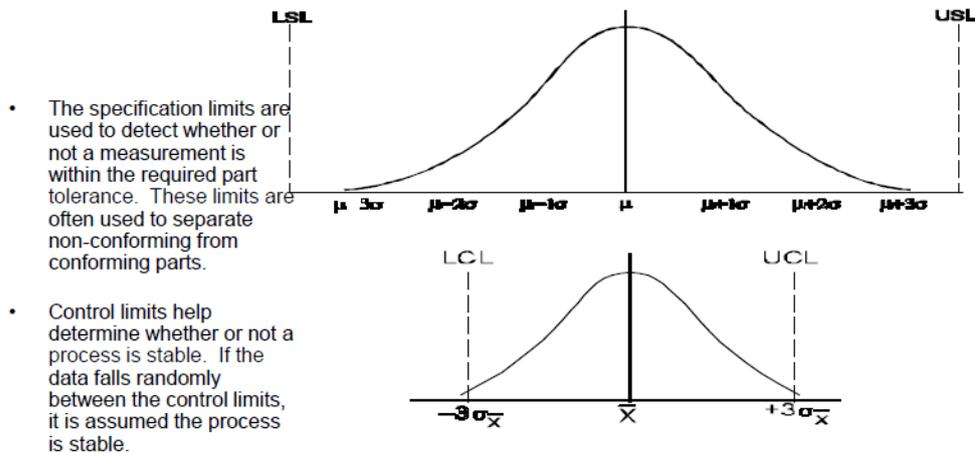
At this point we will review the distinction between specification limits and control limits.



Representación gráfica de la Mejora de Procesos.

Anexo2.- Estudios de Capacidad de un Proceso

Capacidad por definición significa que los límites de control que definan al proceso deben de estar dentro de los límites de tolerancia de la pieza.



Puntualizar que sería incorrecto presentar los Límites de la Especificación sobre un Gráfico de Control para las medias.

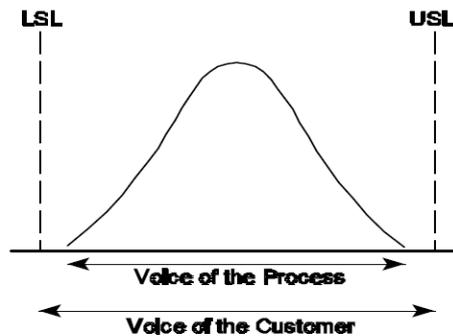
Tres son las principales condiciones que necesitan para que un proceso sea capaz:

- 1.- El proceso debe de estar bajo un estado de control estadístico.
- 2.- Los límites de control deben de estar bien dentro de los límites de tolerancia. El objetivo es un ratio de capacidad de proceso (PCR ó C_p) de 0,75 máximo (luego veremos cuál es éste parámetro).
- 3.- Antes de calcular el C_p , comprueba la distribución de los individuos tanto en Normalidad como en centralidad (lo cual significa que \bar{x} debería de estar próxima a la dimensión nominal).

Ventajas de tener al proceso bajo control:

- 1.- Hay más uniformidad (menos variación) entre unidades, lo cual disminuye las probabilidades de producir una unidad defectuosa.
- 2.- Se necesitan menos muestreos para juzgar la calidad del producto ya que son más uniformes.
- 3.- Los costes de inspección se reducen.
- 4.- Se puede hacer una definición más exacta/veraz de Capacidad para así tomar las mejores decisiones de negocio tal como: selección de los límites de la especificación, conocimiento del rendimiento ("yield") del proceso, selección del proceso apropiado,
- 5.- El porcentaje del producto producido dentro de los límites de la especificación puede ser calculado de una manera más exacta (yield %).
- 6.- Consistentemente menos achatarramiento, menos retrabajo y menos despilfarros de tiempo productivo y de dinero.

CAPACIDAD DE UN PROCESO. La capacidad de un proceso es la aptitud para generar un producto que cumpla con unas determinadas especificaciones. Podría ser definida también como el comportamiento normal de un proceso cuando opera bajo un estado de control estadístico e implica comparar la voz del cliente con la voz de nuestro proceso. Puede ser expresado como porcentaje de defectuoso (partes por millón) o en términos de una distribución.



Como ya hemos comentado anteriormente los factores o condiciones que afectan a los procesos productivos pueden ser de muy distinta naturaleza: Maquinaria, herramientas, métodos, condiciones ambientales, condiciones de trabajo, la gente ó mano de obra, materias primas, las mediciones,.....etc

Para analizar el comportamiento de un proceso se han de tomar muestras estadísticas del producto fabricado, sobre las cuales se analizarán las **CTQs o características críticas de calidad** ("**Critical To Quality**" features). Como mínimo se tomarán aquellas CTQs definidas por parte del cliente como críticas, ya que él es el único conocedor del diseño y del posterior funcionamiento del componente.

Desde el punto de vista del control estadístico es conveniente incluir/integrar la etapa de muestreo y ensayo dentro del proceso productivo mismo.

Cualquier modificación en las condiciones originales del proceso, conceptualmente debe considerarse como otro proceso totalmente distinto del anterior.

Desde el punto de vista estadístico la característica de calidad CTQ constituye una variable aleatoria porque aún después de realizar una serie de mediciones de varias piezas, el valor que se obtendría en la medición de la siguiente pieza no puede predecirse por cálculo.

El conjunto de todos los resultados de mediciones que pueden obtenerse es nuestro **universo o población**. Cualquier subconjunto de mediciones extraído del universo constituye una **muestra**.

El **universo hipotético** de mediciones de la característica de calidad serían los resultados obtenidos medidos hasta ése momento más aquellos que se obtendrían si el proceso continuara funcionando bajo las mismas condiciones.

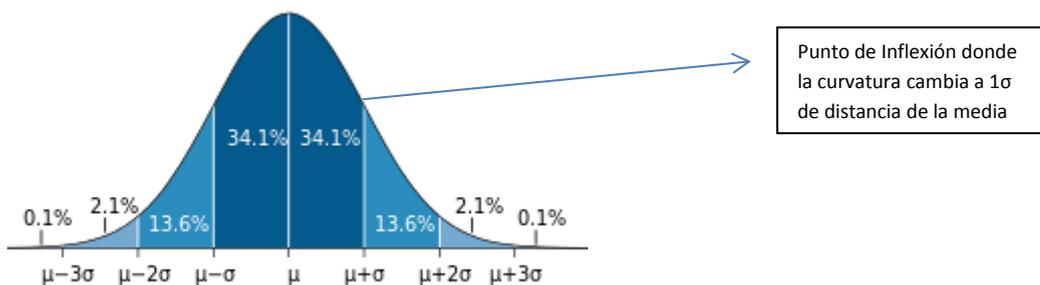
Hipótesis #1: En primer lugar vamos a suponer que la característica de calidad o variable aleatoria es continua y de distribución Normal.

Hipótesis #2: En segundo lugar consideraremos que el proceso está bajo control estadístico, es decir, que la variabilidad se debe solamente a un sistema constante de causas aleatorias y No intervienen causas asignables. Causas aleatorias es un conjunto grande de causas que afectan al proceso, cuyo efecto individual es pequeño y que actúan de forma aleatoria.

Anexo2.- Estudios de Capacidad de un Proceso

Veremos que los valores de una CTQ fluctúan alrededor de un valor central. Esto es lo que llamamos la **fluctuación natural y esperable del proceso**, la cual es inherente al mismo y no puede eliminarse, sólo puede reducirse realizando modificaciones al proceso mismo, lo cual significaría que estaríamos trabajando con otro proceso distinto. Ésta puede cuantificarse a través de la **desviación estándar** del mismo, con la cual podemos calcular los **límites de tolerancia natural del proceso**. Éstos límites no pueden fijarse voluntariamente, dependen del proceso y de las variables no controlables del mismo (a diferencia de los límites de control que yo me marque). **Generalmente se toma un rango para la fluctuación natural de 6 sigmas.** Los límites de especificación de un producto los fija el cliente, el fabricante o alguna norma.

Características específicas de la curva Normal: (σ : desviación estándar / μ : media)



El 68,26% del total de mis mediciones se dan en la zona de $\pm\sigma$ (área bajo la curva).

El 95,46% en $\pm 2\sigma$.

El 99,73% en $\pm 3\sigma$.

Esta curva debe de estar entre los 2 límites de la especificación (en el caso de especificación bi-lateral, lo más centrada posible y con la menor desviación estándar posible).

Valor Medio del proceso:

En un Gráfico de Control \bar{X} , R chart: $\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{X}}{k}$ donde k : número de subgrupos .

En control estadístico de Calidad este tipo de gráfico de control se usa para monitorizar datos de variables cuando las muestras de datos se recogen en intervalos de tiempo regulares.

En un Gráfico de datos individuales: $\bar{X} = \frac{\sum X}{n}$

Desviación Estándar del proceso:

Se podría considerar una variación del proceso tanto a corto plazo como a largo plazo.

La variación a Corto Plazo ("short term variation" σ_{st}) se estima de los Gráficos de Control. Los subgrupos se representan sobre un periodo de tiempo para maximizar la posible variación.

La variación de proceso a Largo Plazo ("long term variation" σ_{lt}) se estima a partir de la totalidad de los datos recogidos y se aproxima de cerca a la variación que será vista por nuestro cliente.

Si el proceso está bajo control σ_{st} se aproximará a σ_{lt} . El usar la variación de proceso a corto plazo para determinar la capacidad del proceso es una estimación optimista del desempeño del proceso.

Anexo2.- Estudios de Capacidad de un Proceso

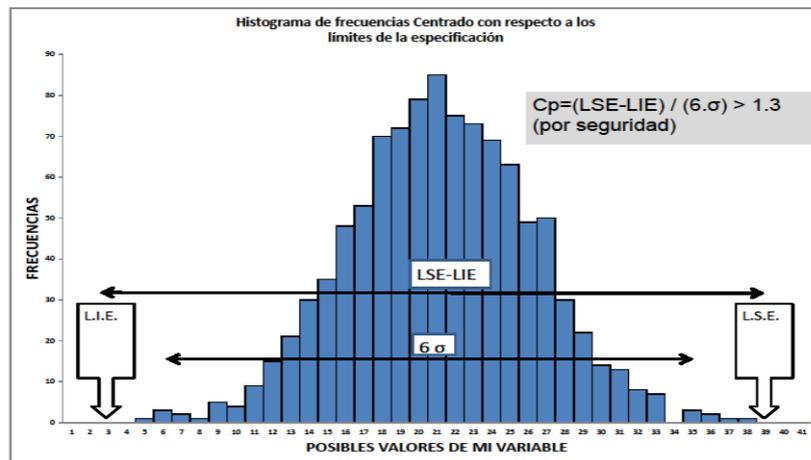
$$\text{Del Gráfico de Control } \bar{X}, R \text{ chart: } \sigma_{st} = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

$$\text{Del Gráfico de Control } X, mR \text{ chart: } \sigma_{st} = \frac{\overline{mR}}{1'13}$$

Estos valores de media y de desviación estándar se utilizarán en las fórmulas que veremos a continuación en la medida que apliquen.

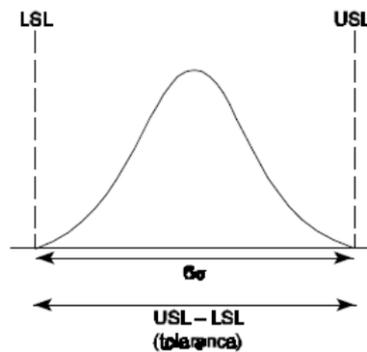
Para analizar la capacidad se puede utilizar un **histograma de frecuencias** (Gráfico de barras que muestra de forma visual la distribución de frecuencias de datos cuantitativos de una misma variable). Si se dispusiera de todos los datos del universo para la CTQ medida y se hiciera un histograma éste permitiría tener una idea exacta de la fluctuación natural del proceso. Como ésto es imposible es necesario tomar un número finito de mediciones (muestra mínima de 100-200) y efectuar con ellas un histograma de frecuencias para ésa muestra en particular (a modo de estimación del verdadero histograma del universo)

Histograma Centrado		
Posibles Valores de la Variable	Frecuencia (veces que se repiten)	valor x frec
0	0	0
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	1	4
5	3	15
6	2	12
7	1	7
8	5	40
9	4	36
10	9	90
11	15	165
12	21	252
13	30	390
14	35	490
15	48	720
16	53	848
17	70	1190
18	72	1296
19	79	1501
20	85	1700
21	75	1575
22	73	1606
23	69	1587
24	63	1512
25	49	1225
26	50	1300
27	30	810
28	22	616
29	14	406
30	13	390
31	8	248
32	7	224
33	0	0
34	3	102
35	2	70
36	1	36
37	1	37
38	0	0
39	0	0
40	0	0
nº total de mediciones:	1013	20500
	Media= 20500 /1013 =	20,23692004



Éste proceso aparentemente (según nuestra muestra seleccionada) tiene aptitud o capacidad para fabricar dicho producto.

Para cuantificar la CAPACIDAD DEL PROCESO se utilizan coeficientes que permiten comparar el rango/margen de la especificación con la fluctuación normal del proceso (6σ). Un método bastante común de medir la capacidad del proceso para una característica dada es la de comparar la dispersión del proceso (6σ) con la tolerancia dada por el plano:



Índice de capacidad de proceso: Para valorar la capacidad de calidad de un proceso con respecto a un parámetro y periodo de tiempo determinados, estimando la dispersión generada por todos sus factores de variabilidad y comparándola con las tolerancias del parámetro.

- Cp : compara la dispersión del proceso con las tolerancias del parámetro.
- Cpk : valora no sólo la dispersión sino también el centraje.

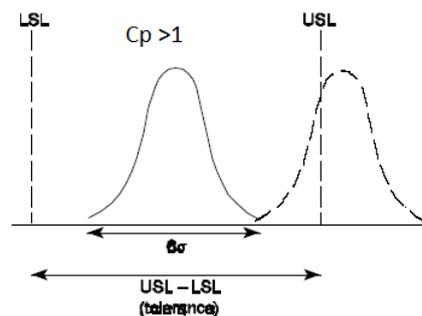
Anexo2.- Estudios de Capacidad de un Proceso

Dimensiones con Tolerancias Bilaterales:

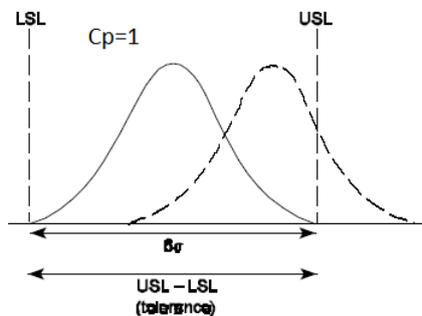
1.-) Cuando el centro de gravedad del rango de la especificación coincide con la tendencia central (o media) de las mediciones de mi proceso se usa el C_p . Relación entre la tolerancia especificada y la tolerancia natural del proceso o capacidad de proceso. Este índice relaciona la variabilidad propia del proceso con los límites de especificación establecidos para el producto o servicio resultado del mismo. Para considerar un Proceso Potencialmente Capaz es necesario que ("potential capability Index"):

$$C_p = \frac{\text{variación tolerada ó ancho de especific para el proceso}}{\text{amplitud de la variación real del proceso}} = \frac{(LSE - LIE)}{6 \cdot \sigma} > 1.33$$

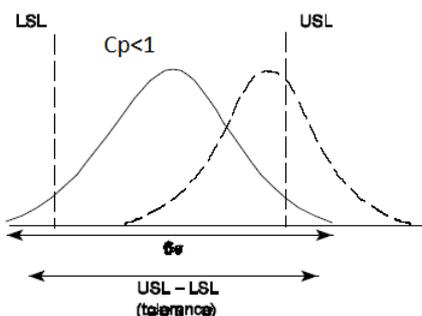
$C_p > 1$: el proceso tendría potencialmente suficiente capacidad. Sin embargo se exige que sea mayor de 1.3 por motivos de seguridad. El proceso es considerablemente menor que la tolerancia requerida.



$C_p = 1$: La dispersión del proceso es exactamente igual a la tolerancia. Cualquier ligera desviación en el proceso podría resultar en productos no-conformes.



$C_p < 1$: En éste caso la dispersión natural del proceso es mucho mayor que los requisitos de la especificación. El proceso NO es capaz.



Anexo2.- Estudios de Capacidad de un Proceso

Un proceso potencialmente capaz requiere que la variación real (natural) siempre sea menor que la variación tolerada.

Este índice C_p no tiene en cuenta el centrado del proceso ya que en su fórmula no se incluye a la media μ , por lo tanto describe la capacidad potencial (un proceso podría tener un buen C_p y aun así producir piezas no-conformes)

Valores de C_p y su interpretación

Valor de C_p	Clase o Categoría de Proceso	Decisión (si el proceso está centrado)
$C_p \geq 2$	Clase Mundial	Se tiene calidad seis sigma
$C_p > 1.33$	1	Adecuado
$1 < C_p \leq 1.33$	2	Parcialmente adecuado, requiere de un control estricto
$0.67 < C_p \leq 1$	3	No adecuado para el trabajo. Un análisis del proceso es necesario. Requiere modificaciones serias para alcanzar una calidad satisfactoria
$C_p \leq 0.67$	4	No adecuado para el trabajo. Requiere modificaciones muy serias

2.-) De forma similar al C_p se emplea también el **coeficiente C_r** (potencial estimación de la capacidad cuando la dispersión de mi proceso está centrada con respecto a los límites de la especificación):

$$C_r = \frac{1}{C_p} = \frac{6 \cdot \delta}{LSE - LIE} < 0,75$$

donde $\delta = \sigma$ ó $\delta(\text{para Gráficos Control}) = \frac{\text{rango medio}}{\text{cte para el tamaño de muestra dado}} = \frac{\bar{R}}{d_2}$

Este ratio da una idea del porcentaje de la tolerancia que se lleva la variación del proceso.

- $C_r > 1$: el proceso no cumple con los requisitos mínimos
- $C_r = 1$: el proceso cumple con los requisitos mínimos
- $C_r < 1$: el proceso excede de los requisitos mínimos

3.-) Cuando el centrado no ocurre se emplea el **coeficiente C_{pk}** ("performance capability index"). Mientras que los dos ratios anteriores describen una capacidad potencial C_{pk} da más información acerca del rendimiento actual del proceso. Valor que caracteriza la relación existente entre la media del proceso y su distancia al límite de especificación, por el cual el proceso dará un resultado más correcto. Es el índice utilizado para saber si el proceso se ajusta a las tolerancias (indica la capacidad real del proceso), es decir, si la media natural del proceso se encuentra centrada o no con relación al valor nominal del mismo.

$$C_{pk} = \frac{\Delta}{3 \cdot \sigma} = \frac{\text{Valor mín entre } (LSE - \bar{X}) \text{ y } (\bar{X} - LIE)}{3 \cdot \sigma} > 1.3$$

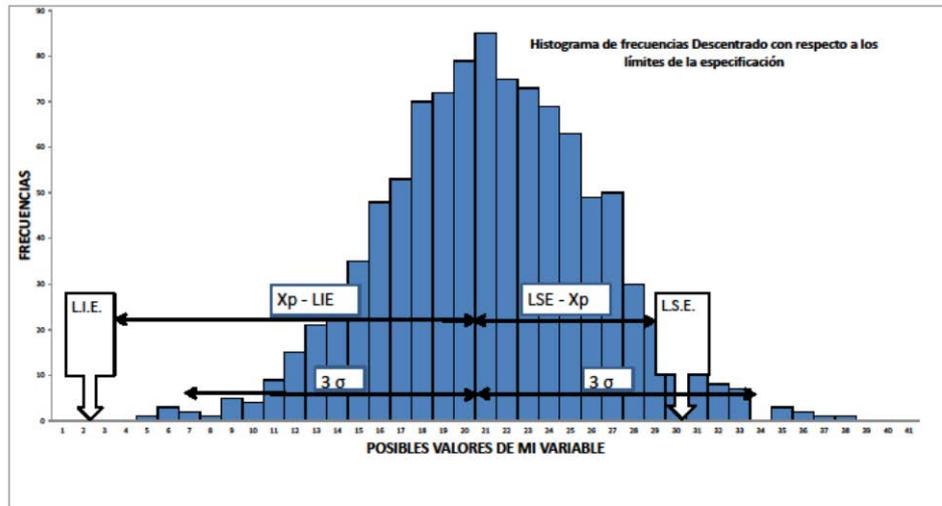
$C_{PK} > 1$: el proceso da artículos que cumplen con las especificaciones.

$C_{PK} < 1$: el proceso genera artículos fuera de las especificaciones.

$C_{PK} < 0$, es decir negativos, indican que la media del proceso está fuera de las especificaciones.

DPPM (defective parts per million; out of specification): Sobre la base del C_{pk} :

$$DPPM = \frac{\#defective\ parts}{\#total\ units} \cdot 1000000$$



En el gráfico anterior se puede observar que una buena parte del producto está por encima del LSE y sin embargo Cp podría erróneamente salir >1 . Por éste motivo se usaría en éste caso el Cpk resultando un $Cpk < 1$, lo cual me indica que éste proceso NO tendría suficiente capacidad tal y como claramente indica el histograma.

El uso del histograma para analizar la capacidad de un proceso tiene la ventaja de que se puede apreciar la forma de la distribución en el mismo, con lo cual se puede verificar la Hipótesis #1 (si es o no Distribución Normal).

El problema es que no se puede detectar la presencia de patrones no aleatorios, con lo cual no es posible confirmar o rechazar la hipótesis #2 de si el proceso está bajo control estadístico o no. Si el proceso no está bajo control estadístico los resultados del análisis de la capacidad de proceso no serán válidos y podrían llevarnos a conclusiones equivocadas.

Otra manera de analizar la capacidad de un proceso es por medio de los **gráficos de control** lo cual exige necesariamente someter al proceso bajo un control estadístico.

En consecuencia se puede utilizar la desviación estándar σ utilizada para calcular los **límites de control** para calcular los coeficientes de capacidad de proceso Cp ó Cpk.

Si éste es el caso se debe hacer una aclaración muy importante. Cuando se usan gráficos X-R, en el gráfico de X se representan los promedios de subgrupos, es decir, los promedios muestrales.

No se debe confundir la desviación estándar del proceso con la desviación estándar de los promedios muestrales.

Si la desviación estándar del proceso es σ y cada subgrupo tiene m mediciones, la desviación estándar entre subgrupos es:

$$\sigma_m = \frac{\sigma}{m}$$

Ejemplo: σ de 10 mediciones = $(\sigma \text{ proceso}) / 10$

Anexo2.- Estudios de Capacidad de un Proceso

Si se utiliza por error la desviación estándar entre subgrupos para calcular los coeficientes de capacidad del proceso, se obtendrán valores más altos que los que corresponden a la verdadera capacidad del proceso.

Adicionalmente a los dos índices de capacidad vistos anteriormente (C_p y C_{pk}) podría desarrollarse ésta otra clasificación más detallada:

- **Respecto a su posición:**
 - ❖ Índices Centrados con respecto a los límites
 - ❖ Índices Descentrados con respecto a los límites pero contenido.
 - ❖ Sólo con límite superior
 - ❖ Sólo con límite inferior
- **Respecto a su alcance temporal**
 - ❖ A corto plazo: **Capacidad Potencial**
 - ❖ A largo plazo: **Capacidad Global**

	Centrado	No centrado	Con límite superior	Con límite inferior
Corto Plazo	C_p	C_{pk}	CPU	CPL
Largo Plazo	P_p	P_{pk}	PPU	PPL

Una gran diferencia entre ambas capacidades es síntoma de que algo va mal y de que el proceso es mejorable.

ÍNDICE	USO	DEFINICIÓN	FORMULA
C_p o P_p	El proceso está centrado en los límites de especificación	Es el ratio entre la amplitud permitida (distancia entre los límites de especificación) y la amplitud natural	$(LES - LEI) / 6\sigma$
C_{pk} o P_{pk}	El proceso no está centrado en los límites de especificación, pero está contenido en ellos	Es el cociente entre la amplitud permitida y la amplitud natural, teniendo en cuenta la media del proceso respecto al punto medio de ambas límites de especificación	$\text{Min}\{ (LES - \mu) / 3\sigma, (\mu - LEI) / 3\sigma \}$
CPU o PPU	El proceso sólo tiene un límite de especificación superior		$(LES - \mu) / 3\sigma$
CPL o PPL	El proceso sólo tiene un límite de especificación inferior		$(\mu - LEI) / 3\sigma$

Anexo2.- Estudios de Capacidad de un Proceso

INDICES DE CAPACIDAD DESCENTRADOS: C_{PK} , CPU y CPL

$$\text{UNA ESPECIFICACIÓN: límite inferior} \quad CPL = \frac{\mu - LEI}{3 \cdot \sigma}$$

$$\text{UNA ESPECIFICACIÓN: límite superior} \quad CPU = \frac{LES - \mu}{3 \cdot \sigma}$$

$$\text{DOBLE ESPECIFICACIÓN:} \quad Cpk = \text{Mínimo} \left[\frac{\mu - LEI}{3 \cdot \sigma}, \frac{LES - \mu}{3 \cdot \sigma} \right]$$

Siempre $C_p \geq C_{pk}$:

@ Si $C_p \gg C_{pk}$ entonces la media del proceso está alejada del centro de las especificaciones. Como C_{pk} indica la capacidad real del proceso habrá que corregir la descentralización.

@ Si $C_p > C_{pk}$ entonces una vez que se centre el proceso se tendrá la clase de proceso que se desea.

@ Si $C_p \approx C_{pk}$ el proceso está muy cerca del punto medio de las especificaciones.

Caso	Recomendación de capacidad mínima de proceso para especificaciones con 2 límites	Recomendación de capacidad mínima de proceso para especificaciones con 1 límite
Proceso existente	1.33	1.25
Proceso nuevo	1.50	1.45
Parámetros críticos o de seguridad para procesos existentes	1.50	1.45
Parámetros críticos o de seguridad para procesos nuevos	1.67	1.60
Proceso de calidad de Six Sigma	2.00	2.00

En alguna ocasión al P_p le denominan C_m y al P_{pk} como C_{mk} ., sin embargo se tratan de los índices de capacidad de máquina (y no de proceso) los cuales se usan para valorar la capacidad de calidad de una máquina comparando la dispersión generada por ésta con las tolerancias del parámetro a valorar:

- C_m : compara la dispersión de la máquina con las tolerancias del parámetro.
- C_{mk} : valora no sólo la dispersión sino también el centraje.

Anexo2.- Estudios de Capacidad de un Proceso

INDICE CENTRADO DEL PROCESO K: Mide la diferencia entre la media del proceso (μ) y el valor objetivo o nominal (N) para la correspondiente característica de calidad.

$$K = \frac{\mu - N}{\frac{1}{2} \cdot (LES - LEI)}$$

- Sí K es positivo \Rightarrow media proceso es mayor valor nominal
- Sí K es negativo \Rightarrow media proceso es menor valor nominal
- $K < 20\%$ se puede considerar aceptable
- $K > 20\%$ \Rightarrow procesos muy descentrado, capacidad de procesos muy baja

INDICE DE TAGUCHI C_{pm} :

C_p y C_{pk} tratan de reducir la variabilidad del proceso para que éste cumpla con las especificaciones. C_{pm} sin embargo trata de reducir la variabilidad del proceso alrededor del valor nominal N de la característica a evaluar (en lugar de contra el rango de la especificación como hasta ahora).

$$C_{pm} = \frac{LES - LEI}{6 \cdot \tau} \quad \text{donde } \tau = \sqrt{\sigma^2 + (\mu - N)^2}$$

- N generalmente es el punto medio de especificaciones $0.5(LES*LEI)$
- Sí el proceso esta centrado $C_{pm} = C_p$
- Sí $C_{pm} < 1 \Rightarrow$ proceso no cumple especificaciones
- Sí $C_{pm} > 1 \rightarrow$ proceso cumple especificaciones y la media del proceso está dentro de la tercera parte media de especificaciones
- Sí $C_{pm} > 1.33 \Rightarrow$ proceso cumple especificaciones y la media del proceso está dentro de la quinta parte media de especificaciones

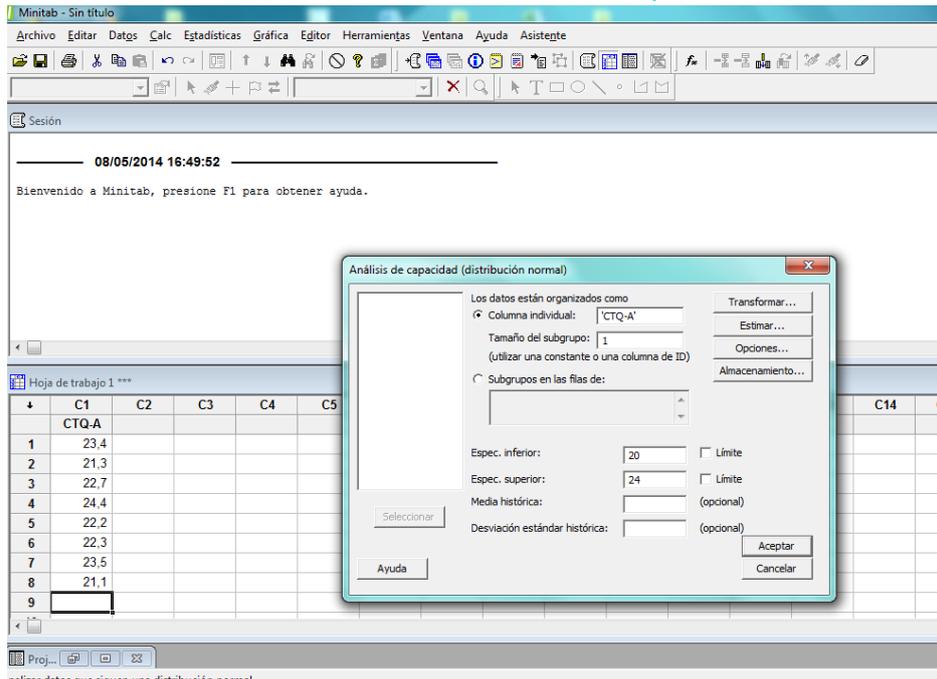
Capacidad potencial frente a capacidad que realmente desempeña mi proceso. Cuando un proceso está bajo control pero no es capaz de cumplir con los límites de la especificación se podrían tomar entre otras las siguientes acciones:

- Centrar el proceso
- Modificar el proceso (cambiar el método de fabricación)
- Comprar nuevo equipamiento
- Utilizar Métodos de resolución de problemas para mejorar la capacidad
- Si es posible revisar los límites de la especificación
- Hacer inspección 100%, como última opción

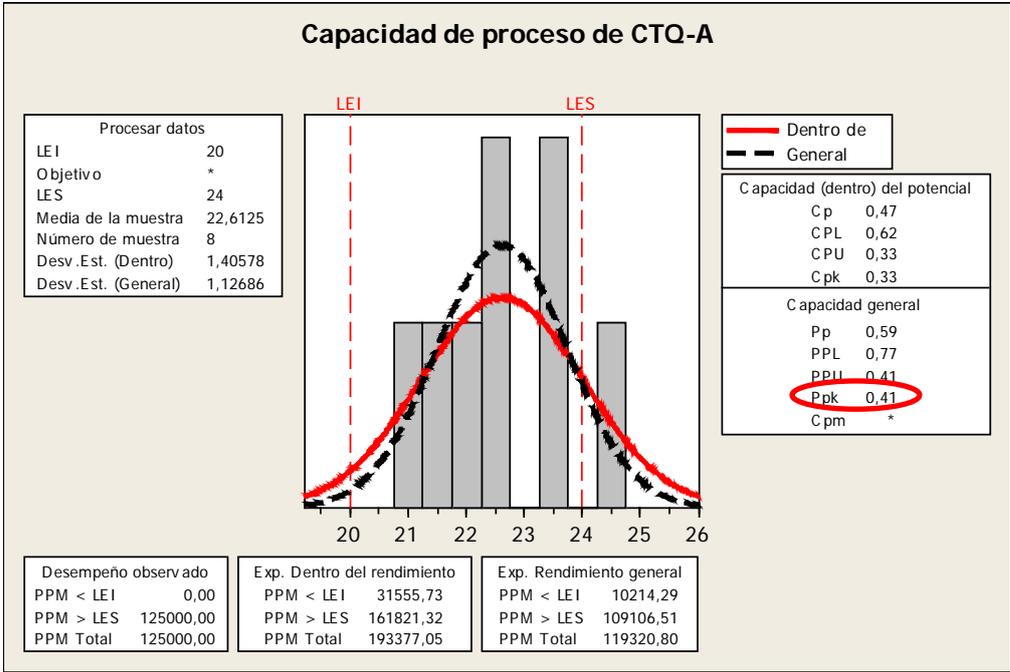
Anexo2.- Estudios de Capacidad de un Proceso

CALCULO DE LA CAPACIDAD DEL PROCESO CON MINITAB. METODO#1.

Estadísticas>Herramientas de Calidad>Análisis de Capacidad>Normal



Dentro de: a Corto Plazo (Línea Roja continua)
 General: a Largo Plazo (Línea negra discontinua)



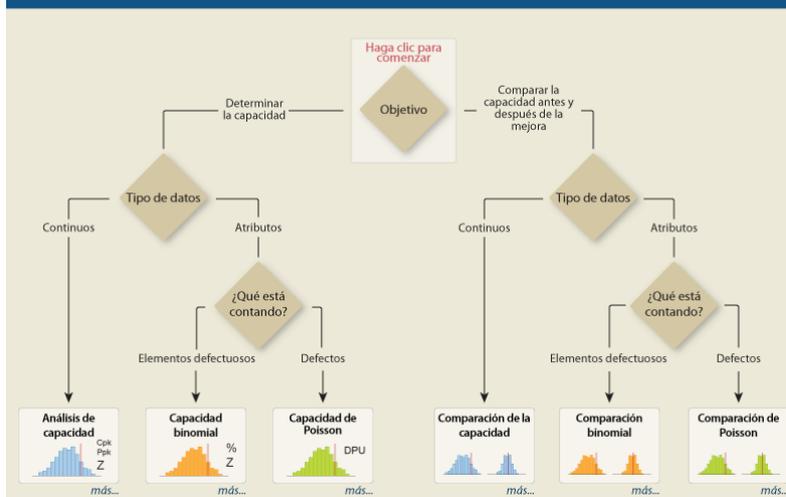
Anexo2.- Estudios de Capacidad de un Proceso

CALCULO DE LA CAPACIDAD DEL PROCESO CON MINITAB. METODO#2.

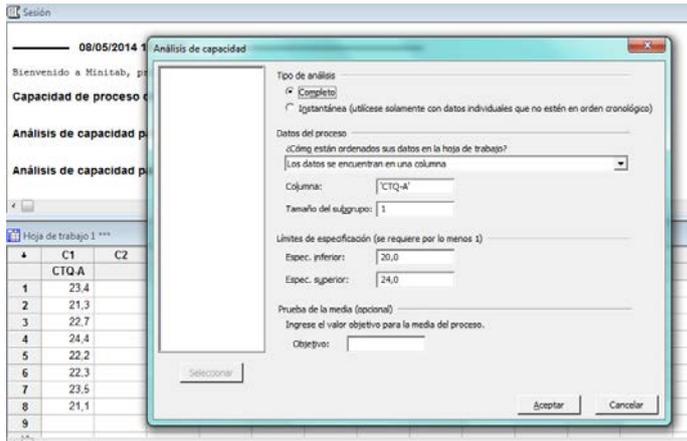
Asistente>Análisis de Capacidad [6σ>process report.....en anteriores versiones de Minitab]

Me aparecerá el siguiente menú:

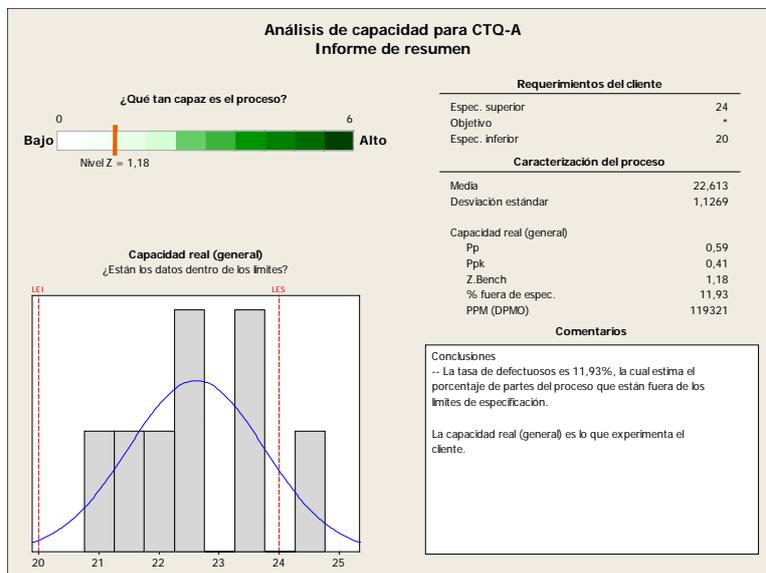
Elija un análisis de capacidad

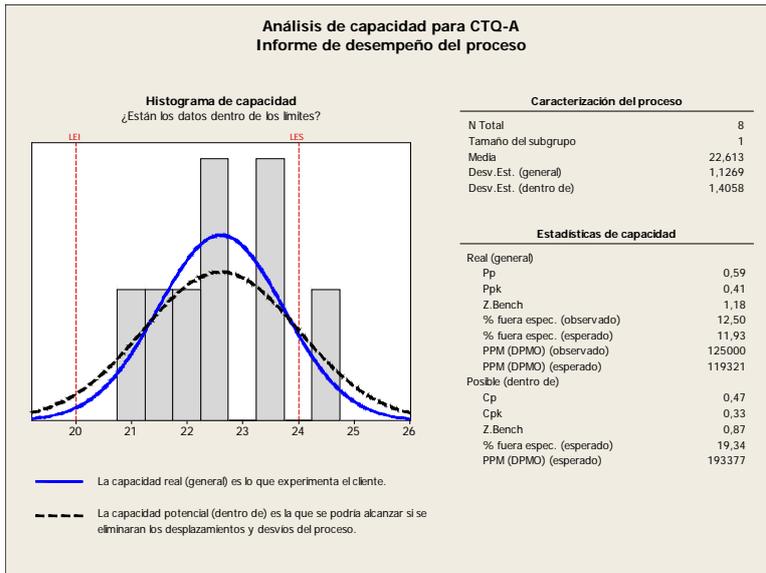


Elijo la opción inferior izquierda de “Análisis de Capacidad” para datos continuos por ejemplo:



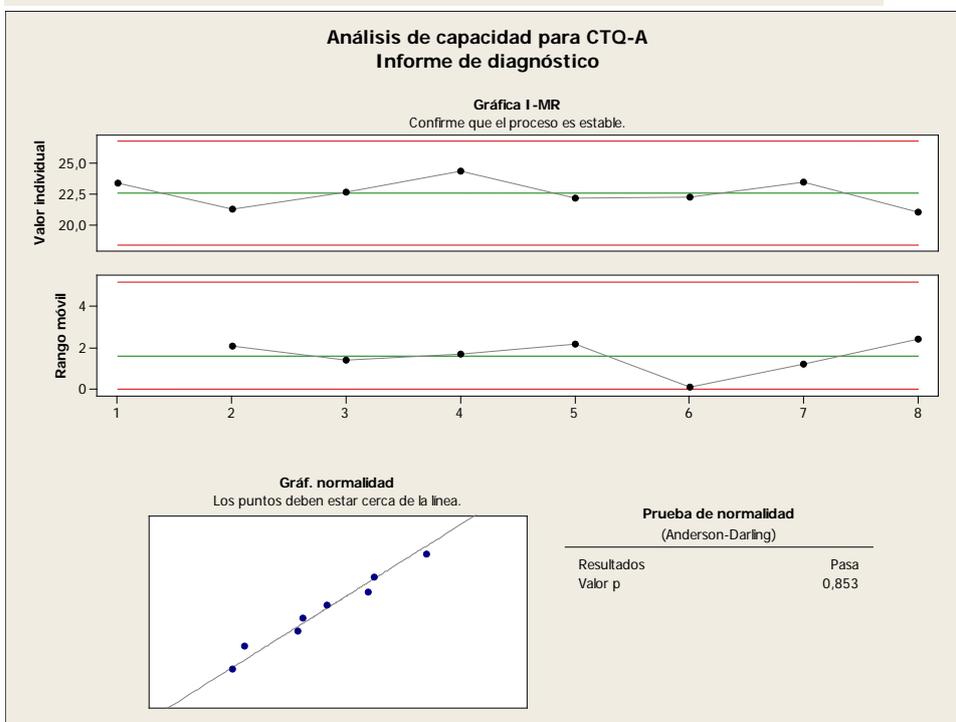
Y de ésta manera se obtienen los siguientes 4 informes de capacidad de la CTQ:





Análisis de capacidad para CTQ-A Tarjeta de informe

Verificar	Estado	Descripción
Estabilidad		La media y la variación del proceso son estables. No hay puntos fuera de control.
Número de subgrupos		Usted sólo tiene 8 subgrupos. Para un análisis de capacidad, generalmente se recomienda que usted recolecte por lo menos 25 subgrupos durante un período de tiempo lo suficientemente largo para captar las diferentes fuentes de variación del proceso.
Normalidad		Sus datos pasaron la prueba de normalidad. Mientras tenga suficientes datos, los estimados de la capacidad deberían ser razonablemente precisos.
Cantidad de datos		El número total de observaciones es menor que 100. Usted pudiera no contar con suficientes datos para obtener estimados razonablemente precisos de la capacidad. La precisión de los estimados disminuye a medida que se reduce el número de observaciones.



Anexo2.- Estudios de Capacidad de un Proceso

CALCULO DE LA CAPACIDAD DEL PROCESO EN EXCEL. METODO#3.

Hoja de cálculo en capacidad de un proceso SPC c_{pk} Calculation. Xls

En ésta plantilla Excel se puede trabajar con tolerancias de especificación tanto uni-laterales como bilaterales.

#	CTQ	Zone	LSL	NOMINAL	USL	x bar	STDEV	Ppl	Ppu	Pp	Ppk	Sigma	<1s	1s	2s	3s	4s	5s	6s	remark	
1	CTQ A		20.0000		24.0000	22.6125	1.0541	0.8262	0.4388	0.6325	0.4388	1.3		X							
1						#DIV/0!	#DIV/0!	N/A	N/A	N/A	0.0000	0.0									
1						#DIV/0!	#DIV/0!	N/A	N/A	N/A	0.0000	0.0									
1						#DIV/0!	#DIV/0!	N/A	N/A	N/A	0.0000	0.0									
1						#DIV/0!	#DIV/0!	N/A	N/A	N/A	0.0000	0.0									
1						#DIV/0!	#DIV/0!	N/A	N/A	N/A	0.0000	0.0									
1						#DIV/0!	#DIV/0!	N/A	N/A	N/A	0.0000	0.0									

Estudios de capacidad de Procesos. Estudios de capacidad para variables continuas.

Paso#1.- Comprobar si la distribución de los datos es aunque sea de manera aproximada Normal o no.

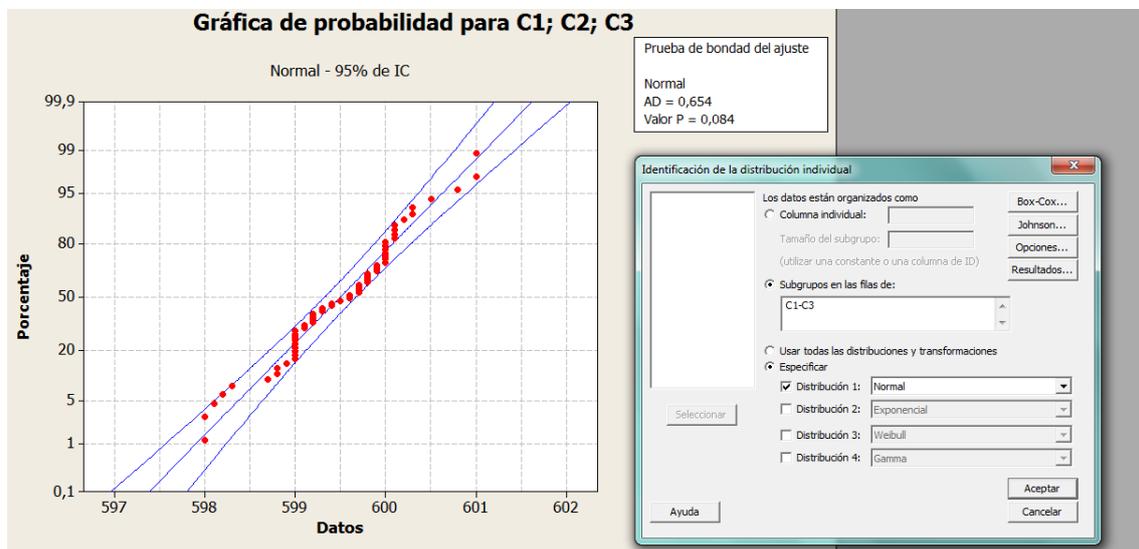
Para ello en Minitab iremos a:

@ Cuando los datos están todos en una misma columna:

[Estadísticas>Estadística Básica>Prueba de Normalidad](#)

@ Cuando los datos a evaluar están repartidos en varias columnas:

[Estadística>Herramientas de Calidad>identificación de la distribución individual](#)



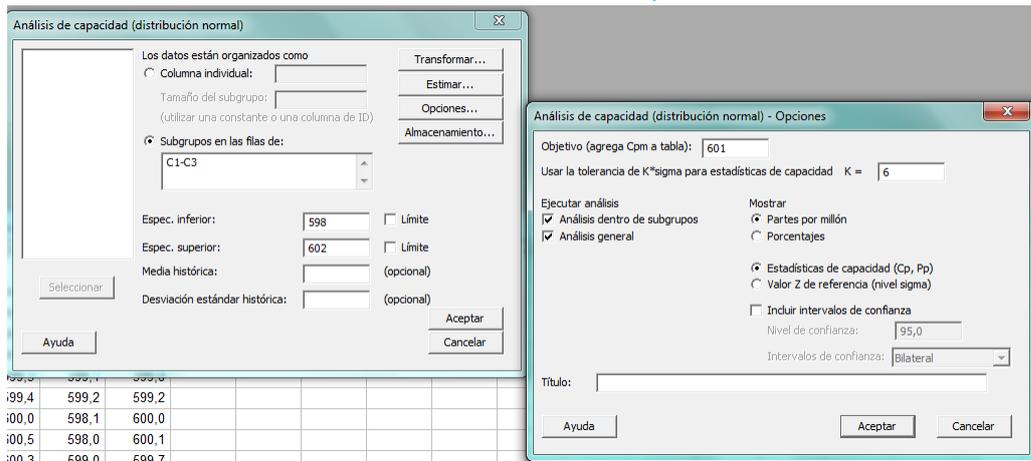
Elijo la distribución a la que quiero ajustar los datos (Distribución Normal) y obtengo un gráfico probabilístico acompañado por el valor estadístico de Anderson Darling y su p-valor asociado. Si p-valor>0,05 podremos confirmar que es normal.

Paso#2.- Comprobar si los datos proceden de un proceso en estado estacionario. Para ello realizaremos un gráfico de control \bar{X}, R que nos permite comprobar que los datos proceden de un proceso bajo control.

Anexo2.- Estudios de Capacidad de un Proceso

Paso#3.-Realizamos ya sí el estudio de Capacidad en:

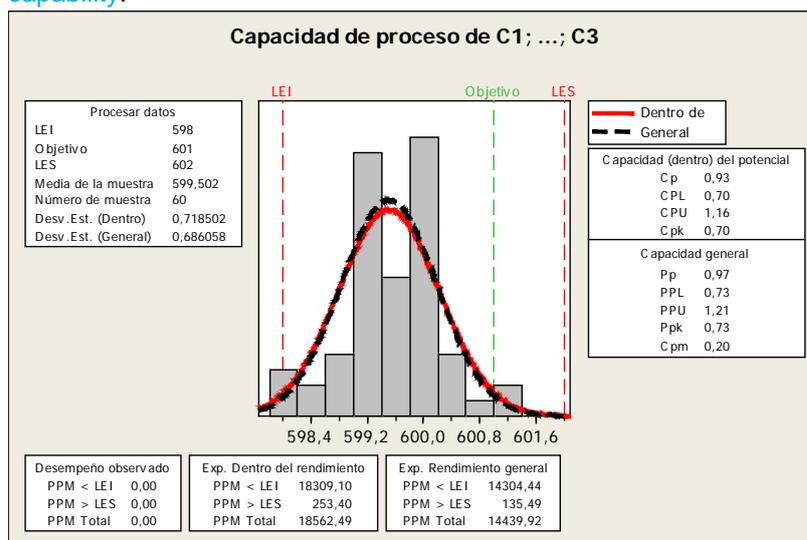
Estadísticas>Herramientas de Calidad>Análisis de Capacidad>Normal



Se seleccionarían las casillas “límite” en el caso de que sea imposible que ningún dato viole ése límite/s.

El botón “estimar” permite seleccionar el método para estimar la desviación típica. Para muestras mayores que 1 se puede optar por el “método de los rangos” o por dos métodos basados en la cuasidesviación típica muestral, el “Sbar” que calcula la media de las cuasivarianzas en cada grupo y el “pooled” que lo hace a través del sumatorio de las desviaciones cuadráticas de cada dato a la media de su grupo. Para más información al respecto se puede seleccionar el botón de ayuda.

El botón “opciones” permite definir un valor objetivo que permite calcular los índices de capacidad CC_{pk} y C_{pm} , sustituyendo la media del proceso por el valor objetivo en la definición de los índices de capacidad real. En la ayuda se pueden encontrar las definiciones de todos los estadísticos utilizados en [Methods and Formulas>Quality process and Improvement>Process capability](#).

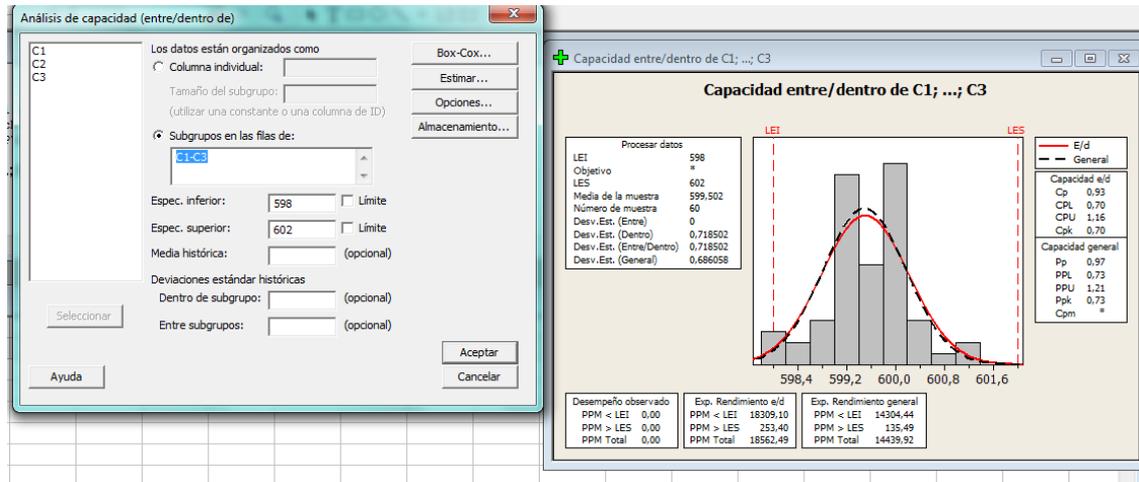


Se presentan 2 curvas normales asociadas a las 2 estimaciones de la dispersión a CP(dentro o “within”) y a LP (General o “overall”). En la parte derecha se calculan los índices de capacidad potencial (a LP), inferior, superior, real y respecto al valor objetivo. En la parte inferior se calcula el número de defectos por millón a partir de los datos observados y de las curvas normales, con la desviación estándar dentro y general.

Anexo2.- Estudios de Capacidad de un Proceso

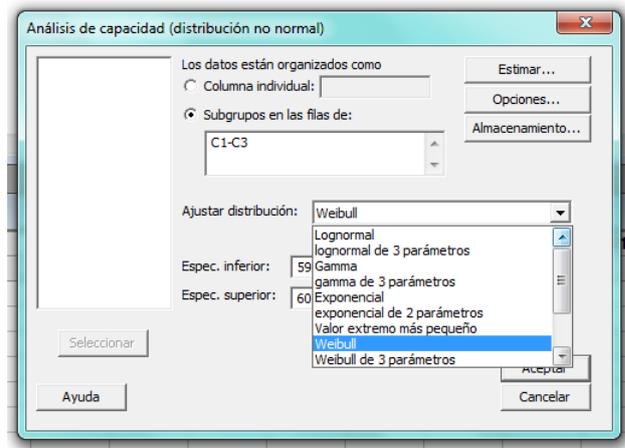
También se podría realizar el Estudio de Capacidad de los datos utilizando la estimación de la desviación típica en Minitab de la siguiente manera:

[Estadísticas>Herramientas de Calidad>Análisis de capacidad>Entre/Dentro](#)



En Minitab también se podría seleccionar la distribución que mejor se ajusta a los datos y realizar con ella el estudio de capacidad:

[Estadísticas>Herramientas de Calidad>Análisis de capacidad>No Normal](#)

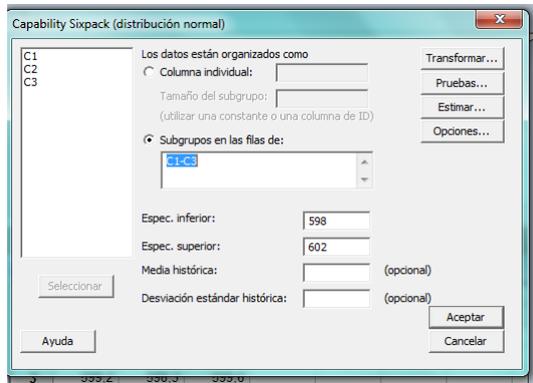


Adicionalmente a los que aparecen encima en el menú desplegable estarías; valor extremo más grande, Logística, Loglogística y Loglogística de 3 parámetros.

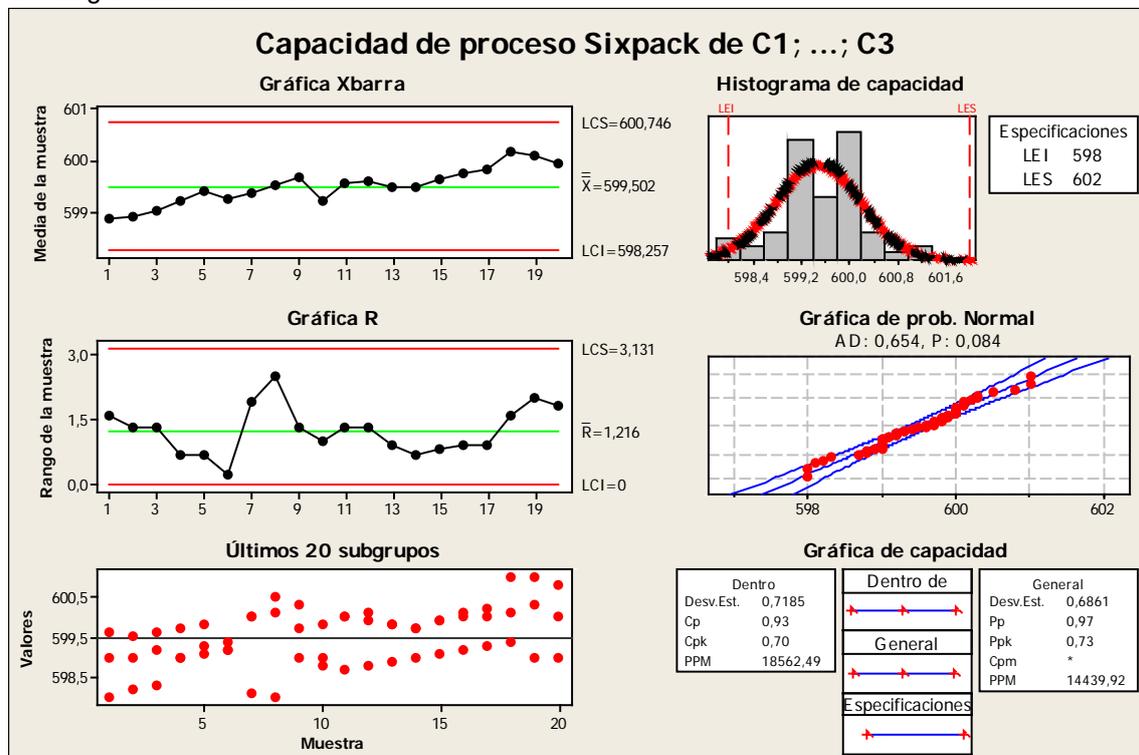
Anexo2.- Estudios de Capacidad de un Proceso

De igual manera se podría obtener un panel con todos los análisis relevantes de un Estudio de Capacidad tanto para distribuciones normales, utilizando la estimación de la desviación típica y para distribuciones no normales:

Estadísticas>Herramientas de Calidad>Capability Sixpack> Normal / Entre/Dentro / No-Normal



Donde el botón "Tests..." te permite seleccionar los tests de aleatoriedad que se van a aplicar en los gráficos de control.



Obteniéndose:

- Gráficos de control para la media
- Gráficos de control para la R
- El histograma con el ajuste a las 2 distribuciones normales
- El gráfico de probabilidad normal
- La representación gráfica de los datos por muestras
- Resultados numéricos de los índices de capacidad

Anexo2.- Estudios de Capacidad de un Proceso

Estudios de Capacidad de procesos para variables o datos discretos o Atributos.

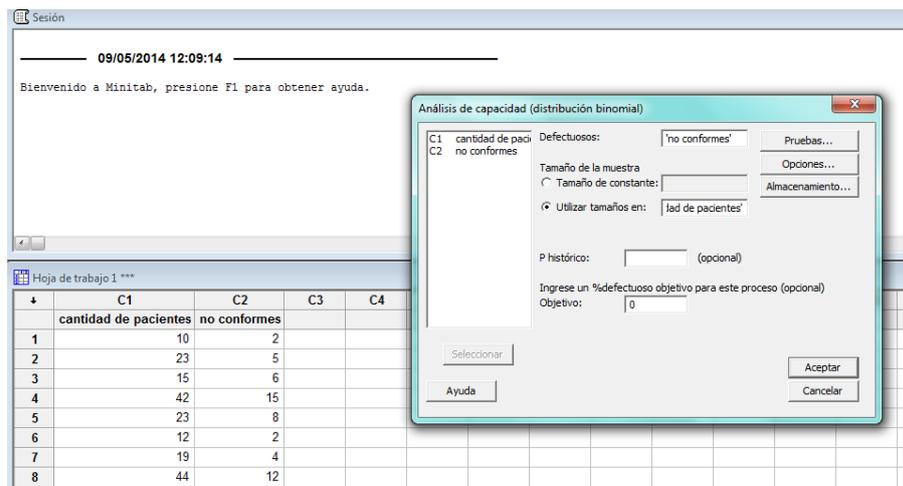
Pongamos el ejemplo de un hospital en el que cada mes se encuesta a todos los enfermos a los que se les da el alta (por lo tanto tenemos muestras mensuales de distinto tamaño) en relación a la calidad de la comida.

Se desarrollan Gráficos de Control para vigilar la **proporción de insatisfechos** en las muestras mensuales de distinto tamaño, por lo tanto estamos hablando de un **Gráfico de Control tipo p**.

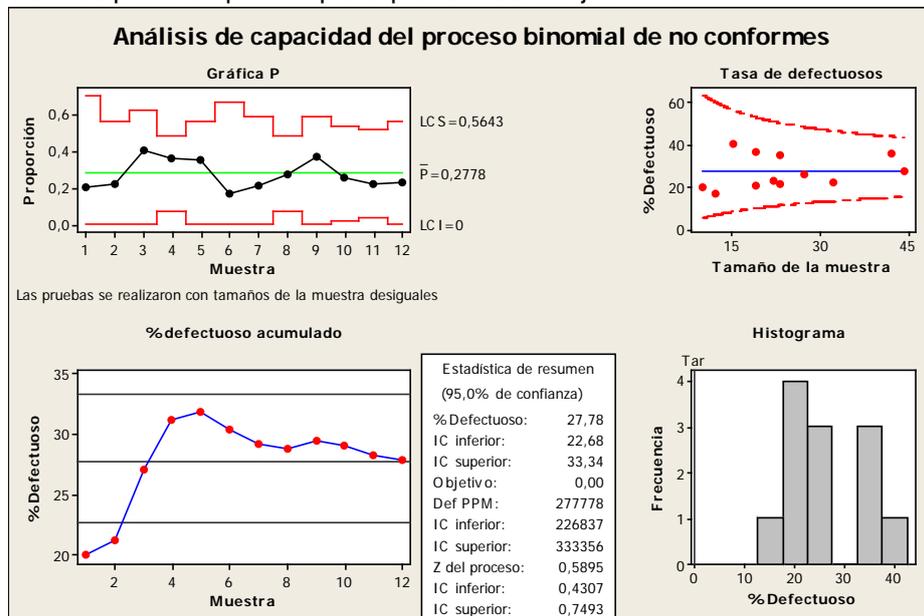
Columna C1: los tamaños muestrales o “cantidad de pacientes”

Columna C2: nº de pacientes disconformes en cada muestra o “no conformes”

Estadística>Herramientas de Calidad>Análisis de Capacidad>Binomial



El objetivo, por defecto, son cero defectos. El botón “test” permite seleccionar hasta 4 ensayos distintos para comprobar que el proceso está bajo control.



Como se puede observar los resultados del pasado año son inaceptables.

Anexo2.- Estudios de Capacidad de un Proceso

Pongamos ahora el ejemplo de una máquina lectora de códigos postales en las cartas que le llegan a Correos. Durante un mes se analizaron 25 muestras de 100 cartas cada una y se registraron el número de errores.

Cada elemento o carta se clasifica como conforme o disconforme por lo que la evolución de disconforme se estudia mediante un **gráfico de control binomial NP** ya que el tamaño muestral es constante o fijo. Utilizamos el mismo procedimiento anterior con la salvedad de que ahora especificamos un tamaño fijo para las muestras.

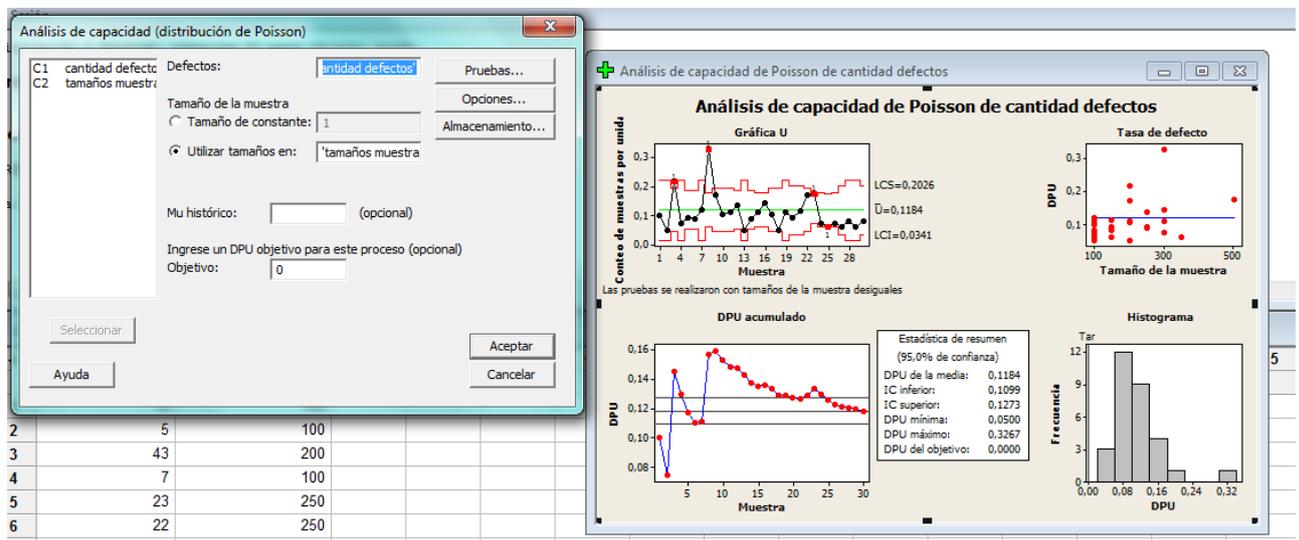
[Estadística>Herramientas de Calidad>Análisis de Capacidad>Binomial](#)

Los resultados también serán similares a los del anterior ejercicio excepto que el gráfico del porcentaje de defectuosos frente al tamaño muestral se ve sustituido por un gráfico probabilístico binomial.

Otro ejemplo. En una fábrica de tubos de acero cada día se inspeccionan un número distinto de metros en lo que a defectos en superficie se refiere. En un fichero de 2 columnas se anotan para cada día el número total de defectos y los metros revisados (tamaños muestrales).

El estudio de la **evolución del número de errores** se realiza en este caso mediante un **análisis de capacidad de Poisson**. Por defecto el DPU objetivo del proceso será 0.

[Estadística>Herramientas de Calidad>Análisis de Capacidad>Poisson...](#)



Guía para los Gráficos de Control

Son principalmente una herramienta en la etapa “Mejorar” para monitorizar la estabilidad y el control de un proceso, aunque también puede usarse como una herramienta de análisis en la etapa de “Analizar”.

Las descripciones de debajo nos darán una idea de los diferentes tipos de Gráficos de Control que hay, de cómo seleccionar el mejor gráfico para la situación concreta de monitorización que se nos dé así como del método para usarlos para Análisis.

Identificar la variación

Cuando un proceso es estable y está bajo control nos muestra la variación de causa común (la inherente al proceso). Un proceso está bajo control cuando en base a la experiencia pasada se puede predecir cómo variará (dentro de unos límites) en el futuro. Si el proceso es inestable mostrará la variación debida a causas especiales, variación no aleatoria debida a factores externos.

Los Gráficos de Control son herramientas simples pero muy robustas para hacernos entender cuál es la variabilidad del proceso.

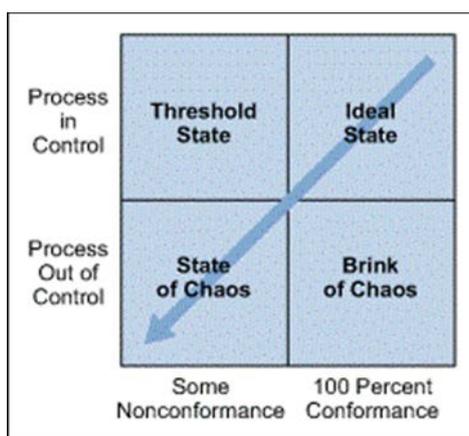
Los cuatro posibles estados de un proceso: Ideal, Umbral o zona intermedia, al borde del caos y en el propio caos.

Cuando un proceso opera en su estado ideal es porque está bajo control estadístico produciendo al 100% de manera conforme. Este proceso habrá probado estabilidad y desempeño según el objetivo a lo largo del tiempo. Es predecible y su resultado o salida cumple con las expectativas del cliente.

Un proceso que está en el umbral se caracteriza por estar bajo control estadístico pero todavía produciendo no-conformidades ocasionales. Genera un nivel constante de no-conformidades y presenta una baja capacidad. Aunque predecible no cumple de manera consistente las necesidades del cliente.

Un proceso al borde del caos refleja a un proceso que no está bajo control estadístico pero que tampoco produce defectos. En otras palabras, es impredecible pero sus salidas todavía cumplen con los requisitos del cliente. La falta de defectos nos lleva a una falsa sensación de seguridad, sin embargo, puede producir no-conformidades en cualquier momento.

Un proceso en el caos no está estadísticamente bajo control y produce niveles impredecibles de no-conformidad.

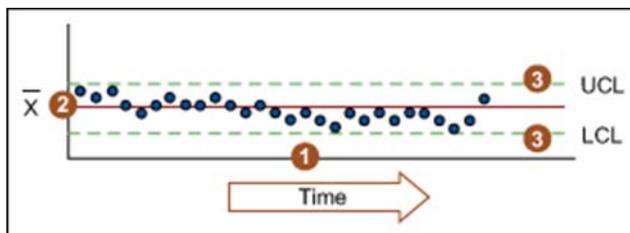


Todo proceso cae en uno de éstos estados en un momento dado, pero no permanecerá en ese estado. Todos los procesos migrarán hacia el estado del caos, momento en el que generalmente las empresas comienzan a tomar medidas.

Los Gráficos de Control son herramientas robustas y efectivas a emplear en la detección de ésta degradación natural del proceso.

Los 3 elementos de un gráfico de control:

- 1.- Empieza con un gráfico en función del tiempo (eje-x) y con las mediciones en el eje-y.
- 2.- Se añade una línea central \bar{X} como una referencia visual para detectar los desvíos/cambios y las tendencias, a la cual se le suele llamar como localización del proceso.
- 3.- Se computan los Límites de Control superior e inferior (LCS y LCI; en inglés UCL y LCL) a partir de los datos disponibles y se colocan equidistantes a la línea central, a lo cual se le llama dispersión del proceso.



Los Límites de Control nos aseguran que no se desperdicia el tiempo en busca de problemas innecesarios o insignificantes y que sólo se toman medidas donde y cuando sea realmente necesario (meta de toda mejora de proceso).

Para ello se calcula la desviación estándar (σ) de los datos de la muestra y la multiplico por tres. El valor obtenido sumado a la media me resulta en el LCS y restado en el LCI.

Matemáticamente el cálculo de los límites de control parecería como:

$$CL = average \pm (3 \cdot \hat{\sigma})$$

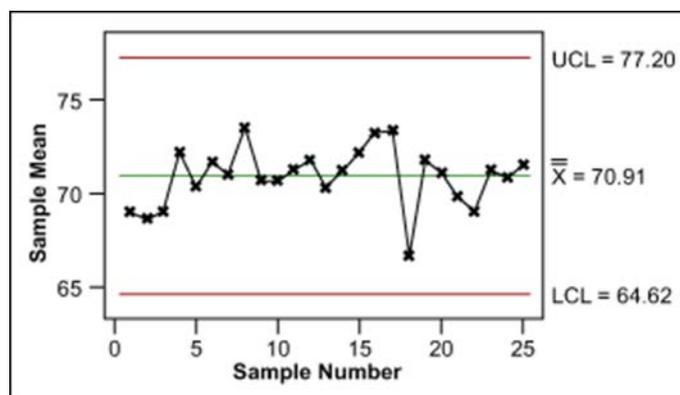
Siendo $\hat{\sigma}$ una estimación de la desviación estándar y no la desviación estándar real de la población.

Como los Límites de Control se calculan a partir de los datos del proceso serán independientes de los límites de la especificación del cliente.

Las reglas de control toman ventaja de la curva normal en la cual el 99,73% de los datos caerán dentro de $\pm 3 \cdot \sigma$ desde la media. Por lo tanto los datos deberían de estar normalmente distribuidos (o transformados) cuando se usen los Gráficos de Control, ya que si no el gráfico podría señalar inesperadamente una alta tasa de falsas alarmas.

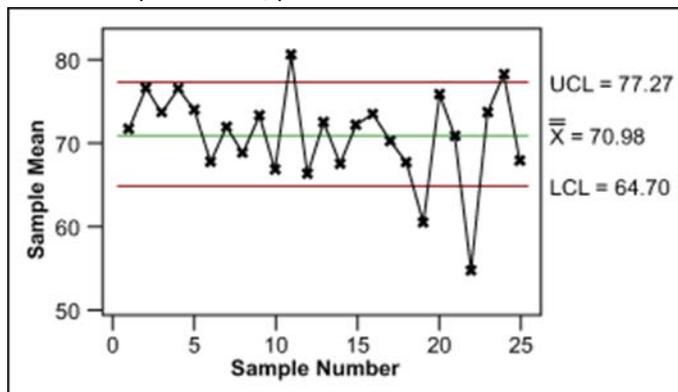
Variación bajo Control:

Se caracteriza por un patrón de variación estable y consistente a lo largo del tiempo, asociado a causas comunes. Un proceso que opera con variación controlada resulta en un proceso con resultados predecibles dentro de los límites marcados por los Límites de Control.

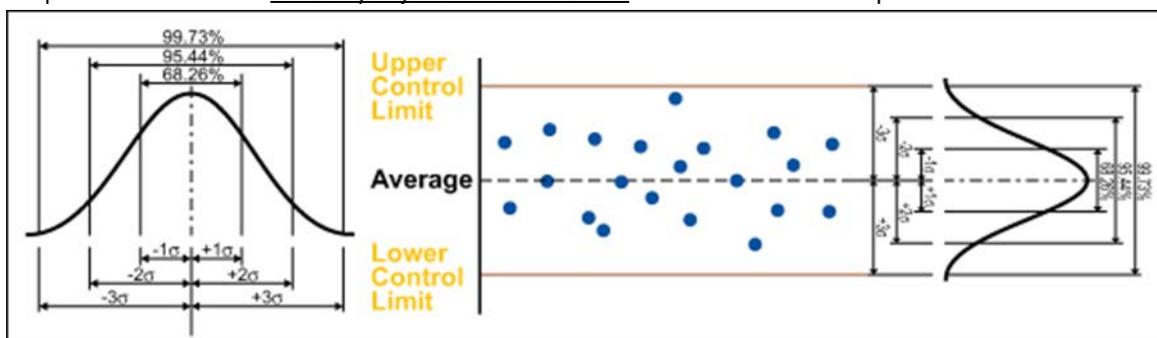


Variación descontrolada:

Se caracteriza por una variación que cambia a lo largo del tiempo y que está asociada a causas especiales. Los resultados son impredecibles, pudiendo satisfacer o no a los clientes.



Un proceso debe de ser estable y bajo control estadístico antes de evaluar su capacidad.



Selección del Gráfico de Control más apropiado:

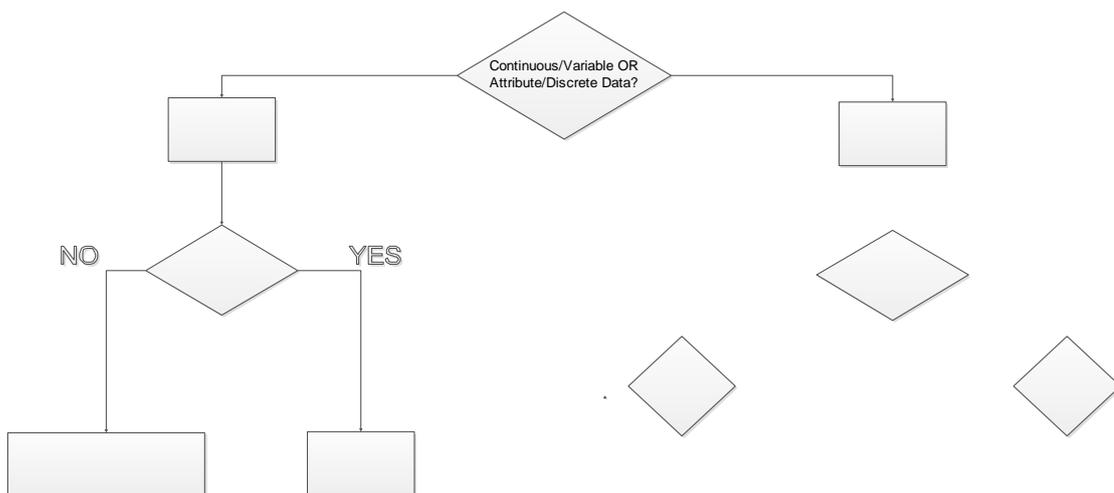
Puntos a tener en cuenta:

- Los Gráficos de Control de Variables (aquellos que miden la variación en una escala continua) son más sensibles al cambio que los Gráficos de Control de Atributos (aquellos que miden la variación en una escala discreta).
- Los Gráficos de Control de Variables son útiles para procesos del tipo desgaste de una herramienta.
- Usar un "Gráfico de Control de Individuos" cuando se disponga de pocas mediciones y cuando el subgrupo natural todavía no se conozca.
- Una medida de las unidades defectuosas se encuentra con Gráficos "u" y "c".
- En un "Gráfico de Control-u" los defectos dentro de la unidad deben de ser independientes uno del otro. Estos gráficos se usan para artículos continuos, como pudiera ser la tela (en la cual se dan x defectos por metro cuadrado)
- Un "Gráfico de Control-c" es una alternativa útil al del tipo-u cuando se da una gran variedad de posibles defectos sobre una misma unidad, pero el que hecho de que se produzca un tipo de defecto es bastante improbable (por ejemplo defectos en un material laminado)
- Cuando se quieran representar proporciones, como por ejemplo tasas de cumplimiento o rendimientos de proceso, los Gráficos de Control $-p$ y $-np$ son de utilidad.

Anexo3.- Gráficos de Control

Dos tipos de Gráficos de Control:

Gráfico Variable o Continuo	<ul style="list-style-type: none"> - Usa valores medidos (tiempo de ciclo, longitudes, diámetros,.....etc). - Generalmente una característica por Gráfico. - Más caro pero contiene más información.
Gráfico Atributo o Discreto	<ul style="list-style-type: none"> - Información del tipo Pasa/No-pasa, Malo/Bueno, Pasa/Suspende..... - Puede haber muchas características por gráfico - Menos caro pero menos información



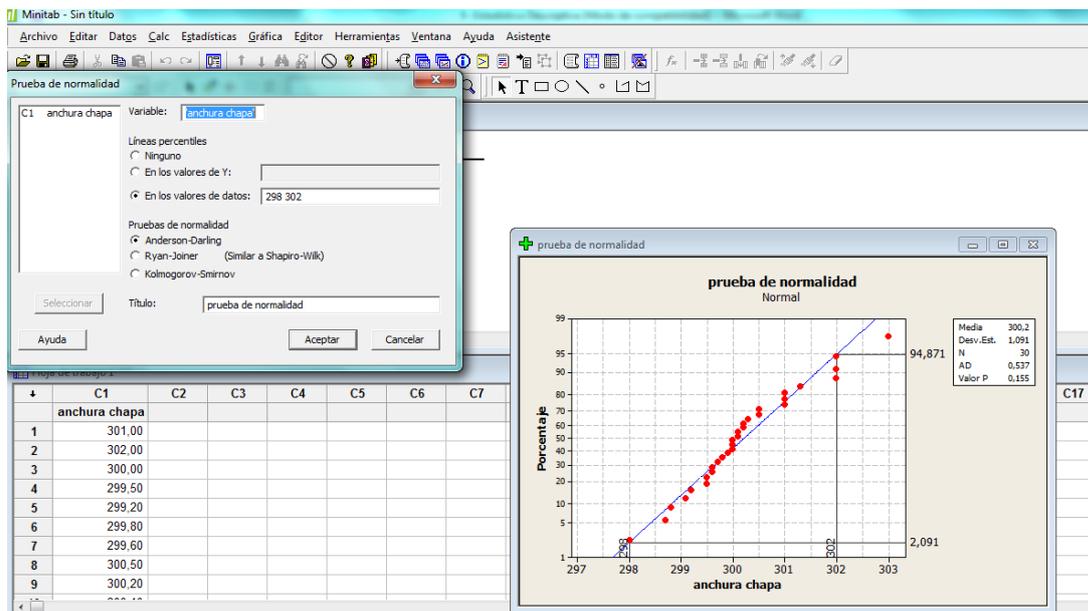
Cuando tengo pocos datos variables: gráficos de puntos individuales y de rango móvil.

Si tengo mucha cantidad de datos variables: gráfico X-bar&R

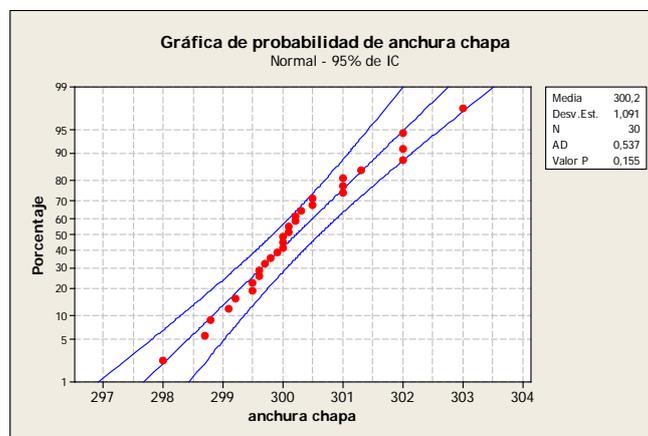
Anexo3.- Gráficos de Control

En un Gráfico de Control para variables, como se supone que la característica a evaluar tiene una distribución normal, habrá que hacer antes un test previo de normalidad:

Estadísticas>Estadística Básica>Prueba de Normalidad



El gráfico anterior podría realizarse también (si se quisiera incluyendo los intervalos de confianza) con la opción: [Gráfica>Gráfica de probabilidad](#)

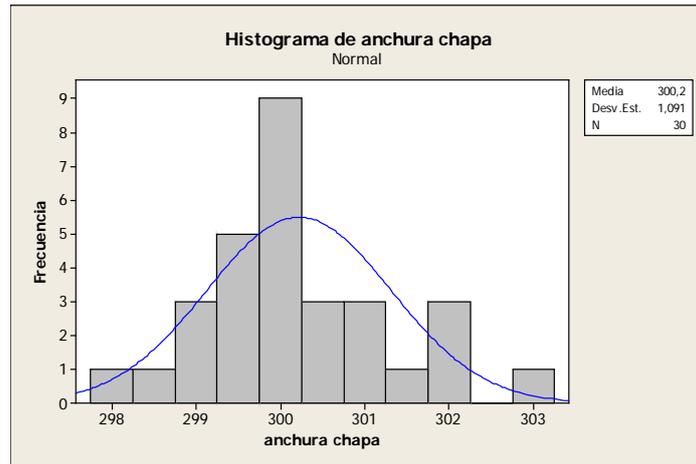


Cuando los datos se distribuyen de acuerdo a una distribución Normal los datos (los puntos rojos) estarán alineados en torno a la recta, la cual representa la distribución normal de los parámetros estimados a partir de la muestra.

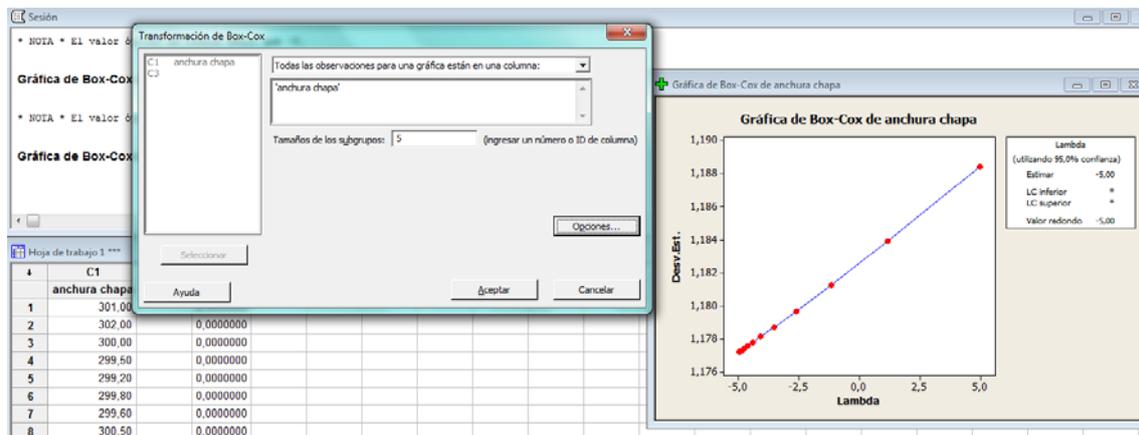
Si los datos estuvieran distribuidos de forma muy distinta a la distribución normal entonces es aconsejable realizar una transformación de los datos.

Se podría obtener una representación gráfica de los datos con su ajuste a la distribución Normal con la siguiente opción: [Gráfica>Histograma.....](#) (opción con ajuste)

Anexo3.- Gráficos de Control



La transformación de los datos buscando su aproximación a la distribución normal se realiza con la siguiente opción: [Estadísticas>Gráficos de Control>Transformación Box-Cox...](#)



La transformación Box-Cox consiste en elevar cada dato a una potencia λ , que es el parámetro que se estima a partir de la muestra si $\lambda \neq 0$. Si el valor estimado para λ es cero se toma el logaritmo del dato. Este tipo de transformación depende del tamaño muestral (tamaño del subgrupo).

Utilizando el botón de opciones se le puede indicar al Minitab que calcule el valor óptimo de λ a partir de los datos y que los valores transformados se almacenen por ejemplo en la columna C3, que luego podría representar en forma de histograma con la curva normal de ajuste.

Se proporciona una estimación puntual para λ y un intervalo de confianza del 95% y también un valor redondo para λ ("best value") que tiene una interpretación más sencilla.

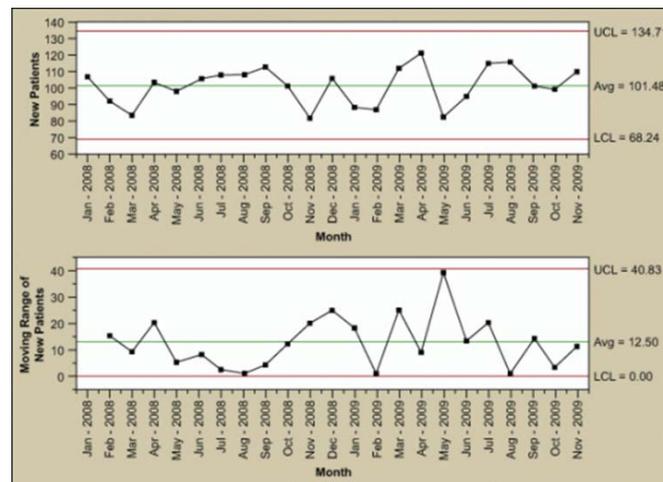
Anexo3.- Gráficos de Control

Gráfico de Individuos X y amplitud/intervalo móvil (I&MR): Se utiliza cuando se obtiene una medición o dato en cada instante de tiempo. En realidad se tratan de dos gráficos usados en tándem que juntos monitorizan tanto la media como la variación del proceso. Con el tiempo en el eje-x el gráfico muestra la historia del proceso. También denominado como IX-MR (X individual y rango móvil): gráfico de control de puntos de datos secuenciales junto con un gráfico de los rangos entre puntos.

El **gráfico I** se emplea para detectar tendencias y cambios en los datos y de éste modo en el proceso. Debe de tener los datos ordenados temporalmente, es decir, en la secuencia en que fueron generados, para que las tendencias y cambios sean correctamente atribuidas a la variación aleatoria de causa común.

El **gráfico MR** muestra la variación en el proceso a Corto Plazo, es decir, como si fuera una evaluación de la estabilidad de la variación del proceso. La amplitud móvil no es más que la diferencia entre observaciones consecutivas, de la cual se espera que sea predecible.

Los puntos fuera de los límites de control indican inestabilidad y si hubiera alguno habría que eliminar las causas especiales. Una vez que se elimine del gráfico MR el efecto de los puntos que estaban fuera de control, se podrá proceder con el análisis del gráfico I.



Se trata del mejor gráfico cuando:

- Se desconoce el tamaño del subgrupo natural
- La integridad de los datos me impide obtener una clara foto del subgrupo lógico
- Los datos son escasos por lo que hacer subgrupos no es práctico
- El subgrupo natural que debería ser evaluado no está definido todavía.

Ruta en Minitab: [Estadísticas>Gráficas de Control>Gráficas de variables para Individuos>I-MR...](#)

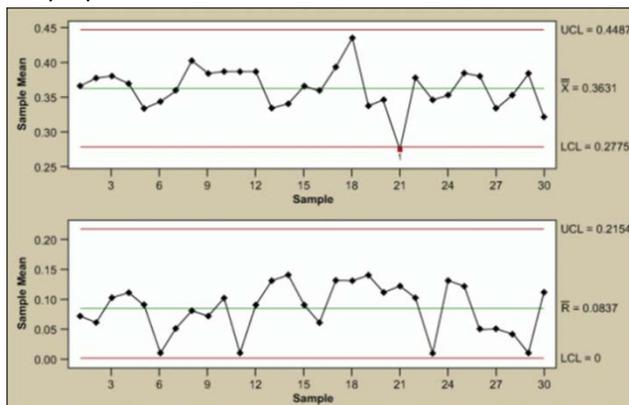
Anexo3.- Gráficos de Control

Gráfico de Control para la Media y la Dispersión (Xbar-Range Chart): También se compone de dos gráficos en tándem y se usa cuando puedes recoger datos en sub-grupos de 2-10 observaciones de manera racional. Cada subgrupo es como una foto congelada del proceso en un instante de tiempo dado, y como el tiempo está en el eje-x el gráfico te muestra la historia del proceso (los datos han de ir en orden temporal).

El **X-bar** Se usa para evaluar la consistencia de las medias del proceso mediante la representación de la media de cada subgrupo y es muy eficiente a la hora de detectar cambios relativamente grandes en la media del proceso (+/-σ ó mayor).

El **R-chart** se usa para representar las amplitudes/intervalos de cada subgrupo y se usa para evaluar la consistencia de la variación del proceso.

Primero se mira el R-Chart ya que si estuviera fuera de control no tiene sentido evaluar el gráfico X-bar.



Las fórmulas para calcular los Límites de Control vendrían dadas por la siguiente tabla (LC's en función de la amplitud media R-Bar---razón técnica por la que el Gráfico R debe de estar bajo control antes de nada). Si la amplitud es inestable los LC's se verán inflados lo cual nos podría causar un análisis equivocado y un trabajo posterior en áreas donde no sería necesario hacer nada. Para el Gráfico I-MR se suele usar un tamaño de muestra de n=2.

	LCL	UCL
Xbar chart	$\bar{X} - 3 \frac{\bar{R}}{d_2}$	$\bar{X} + 3 \frac{\bar{R}}{d_2}$
R chart	$D_3 \bar{R}$	$D_4 \bar{R}$
I chart	$\bar{X} - 3 \frac{\bar{R}}{d_2}$	$\bar{X} + 3 \frac{\bar{R}}{d_2}$
MR chart	0	$D_4 M\bar{R}$

\bar{R} : the mean of the ranges; la media de los rangos

\bar{X} : the mean of the means; la media de las medias

Donde d_2 es una constante del Gráfico de Control que depende del tamaño del subgrupo.

A continuación veremos en una tabla con las constantes para calcular los Límites de Control (LC's):

X-bar, R charts. Limits

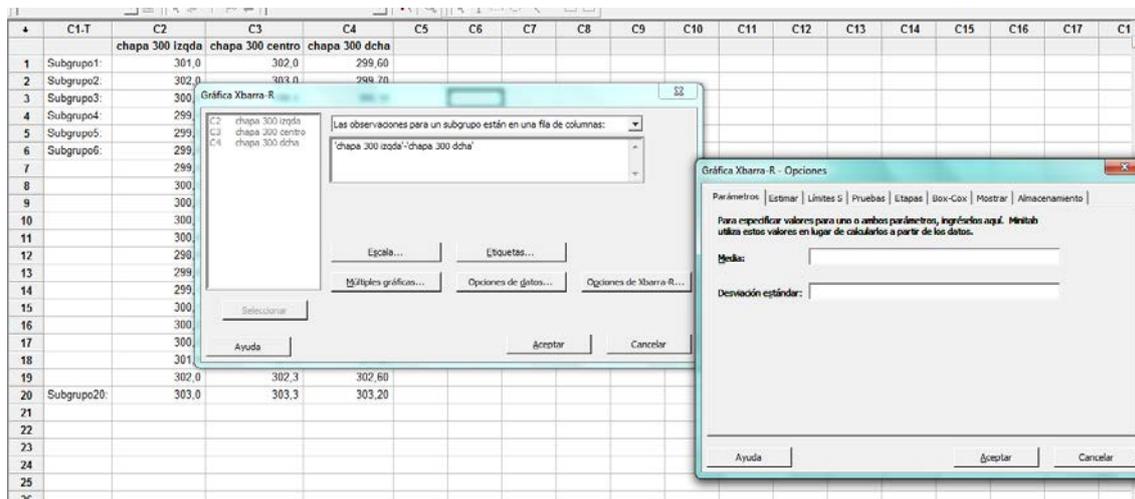
Number of observations in subgroup (n)	Factors for \bar{X} charts		Factors for R charts	
	$\hat{\sigma} = \bar{R}/d_2$	Control Limits: $\bar{X} \pm A_2 \cdot \bar{R}$	Lower Control Limit: $D_3 \cdot \bar{R}$	Upper Control Limit: $D_4 \cdot \bar{R}$
	d_2	A_2	D_3	D_4
2	1,128	1,880	0,000	3,267
3	1,693	1,023	0,000	2,575
4	2,059	0,729	0,000	2,282
5	2,326	0,577	0,000	2,115
6	2,534	0,483	0,000	2,004
7	2,704	0,419	0,076	1,924
8	2,847	0,373	0,136	1,864
9	2,970	0,337	0,184	1,816
10	3,078	0,308	0,223	1,777
11	3,173		0,256	1,744
12	3,258		0,283	1,717
13	3,336		0,307	1,693
14	3,407		0,328	1,672
15	3,472		0,347	1,653

Anexo3.- Gráficos de Control

Tanto el Gráfico I-MR como el Xbar-R usan la relación $(Rbar/d_2)$ como estimación de la desviación estándar. Para muestras con tamaños inferiores a 10 ésta aproximación es más exacta que la estimación de la suma de cuadrados.

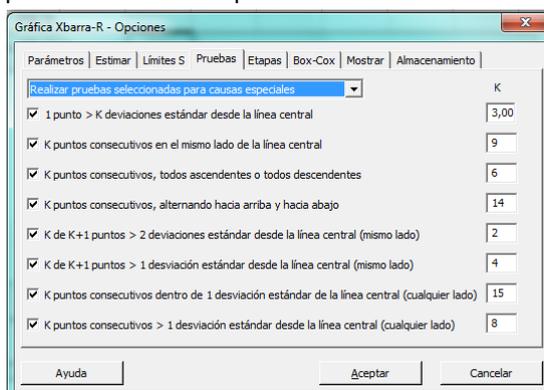
Los programas informáticos generalmente cambian automáticamente de Xbar-R a Xbar-S para tamaños de muestra de 10 o más, con la única diferencia entre ambos en la manera de estimar la desviación típica.

La ruta en Minitab es: [Estadísticas>Gráficas de control>Gráficas de variables para subgrupos>Xbarra-R...](#)



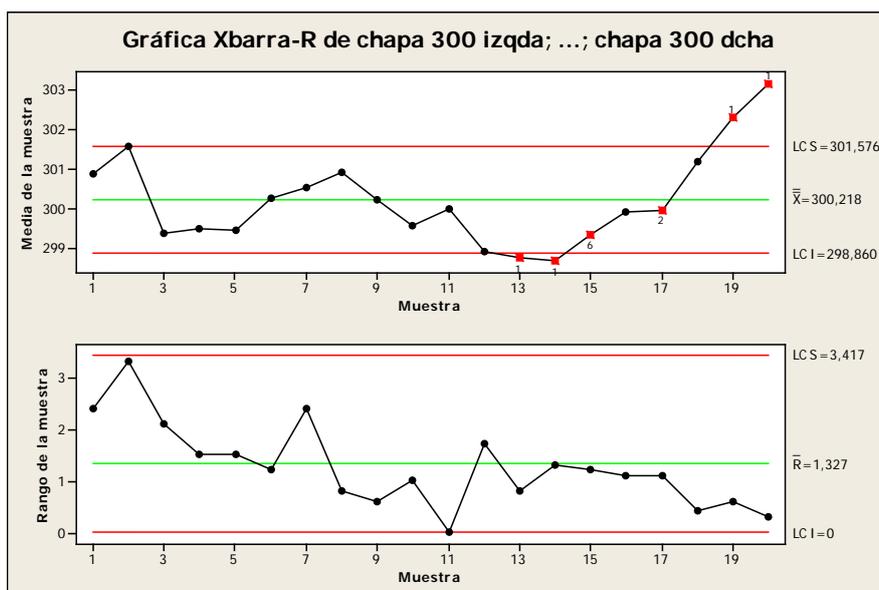
Los botones “Escala”, “Etiquetas” y “Múltiples Gráficas...” permiten definir la apariencia del gráfico. En “Opciones de datos...” se podrían seleccionar aquellos datos que quiera excluir (si es que hay alguno).

- Mediante el botón “Opciones de Xbarra-R...” se accede a una ventana de diálogo con varias pestañas:
- “Parámetros”: se pueden indicar valores históricos para los valores, con lo que éstos no se estimarán a partir de los datos.
 - “Estimar”: se indica qué muestras se utilizan para la estimación de los parámetros y el método de estimación de la desviación típica de la característica de calidad.
 - “Límites S”: se definen las líneas de control a mostrar en el gráfico.
 - “Pruebas”: se indican qué pruebas considerará para detectar situaciones fuera de control.



- “Etapas”: posibilita definir grupos en los datos y representarlos de forma separada.
- “Box-Cox”: se transforman los datos.
- “Mostrar”: permite fraccionar la salida gráfica en varias partes.
- “Almacenamiento”: se pueden indicar distintos elementos para que sean guardados en la hoja de cálculo para su posterior uso.

Anexo3.- Gráficos de Control



En la ventana de la sesión de Minitab se muestran los resultados de los tests realizados. Número de test que ha fallado, su definición y los puntos en los que ha fallado.

12/05/2014 15:08:27

Gráfica Xbarra-R de chapa 300 izqda; ...; chapa 300 dcha

Resultados de la prueba para la gráfica Xbarra de chapa 300 izqda; ...; chapa 3

PRUEBA 1. Un punto más que las 3,00 desviaciones estándar desde la línea central.

La prueba falló en los puntos: 13; 14; 19; 20

PRUEBA 2. 9 puntos consecutivos en el mismo lado de la línea central.

La prueba falló en los puntos: 17

PRUEBA 3. 6 puntos consecutivos, todos en aumento o todos en descenso.

La prueba falló en los puntos: 20

PRUEBA 5. 2 sin 3 puntos más que 2 desviaciones estándar desde la línea central (en un lado de LC). La prueba falló en los puntos: 13; 14; 19; 20

PRUEBA 6. 4 sin 5 puntos más que 1 desviación estándar desde la línea central(en un lado de LC). La prueba falló en los puntos: 14; 15

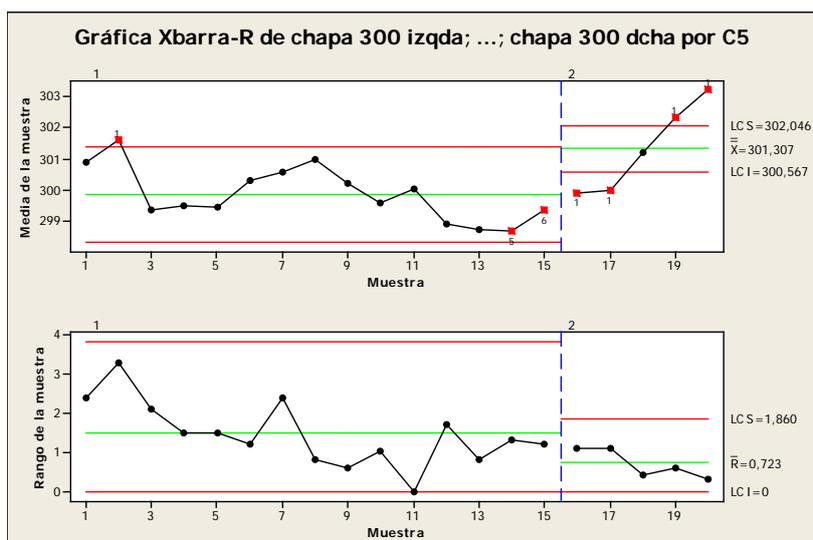
* ADVERTENCIA * Si se actualiza la gráfica con los nuevos datos, los resultados anteriores quizás ya no sean correctos.

Se observa una tendencia creciente en los últimos puntos representados y parece ser que es porque las máquinas fueron ajustadas a partir de la muestra#16. Teniendo esto en cuenta obtengamos los gráficos de control para cada grupo, antes y después, por separado para compararlos.

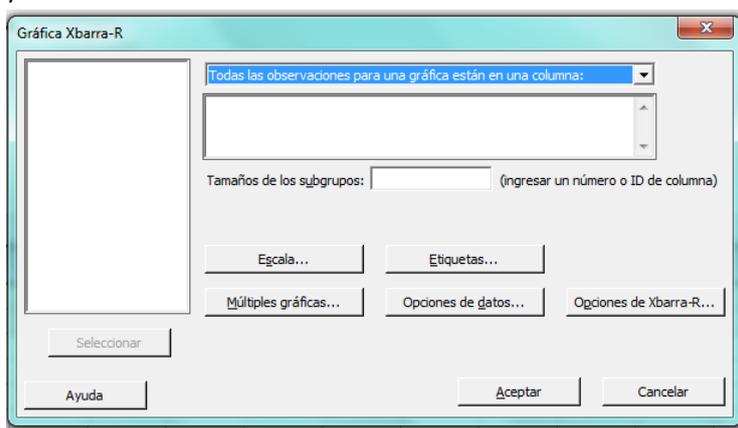
Para ello iremos a la pestaña "Etapas" mencionada anteriormente y la variable de recién creación C5 será la variable que defina los grupos ya que toma el valor 1 para las primeras 15 muestras y el valor 2 para las últimas 5.

En la pestaña "Mostrar" seleccionamos que No divida la salida gráfica y obtendremos el Gráfico de Control siguiente:

Anexo3.- Gráficos de Control

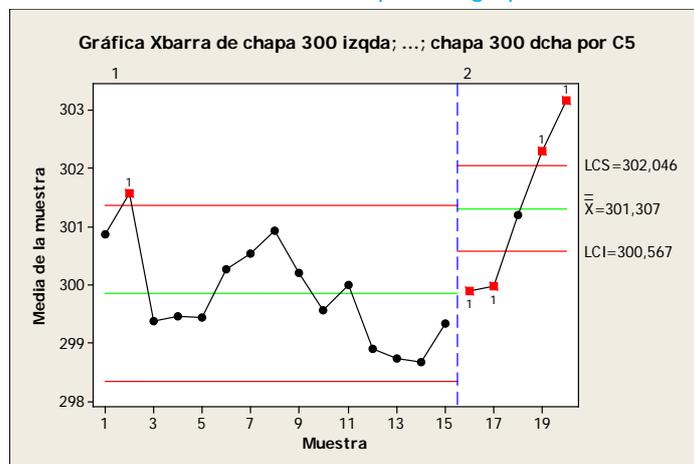


Incluso sin conocer los límites los límites de control puedo evaluar si el proceso está bajo control o no, poniendo todos los datos de los subgrupos (a ser posible cada subgrupo de tamaño 5 como máximo) en una sola columna y sometiéndolos al análisis “Xbarra-R...”.



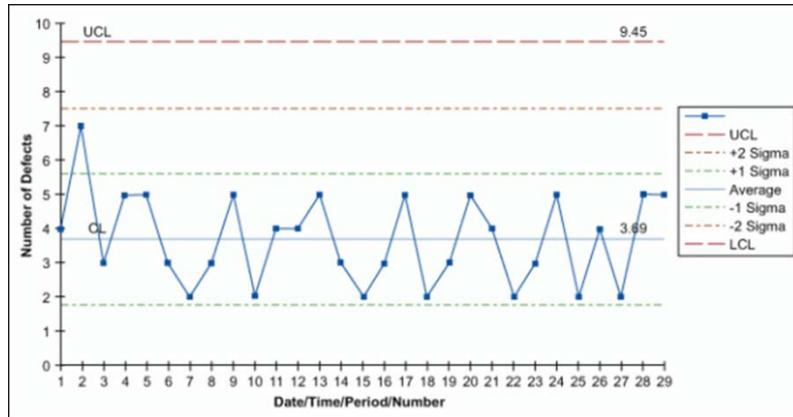
Similares gráficos para la media y para la dispersión podrían obtenerse de forma independiente con las opciones de Minitab siguientes:

[Estadísticas>Gráficas de control>Gráficas de variables para subgrupos>Xbarra... ó R...](#)



Anexo3.- Gráficos de Control

Gráfico-c. Gráfico de control para el número de defectos: Se usa cuando al identificar el total de defectos por unidad (c) que ocurrieron durante el periodo de muestreo queremos asignar a cada muestra más de un defecto. Este gráfico se usa cuando el número de muestras de cada periodo de muestreo es el mismo.



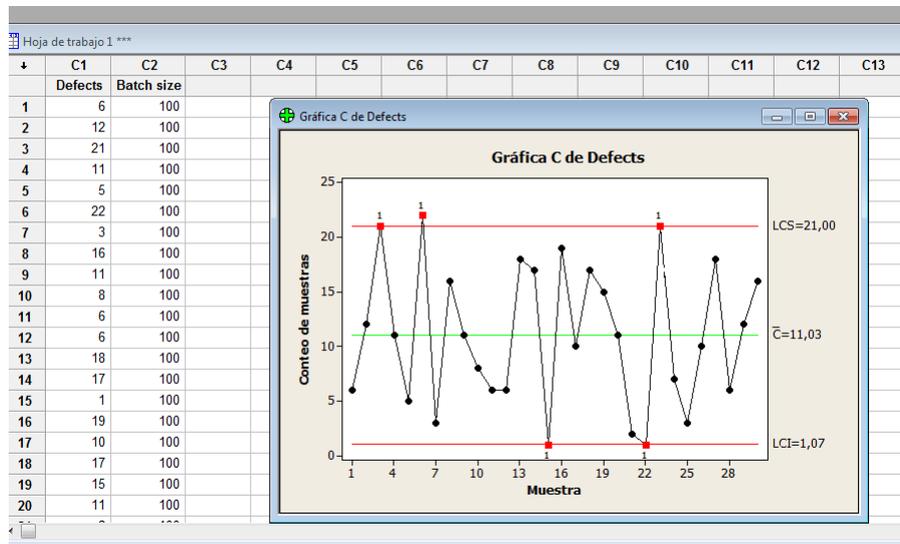
Ruta en Minitab: [Estadísticas>Gráficos de Control>Gráficas de Atributos>C...](#) (seleccionando para que ejecute los 4 tests disponibles)

EJEMPLO:

Gráfica C de Defects

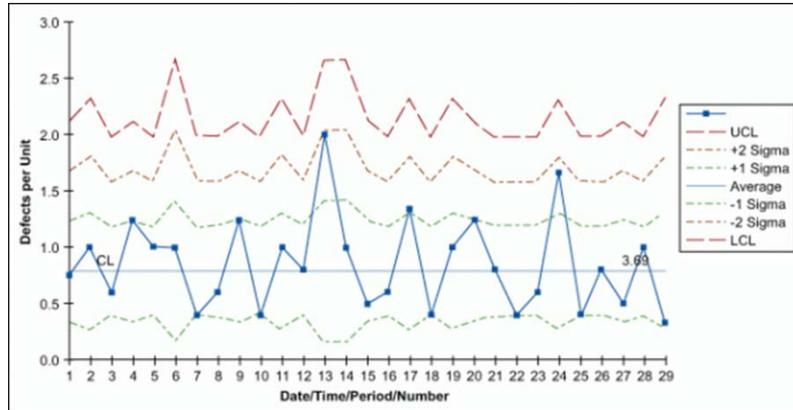
Resultados de la prueba para la gráfica C de Defects

PRUEBA 1. Un punto más que las 3,00 desviaciones estándar desde la línea central. La prueba falló en los puntos: 3; 6; 15; 22; 23



Anexo3.- Gráficos de Control

Gráfico-u. Gráfico de control para el número de defectos por unidad: Es similar al Gráfico-c y se usa para llevar control de la cantidad total de defectos por unidad (u) que ocurren durante el periodo de muestreo y puede hacer seguimiento de una muestra que tenga más de un defecto. Sin embargo, a diferencia del Gráfico-c, se usa cuando el número de muestras de cada período de muestreo podría cambiar significativamente



Ruta en Minitab: [Estadísticas>Gráficos de Control>Gráficas de Atributos>U...](#)

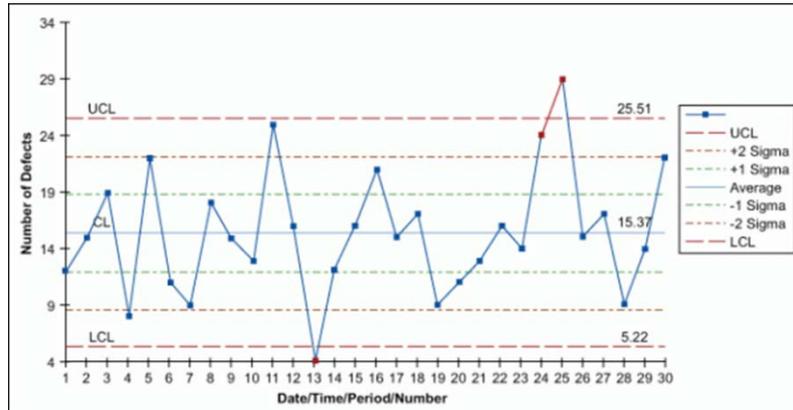
u-chart: defects per unit, variable lot (subgroup) size.

Defects are the result of error.

Error is the cause of defects.

Anexo3.- Gráficos de Control

Gráfico-np. Gráfico de control para el número de defectuosos: Se usa cuando al identificar el total de unidades defectuosas (la unidad podría tener uno o más defectos) se tiene un tamaño de muestreo constante.

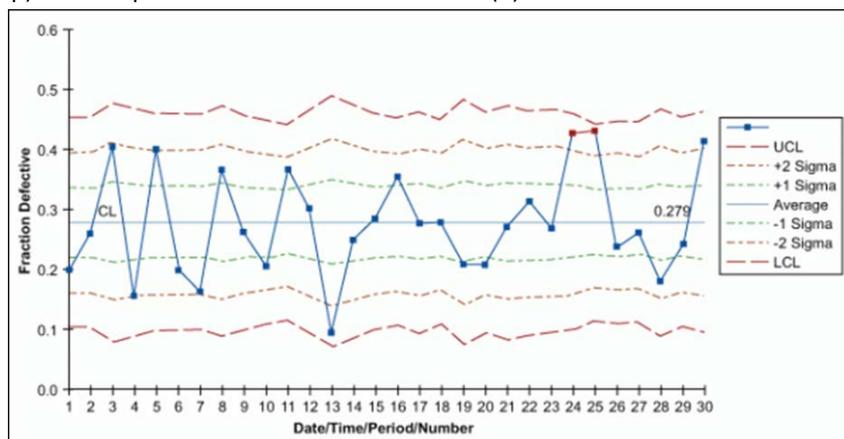


Ruta en Minitab: [Estadísticas>Gráficos de Control>Gráficas de Atributos>NP...](#)

Para éste ejemplo concreto, en la ventana de sesión del Minitab aparecerán los números de muestra correspondientes a los 2 valores que están fuera de nuestros LC's. Para poder mostrar a nuestro proceso como estable habría que actuar sobre estos 2 puntos y si se trataran de casos aislados podría quitarlos del gráfico de control directamente en el botón de "opciones de los datos" ó "Data options" con el número de muestra de cada uno.

Anexo3.- Gráficos de Control

Gráfico-p. Gráfico de Control para una proporción: Se usa cuando cada unidad es considerada apta o no-apta, independientemente del número de defectos que ésta tenga. Muestra el número de fallos registrados (np) dividido por el número total de unidades (n).



Hay que tener en cuenta que no hay Gráficos de Control Discretos que tengan sus correspondientes Gráficos-R, tal y como sucede con los Gráficos de Control Variables o Continuos. La desviación estándar se estima del propio parámetro (p , u ó c) por lo tanto no se requiere el alcance o intervalo (“Range”).

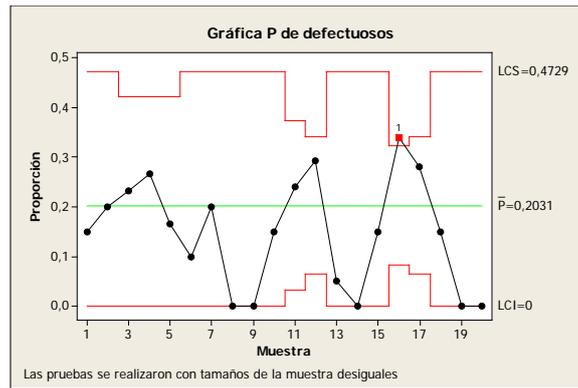
Ruta en Minitab: Estadísticas>Gráficos de Control>Gráficas de Atributos>P...

#	C1	C2	C3
7	4	20	1
8	0	20	1
9	0	20	1
10	3	20	1
11	12	50	1
12	22	75	1
13	1	20	1
14	0	20	1
15	3	20	1
16	34	100	1
17	21	75	1
18	3	20	1
19	0	20	1
20	0	20	1
21	6	40	2
22	5	40	2
23	7	40	2
24	9	40	2
25	10	75	2
26	11	75	2
27	1	20	2
28	12	20	2
29	1	20	2
30	0	20	2
31			
32			

En “Opciones de datos” excluirémos las últimas 10 filas ya que nos cambiaron la Materia Prima.

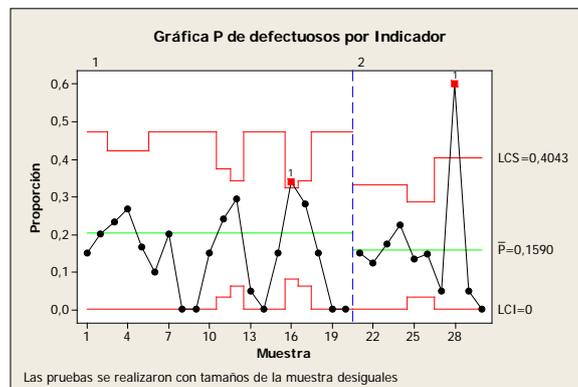
En “opciones de gráfica P”, “tests” selecciono todos los tipos de fallo posibles.

Anexo3.- Gráficos de Control



Como se puede apreciar hay un punto fuera de control sobre el que habrá que trabajar y quizás quitar (en la pestaña "estimate").

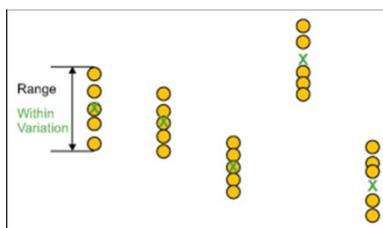
Podría ahora evaluar todos los datos juntos haciendo separación entre las primeras 20 muestras y las últimas 10.



Gráficos de Control como herramientas de Análisis para hacer Sub-grupos. Esta técnica organiza los datos del proceso para mostrar la mayor similitud entre los datos un mismo subgrupo y la mayor diferencia entre los datos de los diferentes subgrupos.

El objetivo de hacer subgrupos es el de incluir sólo las causas comunes de variación (inherentes al proceso) dentro de los propios subgrupos y el de tener todas las causas especiales de variación actuando entre los distintos subgrupos. Cuando se llega a entender la variación dentro-grupo y entre-grupos, el número de variables potenciales (ó fuentes potenciales de variación inaceptable) se reduce mucho y de ésta manera se determinará más fácilmente a qué dedicar mis esfuerzos de mejora.

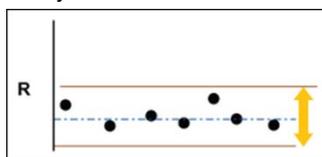
Variación dentro del sub-grupo: Veamos la representación gráfica de su alcance o amplitud o intervalo ("range").



El **Gráfico-R** ("R" de Range) muestra el cambio de la dispersión del proceso dentro del subgrupo y te muestra si la variación dentro del subgrupo es consistente. Si estuviera está fuera de control entonces el sistema no es estable. Poca repetitividad de la medición podría ser una posible fuente de inestabilidad.

Analíticamente es importante porque los límites de control en el **Gráfico-Xbar** son una función del "**R-bar**". Si el **Gráfico-R** está fuera de control entonces el **R-bar** se inflará tanto como los límites de control. Esto podría aumentar la probabilidad de llamar a la "variación entre subgrupos" "variación dentro del subgrupo" y hacerte trabajar en el área equivocada.

La variación interna es consistente cuando el **Gráfico-R**, y por lo tanto el proceso al que representa, está bajo control. El **Gráfico-R** debe de estar bajo control a la hora de representar el **Gráfico-Xbar**.



Variación entre subgrupos: Se representa por la entre las medias de los subgrupos

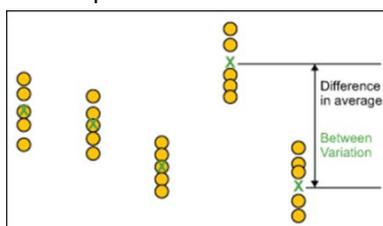
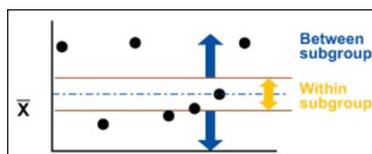


Gráfico-Xbar : Te muestra cualquier cambio en el valor de la media del proceso. También te muestra si la variación entre las medias de los subgrupos es mayor que la variación dentro del propio subgrupo. Si el Gráfico-Xbar está bajo control la variación "entre" será menor que la variación "dentro" y si no lo está será al contrario.



Se aproxima a un análisis gráfico de la varianza (ANOVA). Los análisis "dentro" y "entre" te dan una útil representación gráfica a la vez que te permiten evaluar la estabilidad, algo que no te permite el ANOVA. Por eso se recomienda combinar ambos métodos.

Anexo3.- Gráficos de Control

Veamos a continuación varios ejemplos a la hora de elegir los Gráficos de Control más apropiados.

Ejemplo#1: Inspección visual de cada set de palas de aerogeneradores (3 palas por set) para determinar defectos visuales de distinta naturaleza (errores de montaje, piezas faltantes, color, arañazos,.....etc). Los datos son discretos/atributo. Si una pala esta defectuosa no significa que las otras 2 lo estén (tamaño de lote constante). Como estamos evaluando los defectos y no las palas defectuosas entonces se trataría de un Gráfico de Control tipo-c.

Ejemplo#2: El transporte de palas (1 pala por camión) al parque se quiere someter a control en lo que al tiempo se refiere para cada porte individual. Datos continuos. Gráfico I&MR.

Ejemplo#3: Una vez por turno un inspector controla el embalaje de las escobillas del generador. Los juegos de escobillas son examinados y embalados en lotes de 10. El inspector registra el número de sets de escobillas defectuosos. Gráfico tipo-np.

Ejemplo#4: Un proyecto se centra en la calidad de las órdenes ejecutables. Durante 6 meses cada pedido u orden es examinado antes de ser liberado. Defectos de todo tipo (desde cantidades de € hasta errores de escritura) son registrados. La suma de errores contabilizados diariamente son registrados en una tabla. Datos Discretos, tamaño variable de lote (defectos). Gráfico tipo-u.

Ejemplo#5: Para el mismo proceso anterior se asume que cualquier tipo de defecto es inaceptable ya que sino éste nos inducirá a retrasos y re-trabajos. Por lo tanto se añade una columna a la tabla con el número de pedidos diarios que tengan cualquier tipo de defecto. Datos discretos, tamaño lote variable y registro de pedidos defectuosos (independientemente del nº de defectos que tengan). Gráfico tipo-p.

Ejemplo#6: Durante el mismo proceso se debe de prestar especial atención a la falta de datos técnicos ya que ésta es la causa principal de los retrasos, así que a la tabla le añadimos una columna con el número de posiciones a las que diariamente les faltan datos técnicos. Datos discretos, con número variable de pedidos diarios, a cada pedido se le evalúa individualmente sólo en lo que a indefinición técnica se refiere (uno de los posibles defectos). Gráfico tipo-u.

Ejemplo#7: Para controlar el proceso de mejora de calidad de los sistemas de sellado, se realiza un control dimensional en lotes de 10 cada hora. Datos continuos (datos dimensionales), tamaño de lote fijo y mayor de 1. Gráfico Xbar-R.

Ejemplo#8: Proceso de impresión del logo sobre bombillas que van sobre una cinta transportadora, en el cual se hacen varias mejoras ya que no siempre el logo queda perfectamente centrado (1ª mejora: ajuste cinta; 2ª mejora: centrado de la impresora). Datos continuos, muestras individuales (de tamaño 1) ya que cada bombilla individual en sí misma es una muestra. Gráfico I&MR que podría fraccionar en 3 etapas ya que se dieron 2 mejoras de proceso.

El hecho de saber qué gráfico de control hay que usar en una situación dada te asegurará una monitorización acertada y un buen control de la estabilidad del proceso. Eliminará resultados erróneos y el desperdicio de esfuerzos, centrando la atención en oportunidades reales de mejoras significantes.

Anexo3.- Gráficos de Control

Los 5 principales usos de los Gráficos de Control:

- Reducción de achatarramientos y retrabajos para una mejor productividad.
- Evitar errores. En la fase de Control significa menos oportunidad para unidades no-conformes producidas.
- Evita ajustes innecesarios del proceso mediante la distinción entre causa común de variación y causa especial o asignable de variación.
- Te genera información del diagnóstico para que un operador experimentado pueda determinar el estado del proceso simplemente mirando a los patrones que se den dentro de los datos. El operario podrá entonces realizar los cambios que sean necesarios para mejorar el rendimiento del proceso.
- Te da información acerca de aquellos parámetros de proceso importantes a lo largo del tiempo.

Límites de Control versus Límites de la Especificación:

Límites de Control	Límites de la Especificación
Se definen en base al rendimiento del Proceso (+/-3 σ de la media)	Se definen en base al feedback del Cliente
Te ayudan a determinar si tu proceso está bajo control (sin causa especial de variación)	Te ayudan a determinar si tu proceso está produciendo defectos
Representados en Gráficos de Control	Representados en Histogramas
Cambiarlos cuando un cambio verificado y significativo para tu proceso	Cambiarlos cuando te lo pida el Cliente
Representa la voz del Proceso	Representa la voz del Cliente

ANEXO4.- Estadística Descriptiva

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA UNIDIMENSIONAL: Utilizada para describir el comportamiento de una característica de los individuos ó elementos de un colectivo.

Ejercicio sencillo de cálculo en Excel:

n	X	\bar{X}	Dev = (X - \bar{X})	(X - \bar{X}) ²
1	174	170,8	3,2	10,24
2	180	170,8	9,2	84,64
3	182	170,8	11,2	125,44
4	180	170,8	9,2	84,64
5	179	170,8	8,2	67,24
6	155	170,8	-15,8	249,64
7	160	170,8	-10,8	116,64
8	153	170,8	-17,8	316,84
9	175	170,8	4,2	17,64
10	170	170,8	-0,8	0,64

$\sum_{i=1}^N X_i = 1708$

$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} = 170,8$

$1073,6 = \sum_{i=1}^N (X - \bar{X})^2$

$\rightarrow 119,2889 = \bar{\sigma}^2; \text{Variance}$
(:10-1)

\uparrow Standard Deviation "s" or sigma

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{(n-1)}}$$

1.1.- Fundamentos: Se basa en describir, observar y finalmente ordenar en forma de tablas.

Tabla de frecuencias correspondientes a una **variable estadística DISCRETA**, que sólo puede tomar determinados valores de un cierto intervalo.

Ejemplo: $X_{\text{discreta}} = n^\circ$ de hijos de las familias de Barañain. Intervalo: (0,1,2,3,.....n)

Variable x_i	Frecuencia absoluta n_i	Frec. relativa $f_i = n_i / N$	Frec. Absoluta Acumulada N_i	Frec. relativa Acumulada F_i	$x_i \cdot n_i$
x_1 (tener 1 hijo)	n_1 (n° familias con 1 hijo)	f_1	$N_1 = n_1$	F_1	
x_2	n_2	f_2	$N_2 = n_1 + n_2$	$F_2 = f_1 + f_2$	
.	
.	
x_i	n_i	f_i	$N_i = n_1 + n_2 + \dots + n_i$	$F_i = f_1 + f_2 + \dots + f_i$	
.	
.	
x_k	n_k	f_k	$N_k = n_1 + n_2 + \dots + n_k = N$	$F_k = f_1 + f_2 + \dots + f_k = 1$	
	$\sum_{i=1}^k n_i = N$	$\sum = 1$			$\sum x_i \cdot n_i$

Nota: Si f_2 valiera 0,2 significaría que el 20% de las familias de Barañain tienen 2 hijos.

ANEXO4.- Estadística Descriptiva

Tabla estadística correspondiente a una **variable estadística CONTINUA**, que toma CUALQUIER valor dentro de un intervalo.

Ejemplo: X_{continua} =longitud de un clavo. Mediciones: 2'01,2'07,2'13,2'34,.....etc. Aunque ésta variable la voy a manejar como continua en realidad se trataría de una variable discreta debido a la falta de precisión de la medida, la cual no recoge las milésimas. En realidad las variables continuas son variables discretas con escasez de precisión. Se agruparían las distintas mediciones por intervalos: de 2'00 a 2'09, de 2'10 a 2'19,.....etc

Las agrupaciones se pueden realizar con los límites aparentes, tal y como en el ejemplo anterior de los tornillos, o con los límites reales determinados por el propio instrumento de medición (lo más habitual). Por ejemplo una báscula que mide de medio en medio Kg, entonces el límite superior de cada intervalo coincidiría con el límite inferior del siguiente: 60'5-63'5,63'5-66'5,.....etc.

La marca de clase (punto medio o centro del intervalo considerado) coincide tanto se tomen límites reales como límites aparentes.

Clases ó Intervalos	Frecuencia Absoluta n_i (nº de elementos en cada intervalo)	Frec.. Relativa $f_i=n_i/N$	Marcas de clase $x_i=(a_{i-1}+a_i)/2$	Frec. Absoluta Acumulada N_i	Frec. relativa Acumulada F_i	Frec. Abs. / Unidad de amplitud	$x_i \cdot n_i$
a_0-a_1	n_1	f_1	x_1	$N_1=n_1$	F_1		
a_1-a_2	n_2	f_2	x_2	$N_2=n_1+n_2$	$F_2=f_1+f_2$		
.		
.		
$a_{i-2}-a_{i-1}$	n_{i-1}	f_{i-1}	x_{i-1}	N_{i-1}	F_{i-1}		
$a_{i-1}-a_i$	n_i	f_i	x_i	$N_i=n_1+n_2+\dots+n_i$	$F_i=f_1+f_2+\dots+f_i$	$n_i / (a_i-a_{i-1})$	
.		
.		
$a_{k-1}-a_k$	n_k	f_k	x_k	$N_k=n_1+n_2+\dots+n_k=N$	$F_k=f_1+f_2+\dots+f_k=1$		
	$\sum_{i=1}^k n_i = N$	$\Sigma=1$					$\Sigma x_i \cdot n_i$

Representaciones gráficas de las tablas de Frecuencias para variables DISCRETAS:

- Diagramas de Barras: Poniendo en el eje X los distintos valores de mi variable y en el eje Y las frecuencias (absolutas n_i ó relativas f_i).
- Polígono de Frecuencias: Simplemente uniendo los extremos superiores de las barras obtenidas en el diagrama de barras anterior.
- Diagrama de Frecuencias Acumuladas: Se realiza de igual manera que el diagrama de Barras pero poniendo las frecuencias acumuladas en el eje Y (o bien las absolutas N_i o bien las relativas F_i). Lógicamente su forma será escalonada creciente.

Representaciones gráficas de las tablas de Frecuencias para variables CONTINUAS:

- Histograma: En el eje X se pondrían los Límites Reales de los intervalos y sobre ellos rectángulos de áreas proporcionales a las frecuencias (ó absolutas n_i ó relativas f_i).
- Polígono de Frecuencias: Uniendo los puntos medios de las aristas superiores de los rectángulos del histograma anterior.
- Polígono de Frecuencias Acumuladas: En el eje X se pondrían los Límites Reales de los intervalos. Sobre el límite superior de cada intervalo se levantaría una vertical de altura igual a la frecuencia acumulada de ese intervalo (ó absolutas N_i ó relativas F_i).

1.2.- Estudio de las medidas estadísticas: A fin de realizar comparaciones entre dos variables.

1.2.1.- MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL (media, mediana y moda): Son valores o puntos en una gráfica en torno a los cuales se aglutinan las observaciones de la variable. Son variables de tendencia central ya que suelen estar en la mitad o centro.

MEDIA ARITMÉTICA DE LA VARIABLE X: Es la suma de todas las observaciones dividida por el total de sumandos. Para una variable continua calculo una media aproximada poniendo en vez de las x_i las marcas de clase ó centros de los intervalos.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^k x_i \cdot n_i}{N}$$

Hay otras medias como la geométrica o la cuadrática pero se utilizan menos.

MEDIANA: Para una variable Discreta es el valor que deja igual número de observaciones por encima que por debajo, suponiendo que previamente hemos ordenado los valores de la variable en forma creciente ó decreciente. Hay dos posibles casos que se me pueden dar:

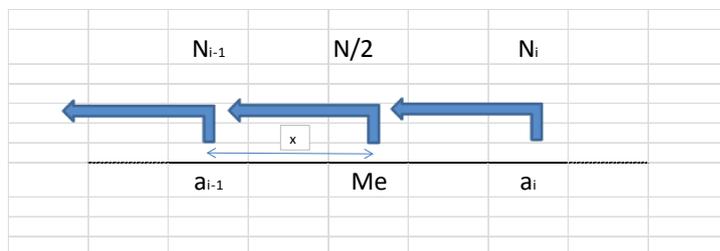
- $N/2$ me cae entre dos valores acumulados: $\text{Si } N_{i-1} < \frac{N}{2} < N_i \Rightarrow Me = X_i$

- $N/2$ coincide con algún valor acumulado N_i (convenio): $\text{Si } \frac{N}{2} = N_i \Rightarrow Me = \frac{X_i + X_{i+1}}{2}$

ANEXO4.- Estadística Descriptiva

MEDIANA: Para una variable Continua es el valor de la variable que deja por debajo de sí la mitad de las observaciones ($N/2$). Hay dos posibles casos que se me pueden dar:

- $N/2$ me cae entre dos valores acumulados: $Si N_{i-1} < \frac{N}{2} < N_i \Rightarrow Me = a_{i-1} + x$



Siendo x el fragmento de mi clase ó intervalo ($a_i - a_{i-1}$) correspondiente al conjunto de observaciones que quedarían entre $N/2$ y su inmediato N_{i-1} :

$$x = \frac{\left(\frac{N}{2} - N_{i-1}\right)}{\left(N_i - N_{i-1}\right)} \cdot (a_i - a_{i-1}) = \frac{\left(\frac{N}{2} - N_{i-1}\right)}{n_i} \cdot (a_i - a_{i-1})$$

- $N/2$ coincide con algún valor acumulado N_i : $Si \frac{N}{2} = N_i \Rightarrow Me = a_i$

MODA de una variable Discreta (Mo): Es el valor de la variable x que tiene una mayor frecuencia. Si hubieran varios valores de x con la misma y mayor frecuencia entonces hablaríamos de bimodal, trimodal,.....etc

INTERVALO Ó CLASE MODAL de una variable Continua: Es el intervalo que tiene mayor frecuencia absoluta por unidad de amplitud (ó longitud del intervalo). Será el intervalo u intervalos de mayor $[n_i / (a_i - a_{i-1})]$

1.2.2.- MEDIDAS DE DISPERSIÓN: Intentan ver cómo están colocadas las observaciones (todos los posibles valores de la variable) en torno a los valores centrales ó medidas de tendencia central anteriormente vistas. Para medir la dispersión (valor absoluto ó distancia desde la observación hasta el valor central considerado):

DESVIACIÓN MEDIA RESPECTO DE LA MEDIA: Es válida para variables discretas y continuas (con las marcas de clase). Se usa poco.

$$DM_x = \frac{\sum_{i=1}^k |x_i - \bar{x}| \cdot n_i}{N}$$

VARIANZA:
$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^2 \cdot n_i}{N} = \frac{\sum_{i=1}^k x_i^2 \cdot n_i}{N} - \bar{x}^2$$

Si la variable está medida en unidades u entonces s^2 vendrá medida en u^2 .

La **DESVIACIÓN TÍPICA** será la raíz cuadrada de la varianza: $s = \sqrt{s^2}$

Tanto la desviación media, como la varianza y la desviación típica son medidas no negativas.

La Varianza $s^2 \geq 0$. $\boxed{\text{Si } s^2 \text{ ó } s = 0 \Rightarrow \text{todo } x_i = \bar{x}}$

Al crecer la Varianza aumenta la distancia de los x_i a la media \bar{x} luego aumenta la dispersión de mis datos.

El **COEFICIENTE DE VARIACIÓN**: Sirve para comparar la dispersión de variables expresadas en distintas unidades y también, aun cuando están expresadas en las mismas unidades, ambas variables tienen una media muy distintas entre sí.

$$CV = \frac{s}{\bar{x}}$$

A mayor CV mayor dispersión entre los datos de la variable a estudio y su correspondiente media.

RECORRIDO Ó RANGO: Es la diferencia entre el valor más grande y el valor más pequeño en las variables discretas y entre el máximo del mayor intervalo ó clase y el mínimo del menor en las variables continuas.

1.2.3.- MEDIDAS DE POSICIÓN (mediana, percentil de orden k y momentos):

MEDIANA (Me): Valor de la variable que deja el 50% de las observaciones o datos por debajo de sí.

PERCENTIL DE ORDEN K (P_k con 0 ≤ k ≤ 100): Suponiendo que las observaciones se han ordenado previamente, valor de la variable que deja por debajo de sí al k% de las observaciones.

El cálculo de los percentiles es similar al de la mediana pero sustituyendo N/2 por k.N/100.

Percentiles más usuales:

-Deciles: D₁=P₁₀, D₂=P₂₀,.....

-Cuartiles: Q₁=P₂₅, Q₂=P₅₀=Me, Q₃=P₇₅ y Q₄=P₁₀₀.

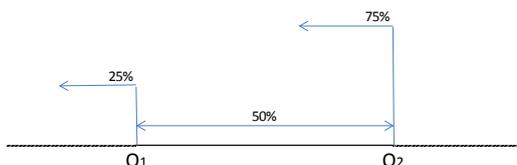
MOMENTOS DE ORDEN r (siendo el entero r ≥ 0) RESPECTO DEL ORIGEN (a_r) Ó RESPECTO DE LA MEDIA (m_r): Son respectivamente unas generalizaciones de las fórmulas de la media y de la varianza:

$$a_r = \frac{\sum_{i=1}^k x_i^r \cdot n_i}{N}$$

y

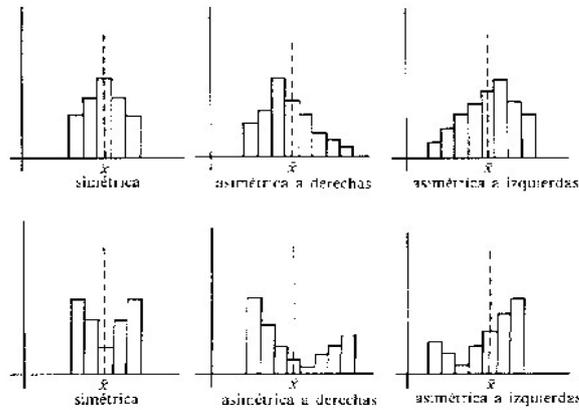
$$m_r = \frac{\sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^r \cdot n_i}{N}$$

1.2.4.- RECORRIDO INTERCUARTÍLICO: Lo incluyo en un punto aparte porque se trata de una medida de dispersión similar a las vistas en el punto 1.2.2. Distancia en la cual se encuentran el 50% central de las observaciones. $\boxed{R_I = Q_3 - Q_1}$

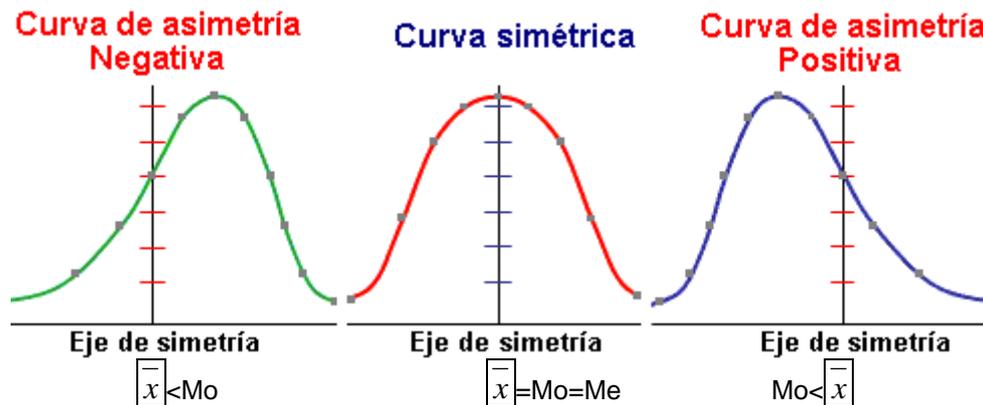


1.2.5.- MEDIDAS DE FORMA (simetría y apuntamiento-aplastamiento-curtosis):

MEDIDAS DE SIMETRÍA : Una distribución es simétrica si los valores equidistantes de un valor central tienen igual frecuencia.



Una distribución es Asimétrica Positiva o con la cola hacia la Derecha cuando los valores más bajos están a la derecha. Al contrario será Asimétrica Negativa o con la cola hacia la Izquierda.



El eje de simetría caería en la media \bar{x} .

ANEXO4.- Estadística Descriptiva

Para no dejar la interpretación de la simetría sólo al hecho de poder observar la figura o gráfica se definieron los coeficientes de asimetría:

COEFICIENTE DE ASIMETRÍA DE PEARSON A_p (adimensional): Sólo válido para distribuciones unimodales y campaniformes (generalmente para las distribuciones normales cuya forma es la campana de Gauss).

$$A_p = \frac{\bar{x} - Mo}{s} \quad \text{siendo } Mo \text{ la moda y } s \text{ la desviación típica.}$$

Si $A_p > 0$: Distribución Asimétrica +
 Si $A_p = 0$: SIMÉTRICA
 Si $A_p < 0$: Distribución Asimétrica -

COEFICIENTE DE ASIMETRÍA DE FISHER A_f : siendo m_3 el momento de orden 3 respecto a la media:

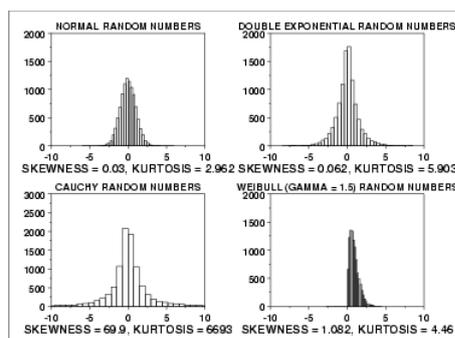
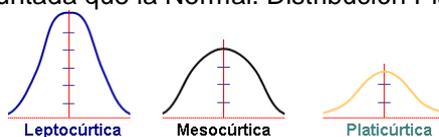
$$A_f = \frac{m_3}{s^3} = \frac{\sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^3 \cdot n_i}{N s^3}$$

Si $A_f > 0$: Distribución Asimétrica +
 Si $A_f = 0$: SIMÉTRICA
 Si $A_f < 0$: Distribución Asimétrica -

MEDIDAS DEL APUNTAMIENTO/APLASTAMIENTO/CURTOSIS: Se utiliza en distribuciones campaniformes. Para toda distribución puedo calcular su media y su desviación típica s . En la Estadística existen unos tipos de distribuciones que son tomadas como modelos estadísticos, siendo una de ellas la Distribución Normal. Fundamentalmente lo que haré es comparar mi distribución a estudio frente a la distribución Normal de igual \bar{x} y s . Para realizar ésta comparación se utiliza el **ÍNDICE DE CURTOSIS**:

$$I_c = \frac{m_4}{s^4} - 3 \quad \text{(adimensional) siendo } m_4 \text{ el momento de orden 4 respecto a la media}$$

Si $I_c > 0$: está más apuntada que la Normal. Distribución Leptocúrtica.
 Si $I_c = 0$: tiene igual aplastamiento-apuntamiento que la Normal. Distribución Mesocúrtica.
 Si $I_c < 0$: está menos apuntada que la Normal. Distribución Platicúrtica.



1.2.6.- TIPIFICACIÓN Ó ESTANDARIZACIÓN DE UNA VARIABLE : La tipificación de variables resulta muy útil para eliminar su dependencia respecto a las unidades de medida empleadas o para hacer un cambio en las unidades de medida. En realidad, una tipificación equivale a una transformación LINEAL de la variable X de la siguiente forma:

$$X \rightarrow Z = \frac{X - \bar{x}}{s_x} = \frac{1}{s_x} \cdot X - \frac{\bar{x}}{s_x} = a \cdot X + b$$

Se demuestra para Z lo siguiente:

- $\bar{Z} = 0$
- $s_Z^2 = s_Z = 1$ su varianza es igual a su desviación típica y ambas valen 1.

La variable tipificada expresa el número de desviaciones típicas que dista de la media cada observación. Por ello, se puede comparar la posición relativa de los datos de diferentes distribuciones.

En general si una variable x tiene de media \bar{x} y de varianza s^2 y la transformo en otra variable $y=A \cdot x+B$ (siendo A y B constantes) se cumplirá que:

$$\begin{aligned} \bar{y} &= A \cdot \bar{x} + B \\ s_y^2 &= A^2 \cdot s_x^2 \Rightarrow s_y = |A| \cdot s_x \end{aligned}$$

A pesar de las buenas propiedades de las transformaciones lineales, éstas no son suficientes para modificar rasgos más complejos de una distribución como por ejemplo la asimetría. Para hacer más simétrica una distribución se deben hacer Transformaciones No Lineales:

Supongamos que se trata de estudiar el crecimiento del consumo de energía en diferentes países. Una opción consiste en estudiar las diferencias de consumo entre dos instantes de tiempos $C_t - C_{t-1}$, pero en general resulta más conveniente considerar las diferencias relativas: $(C_t - C_{t-1})/C_{t-1}$ ó bien $(C_t - C_{t-1})/C_t$.

Una medida más adecuada consiste en tomar logaritmos:

$$\ln C_t - \ln C_{t-1} = \ln \frac{C_t}{C_{t-1}} = \ln \left(1 + \frac{C_t - C_{t-1}}{C_{t-1}} \right) \approx \frac{C_t - C_{t-1}}{C_{t-1}}$$

ya que $\ln(1 + x) \approx x$, para valores de x pequeños.

Así, si se expresa la variable en logaritmos, su crecimiento en dicha escala es una buena medida del crecimiento relativo. Por otro lado, dado que $C_t \geq C_{t-1}$, entonces:

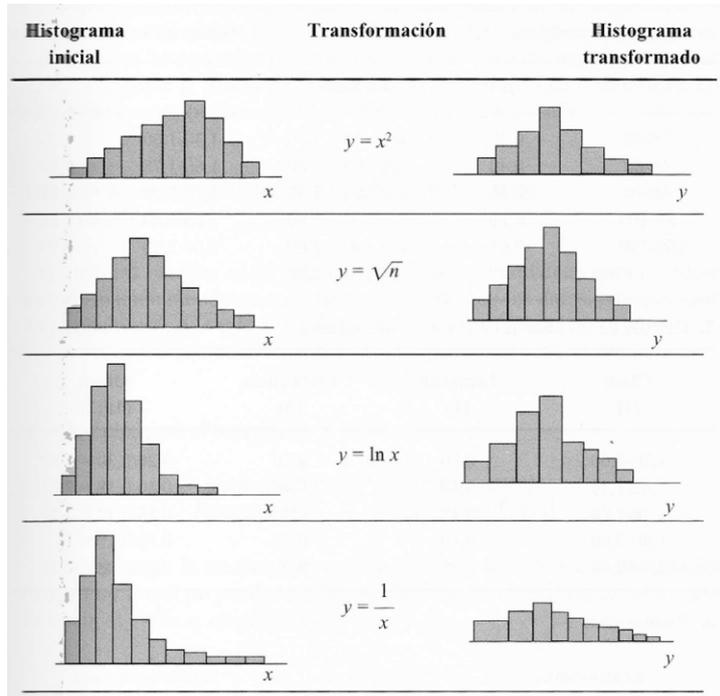
$$\frac{C_t - C_{t-1}}{C_t} \leq \ln \frac{C_t}{C_{t-1}} \leq \frac{C_t - C_{t-1}}{C_{t-1}}$$

de modo que las diferencias de las variables transformadas por un logaritmo, son una medida promedio de las dos formas posibles de medir el crecimiento relativo. Como regla general, se trata de escoger una transformación que conduzca a una distribución simétrica, y más cercana a la distribución normal. De este modo, se pueden aplicar numerosas técnicas de inferencia estadística.

En una distribución simétrica unimodal, la media, moda y mediana coinciden; además, el coeficiente de asimetría es cero (así como todos los momentos de orden impar).

ANEXO4.- Estadística Descriptiva

Transformaciones No Lineales más frecuentes : Cuando se tienen distribuciones de frecuencias con asimetría negativa (frecuencias altas hacia el lado derecho de la distribución), es conveniente aplicar la transformación $y = x^2$. Esta transformación comprime la escala para valores pequeños y la expande para valores altos. Para distribuciones asimétricas positivas se usan las transformaciones \sqrt{x} , $\ln(x)$ y $1/x$, que comprimen los valores altos y expanden los pequeños. El efecto de estas transformaciones está en orden creciente: menos efecto \sqrt{x} , más $\ln(x)$ y más aún $1/x$.



La transformación más utilizada es la del logaritmo. Muchas distribuciones de datos económicos, o de consumos se convierten en simétricas al tomar la transformación logaritmo. Las medidas basadas en el orden de los datos, como la mediana o los cuartiles se mantienen iguales cuando se hace una transformación monótona, h , del estilo de las previamente citadas:

$$x_1 > x_2 \Rightarrow h(x_1) > h(x_2)$$

El resto de estadísticos cambia.

1.2.7.- DISTRIBUCIONES BIDIMENSIONALES: Cuando tengo en cuenta a la vez dos variables cuantitativas distintas de una misma muestra, tengo entonces una variable estadística bidimensional cuantitativa (X,Y). Siempre y cuando se trate de la misma muestra podré analizar y estudiar las relaciones entre ambas variables. Si obtuviera X de una muestra e Y de otra muestra distinta, estaríamos entonces hablando de 2 variables unidimensionales independientes que no podrían compararse. Se emplean tablas de frecuencia de doble entrada para los valores (x_i, y_i) . Ej: X: nº de empleados de la empresa. Y: nº de coches disponibles en cada empresa.

		Y							
	X	y₁	y₂	.....	y_j	.....	y_l	n_{x_i}	x_i · n_{x_i}
	x₁	n ₁₁	n ₁₂	.....	n _{1j}	.....	n _{1l}	n _{x1}	
	x₂	n ₂₁	n ₂₂	.....	n _{2j}	.....	n _{2l}	n _{x2}	
	·	·	·	·	·	·	
	·	·	·	·	·	·	
	·	·	·	·	·	·	
	x_i	n _{i1}	n _{i2}	.....	n _{ij}	.....	n _{il}	n _{xi}	
	·	·	·	·	·	·	
	·	·	·	·	·	·	
	·	·	·	·	·	·	
	x_k	n _{k1}	n _{k2}	.....	n _{kj}	.....	n _{kl}	n _{xk}	
	n_{y_j}	n _{y1}	n _{y2}	.....	n _{yj}	.....	n _{yl}	$N = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l n_{ij}$	
	Y_j · n_{y_j}								
	y_j² · n_{y_j}								

x_1, x_2, \dots, x_k : son los valores de la variable x discreta ó las marcas de clase de la x continua.

y_1, y_2, \dots, y_l : ídem para la variable y.

n_{ij} : frecuencia absoluta del par (x_i, y_j) . Ej: El nº de personas que cumplen que su $x=x_i$ y su $y=y_j$.

N: Total de personas o individuos u observaciones.

$f_{ij}=n_{ij}/N$: Frecuencia relativa del par (x_i, y_j)

$$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l f_{ij} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l \frac{n_{ij}}{N} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l n_{ij} = \frac{1}{N} \cdot N = 1$$

Representaciones gráficas en las distribuciones Bidimensionales siendo x_i e y_j Discretas:

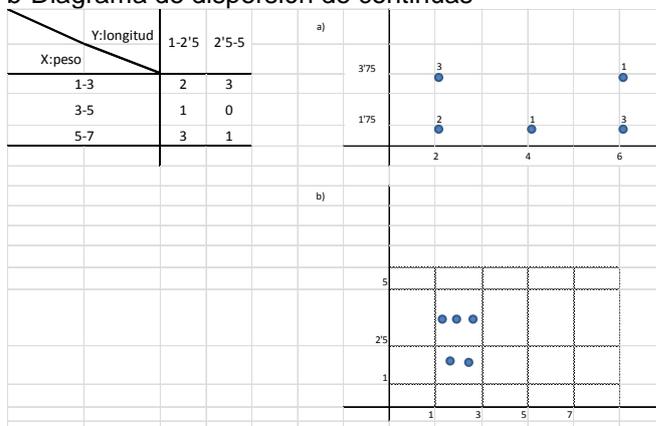
a-Diagrama de dispersión o nube de puntos en un plano 2d, poniendo las x_i 's en el eje horizontal y las y_j 's en el eje vertical.

b-Diagrama de Frecuencias en el espacio 3D: x_i 's e y_j 's en el plano horizontal y sus correspondientes n_{ij} en el eje vertical.

Representaciones gráficas en las distribuciones Bidimensionales siendo x_i e y_j Continuas :

a-Considero las marcas de clase y hago la gráfica como si fueran discretas (lo más habitual).

b-Diagrama de dispersión de continuas



Si una variable x_i es discreta y la y_j es continua, se consideran las marcas de clase de la continua o agrupada y se hace la gráfica como si ambas dos fueran discretas.

DISTRIBUCIONES MARGINALES: La distribución marginal de x es la distribución en x de todas las observaciones independientemente o al margen de los valores en la variable y (la última columna sumatoria). De igual manera se haría para y.

n_{xi} : frecuencia absoluta marginal de x. La última columna de la tabla de frecuencias.
 $f_{xi}=n_{xi}/N$: frecuencia relativa marginal de x.
 n_{yj} : frecuencia absoluta marginal de y. La última fila de la tabla de frecuencias.
 f_{yj} : frecuencia relativa marginal de y.

DISTRIBUCIONES CONDICIONADAS:

$n(x_i/y=y_j)$: distribución de x condicionada al valor de $y=y_j$. Sería la columna y_j de la tabla de frecuencias anterior.

$n(y_j/x=x_i)$: distribución de y condicionada al valor de $x=x_i$. Sería la fila x_i de la tabla de frecuencias anterior.

MEDIAS Y VARIANZAS MARGINALES: Son las medias y varianzas de las distribuciones marginales.

MOMENTO DE ORDÉNES r y s RESPECTO AL ORIGEN EN UNA DISTRIBUCIÓN BIDIMENSIONAL (r,s: enteros positivos):

$$a_{rs} = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l x_i^r \cdot y_j^s \cdot n_{ij}}{N}$$

Casos particulares:

$$\begin{aligned} a_{00} &= \frac{N}{N} = 1 \\ a_{01} &= \bar{y} \\ a_{10} &= \bar{x} \end{aligned}$$

Generalización de las medias marginales:

$$\begin{aligned} a_{20} &= \frac{\sum_{i=1}^k x_i^2 \cdot n_{xi}}{N} \\ a_{02} &= \frac{\sum_{j=1}^l y_j^2 \cdot n_{yj}}{N} \end{aligned}$$

MOMENTO DE ORDÉNES r y s RESPECTO A LAS MEDIAS EN UNA DISTRIBUCIÓN BIDIMENSIONAL (r,s: enteros positivos):

$$m_{rs} = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l (x_i - \bar{x})^r \cdot (y_j - \bar{y})^s \cdot n_{ij}}{N}$$

Casos particulares:

$$\begin{aligned} m_{20} &= \frac{\sum_{i=1}^k x_i^2 \cdot n_{xi}}{N} - \bar{x}^2 = a_{20} - a_{10}^2 = s_x^2 \\ m_{02} &= a_{02} - \bar{y}^2 = a_{02} - a_{01}^2 = s_y^2 \\ \text{COVARIANZA } s_{xy} &= m_{11} = a_{11} - a_{10} \cdot a_{01} \end{aligned}$$

ANEXO4.- Estadística Descriptiva

La **COVARIANZA** es una medida que nos hablará de la variabilidad conjunta de 2 variables numéricas cuantitativas.

$$S_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l (x_i - \bar{x}) \cdot (y_j - \bar{y}) \cdot n_{ij}}{N} = a_{11} - a_{10} \cdot a_{01} = a_{11} - \bar{x} \cdot \bar{y}$$

La fórmula anterior para la Covarianza es válida en el caso de disponer de la distribución agregada por frecuencias en una tabla de correlación.

En el caso de disponer de la distribución sin agregar por frecuencias (en un listado matricial de datos donde cada registro es una observación y n° de registros= N):

$$S_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l (x_i - \bar{x}) \cdot (y_j - \bar{y})}{N}$$

Si $k=l=n$ (hay n parejas de puntos (x_i, y_i)):

$$S_{XY} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{n}$$

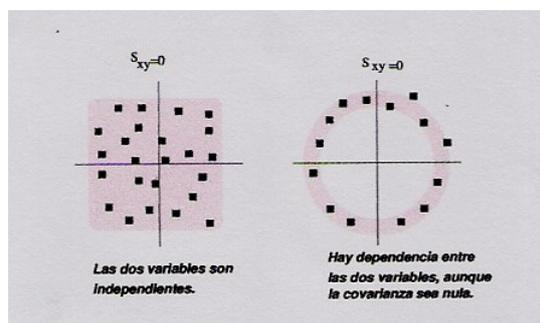
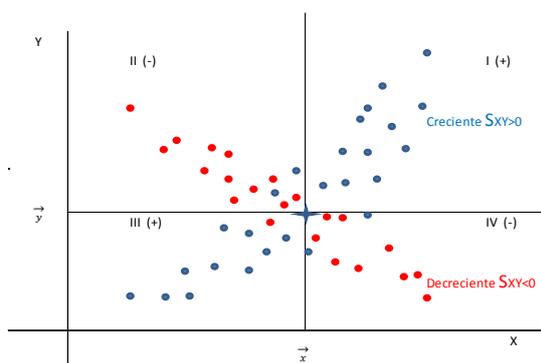
Las varianzas marginales, como varianzas que son, son No negativas.

Sin embargo la Covarianza puede ser positiva, cero ó negativa. Consideremos una nube de puntos formada por las $(k \times l)$ parejas de datos (x_i, y_i) . Si trasladamos los ejes XY al nuevo centro de coordenadas (\bar{x}, \bar{y}) la nube de puntos quedaría dividida en cuatro cuadrantes. Los puntos que se encuentran en el 1^{er} y 3^{er} cuadrante contribuyen positivamente al valor de S_{XY} , y los que se encuentran en el 2^o y 4^o lo hacen negativamente. De este modo:

$S_{xy} > 0$: Hay mayoría de puntos en el 1^{er} y 3^{er} cuadrante (nube creciente de puntos). Hay una tendencia que se manifiesta de modo que al crecer los valores de X también crecen los de la Y.

$S_{xy} = 0$: Los puntos se reparten homogéneamente alrededor de (\bar{x}, \bar{y}) y sus cuatro cuadrantes. No hay ninguna tendencia o relación lineal.

$S_{xy} < 0$: Hay una mayoría de puntos en el 2^o y 4^o (nube decreciente de puntos). Al crecer la X los valores de Y decrecen.



El signo de los cuadrantes viene determinado por $(x_i - \bar{x}) \cdot (y_j - \bar{y})$ (ver fórmula general)

ANEXO4.- Estadística Descriptiva

1.2.8.- INDEPENDENCIA ESTADÍSTICA : En una distribución bidimensional las variables X e Y son estadísticamente independientes si la distribución de X no depende para nada (sus frecuencias relativas son todo el rato las mismas) de quién es la Y. La condición para que dos variables sean independientes:

$$\frac{n_{xi} \cdot n_{yj}}{N} = n_{ij} \quad \forall i, j \quad (\text{condición de independencia estadística})$$

Relación entre la independencia estadística y la covarianza: Si dos variables son estadísticamente independientes entonces la covarianza $S_{XY}=0$. Sin embargo al revés no se cumpliría (que si la covarianza $S_{XY}=0$ entonces X e Y son independientes).

Se dice también que dos variables X e Y son independientes si la distribución marginal de una de ellas es la misma que la condicionada para cualquier valor de la otra. Esto implicará una estructura muy particular de la tabla bidimensional, en la que todas las filas y todas las columnas van a ser proporcionales entre sí.

Ejemplo de Independencia Estadística:

X: nº de empleados asalariados

Y: nº de vehículos de la empresa

	Yj=1		Yj=2		
X \ Y	2	4			
Xi=1	1	2			3
Xi=2	2	4			6
Xi=3	3	6			9
	6	12			18

El 33% de las empresas con 2 coches tienen un asalariado

x	n(x/y=2)	
0	1	(1/6).100=16,7
1	2	(2/6).100=33,3
2	3	(3/6).100=50
	6	

x	n(x/y=4)	
0	2	(2/12).100=16,7
1	4	(4/12).100=33,3
2	6	(6/12).100=50
	12	

Marginal de x		Frec relativa marginal de x
x	nxi	fi=(nxi/N)
0	3	(3/18).100=16,7
1	6	(6/18).100=33,3
2	9	(9/18).100=50
	18	

$$a_{11} = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l x_i^1 \cdot y_j^1 \cdot n_{ij}}{N} = \frac{0 \cdot 1 \cdot 2 + 0 \cdot 2 \cdot 4 + 1 \cdot 2 \cdot 2 + 1 \cdot 4 \cdot 4 + 2 \cdot 3 \cdot 2 + 2 \cdot 6 \cdot 4}{18} = \frac{80}{18}$$

$$x = a_{10} = \frac{1 \cdot 2 + 1 \cdot 4 + 2 \cdot 3 + 2 \cdot 6}{18} = \frac{24}{18}$$

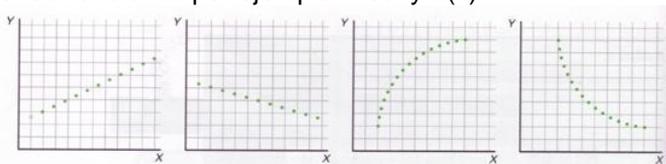
$$y = a_{01} = \frac{2 \cdot 1 + 2 \cdot 2 + 2 \cdot 3 + 4 \cdot 2 + 4 \cdot 4 + 4 \cdot 6}{18} = \frac{60}{18}$$

Entonces: $S_{xy} = a_{11} - x \cdot y = \frac{80}{18} - \frac{24 \cdot 60}{18 \cdot 18} = \frac{40}{9} - \frac{40}{9} = 0$

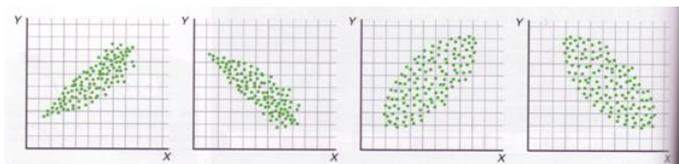
X e Y son estadísticamente independientes ya que la distribución de X no depende del valor de Y (sus frecuencias relativas son todo el rato las mismas).

1.2.9.- **REGRESIÓN (regreso a la media):** Entre dos variables X e Y pueden haber distintos tipos de dependencia:

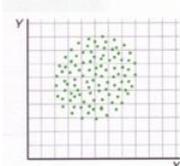
-Dependencia funcional: por ejemplo lineal $y=f(x)$.



-Dependencia aleatoria: Si sabes X más ó menos sabes Y. Esto es lo que realmente trata de comprender la Estadística. Ej: Conocida la altura +/- podré obtener el peso de la persona.



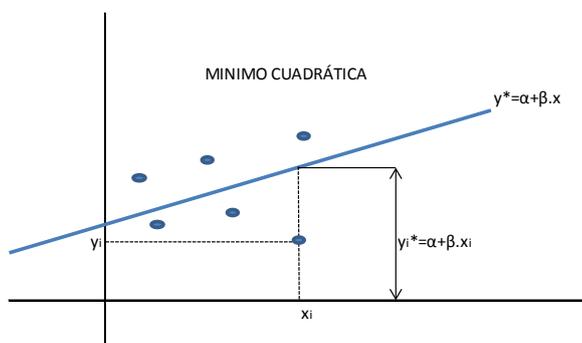
-Independencia entre variables: Sabiendo X no tengo ni idea de la Y.



En una distribución Bidimensional la nube de puntos reflejará éstas situaciones:

La Regresión pretende ajustar una función de ecuación conocida a la nube de puntos con el fin de pronosticar en una de las variables a partir de los valores conocidos de la otra.

Regresión Lineal: A la nube de puntos le ajusto una recta mediante la regresión lineal mínimo cuadrática (método de los mínimos cuadrados):



error $e_i = y_i - y_i^*$
 $\sum e_i^2$ ha de ser **MÍNIMO**

El método de los mínimos cuadrados consiste en buscar α y β de forma que la suma de los errores al cuadrado sea mínimo (hago mínimo al error). Se eleva al cuadrado para no diferenciar entre los errores por exceso ó por defecto.

Función a minimizar:

$$F(\alpha, \beta) = \sum_i (y_i - y_i^*)^2 = \sum_i (y_i - \alpha - \beta \cdot x_i)^2$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial F}{\partial \alpha} = 0 &\Rightarrow \sum_i 2 \cdot (y_i - \alpha - \beta \cdot x_i) \cdot (-1) = 0 && \left\{ \begin{aligned} \sum_i (y_i - \alpha - \beta \cdot x_i) &= 0 \\ \sum_i (x_i \cdot y_i - x_i \cdot \alpha - \beta \cdot x_i^2) &= 0 \end{aligned} \right\} \\ \frac{\partial F}{\partial \beta} = 0 &\Rightarrow \sum_i 2 \cdot (y_i - \alpha - \beta \cdot x_i) \cdot (-x_i) = 0 \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} \sum_i y_i = \sum_{i=1}^n \alpha + \sum_i \beta \cdot x_i &\Rightarrow \sum_i y_i = N \cdot \alpha + \beta \cdot \sum_i x_i \\ \sum_i x_i \cdot y_i = \sum_i \alpha \cdot x_i + \sum_i \beta \cdot x_i^2 &\Rightarrow \sum_i x_i \cdot y_i = \alpha \cdot \sum_i x_i + \beta \cdot \sum_i x_i^2 \end{aligned} \right\}$$

A fin de representar en la tabla de frecuencias la nube de puntos a estudio (obteniéndose una matriz diagonal) haré éstas suposiciones:

$$\begin{aligned} n_{ij} &= 1 && \text{cuando } i=j \\ n_{ij} &= 0 && \text{cuando } i \neq j \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned} N \cdot \bar{y} &= N \cdot \alpha + \beta \cdot N \cdot \bar{x} \\ N \cdot a_{11} &= \alpha \cdot N \cdot \bar{x} + \beta \cdot N \cdot a_{20} \end{aligned} \right\} \text{ siendo } a_{11} = \frac{\sum x_i \cdot y_i}{N} \quad \text{y} \quad a_{20} = \frac{\sum x_i^2}{N}$$

Despejando :

$$\beta = \frac{a_{11} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{a_{20} - \bar{x}^2} = \frac{s_{xy}}{s_x^2}$$

$$\alpha = \bar{y} - \frac{s_{xy}}{s_x^2} \cdot \bar{x}$$

La ecuación de la recta de regresión de y sobre x será ($y|_x$:siendo “y” la variable dependiente y “x” la independiente / obtengo la “y” sabiendo la “x”):

$$y = \alpha + \beta \cdot x$$

$$y = \bar{y} - \frac{s_{xy}}{s_x^2} \cdot \bar{x} + \frac{s_{xy}}{s_x^2} \cdot x$$

$$y - \bar{y} = \frac{s_{xy}}{s_x^2} \cdot (x - \bar{x}) \quad \text{recta de regresión de y sobre x}$$

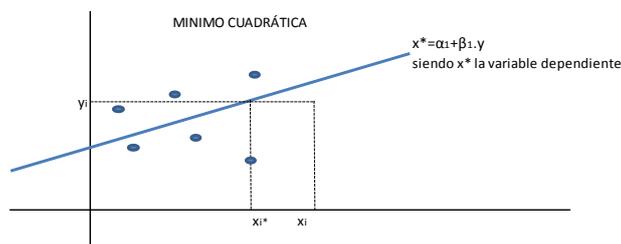
Nota acerca de la Covarianza:

$$S_{xy} = m_{11} = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l (x_i - \bar{x}) \cdot (y_j - \bar{y}) \cdot n_{ij}}{N} = a_{11} - a_{10} \cdot a_{01} = a_{11} - \bar{x} \cdot \bar{y}$$

$$S_{xy} = S_{yx}$$

ANEXO4.- Estadística Descriptiva

Entonces y de igual manera, la ecuación de la recta de regresión de x sobre y será $(x|_y)$: siendo "x" la variable dependiente e "y" la independiente /si quisiera saber "x" conocida la "y"):



$$x_i^* = \alpha_1 + \beta_1 \cdot y_i$$

$$\sum e_i^2 = \sum (x_i - \alpha_1 - \beta_1 \cdot y_i)^2$$

$$x - \bar{x} = \frac{s_{xy}}{s_y^2} \cdot (y - \bar{y}) \quad \text{recta de regresión de x sobre y}$$

Ejemplo: Estudiando los ladrillos de una fábrica y siendo x: "grado de pureza" e y: "tiempo de secado" calcular

a) Qué pureza cabe esperar en un material que tarda en secarse 3'8 hrs y otro que tarda 6 hrs

b) Qué t de secado cabe esperar para un material de pureza 7

x	1	2	3	4	5
y	3	3	5	6	5
frecuencia	2	4	3	1	3

Tabla de doble entrada:

x\y	3	5	6	n _{xi}	n _{xi} ·x _i	n _{xi} ·x _i ²
1	2	0	0	2	2	2
2	4	0	0	4	8	16
3	0	3	0	3	9	27
4	0	0	1	1	4	16
5	0	3	0	3	15	75
n _{yj}	6	6	1	13	38	136
n _{yj} ·y _j	18	30	6	54		
n _{yj} ·y _j ²	54	150	36	240		

$$\bar{x} = \frac{38}{13} = 2,92 \quad s_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^k x_i^2 \cdot n_i}{N} - \bar{x}^2 = \frac{136}{13} - \left(\frac{38}{13}\right)^2 = 1,92$$

$$\bar{y} = \frac{54}{13} = 4,15 \quad s_y^2 = \dots = \frac{240}{13} - \left(\frac{54}{13}\right)^2 = 1,21$$

$$s_{xy} = a_{11} - \bar{x} \cdot \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l x_i^1 \cdot y_j^1 \cdot n_{ij}}{N} - \bar{x} \cdot \bar{y} = \frac{174}{3} - (4,15 \cdot 2,92) = 1,26$$

a) ¿x?

$$x|_y \quad x - \bar{x} = \frac{s_{xy}}{s_y^2} \cdot (y - \bar{y}) \Rightarrow x = 0,86 \cdot y - 0,65$$

si y = 3,8 ⇒ x* = 0,86 · 3,8 - 0,65 = 2,61

si y = 6 ⇒ x* = 0,86 · 6 - 0,65 = 4,51

siendo las x* los valores pronosticados

b) ¿y?

$$y|_x \quad y - \bar{y} = \frac{s_{xy}}{s_x^2} \cdot (x - \bar{x}) \Rightarrow y = 0,65 \cdot x - 2,26$$

si x = 7 ⇒ y* = 0,65 · 7 - 2,26 = 6,81

siendo las y* el valor pronosticado

Propiedades de ambas rectas:

Si en las rectas de regresión de $x|_y$ y de $y|x$ llamo a:

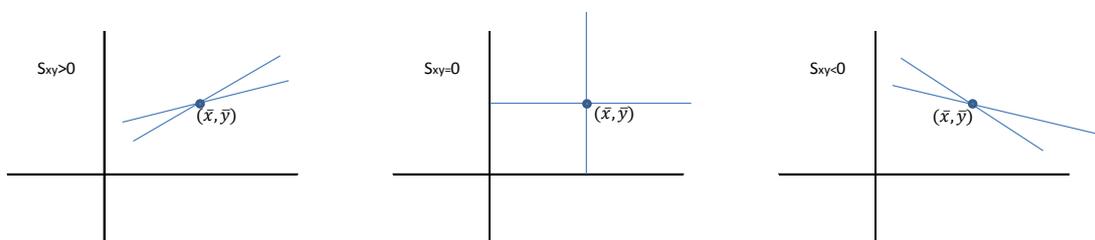
$$\beta_{yx} = \frac{S_{xy}}{S_x^2} \quad \text{pendiente de la recta de regresión de } y|x$$

$$\beta_{xy} = \frac{S_{xy}}{S_y^2} \quad \text{pendiente de la recta de regresión de } x|_y$$

1) Las dos rectas son del mismo signo (las dos crecen ó las dos decrecen) excepto cuando la covarianza $S_{xy}=0$.

$$\text{signo}\beta_{yx} = \text{signo}\beta_{xy} = \text{signo } S_{xy}$$

2) Las dos rectas se cortan siempre en el punto (\bar{x}, \bar{y})



$$s_{xy} = 0 \Rightarrow \beta_{yx} = \beta_{xy} = 0$$

$$y|_x \quad y - \bar{y} = 0 \Rightarrow y = \bar{y}$$

$$x|_y \quad x - \bar{x} = 0 \Rightarrow x = \bar{x}$$

1.2.10.- CORRELACIÓN : Estudiamos ahora el problema relativo a medir la intensidad con la que dos variables están relacionadas. La correlación lineal es el hecho de medir el grado de dependencia lineal entre dos variables: si la recta recae lejos de la nube de puntos entonces el grado de dependencia lineal es bajo, si ocurre al contrario entonces sería alto.

Considerando la siguiente tabla habrá que:

x_i	y_i
x_1	y_1
.	.
.	.
.	.
x_N	y_N

$$\text{minimizar} \quad \sum_i e_i^2 = \sum_i (y_i - y_i^*)^2$$

-Si la suma es grande la recta se ajusta mal. Mala correlación.

-Si la suma es cero todo $y_i = y_i^*$ y la recta pasa por todos los puntos de la nube, los cuales estarán alineados (siendo y_i^* el valor de la recta de regresión).

-Si la suma es pequeña la recta está cerca de la nube. Buena correlación.

ANEXO4.- Estadística Descriptiva

VARIANZA RESIDUAL (en la recta de regresión de y sobre x $y|_x$):

$$s_{ry}^2 = \frac{\sum e_i^2}{N} = \frac{\sum (y_i - y_i^*)^2}{N} = \frac{\sum [(y_i - \bar{y}) - \frac{s_{xy}}{s_x^2} \cdot (x_i - \bar{x})]^2}{N} = \frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{N} + \frac{\sum \left(\frac{s_{xy}}{s_x^2}\right)^2 \cdot (x_i - \bar{x})^2}{N} - 2 \cdot \frac{\sum \left(\frac{s_{xy}}{s_x^2}\right) \cdot (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{N} =$$

Habiendo supuesto que las frecuencias=1 y siendo $(s_{xy}/s_x^2)=cte$. Continúo desarrollando la igualdad:

$$= s_y^2 + \frac{s_{xy}^2}{s_x^4} \cdot \sum \frac{(x_i - \bar{x})^2}{N} - 2 \cdot \left(\frac{s_{xy}}{s_x^2}\right) \cdot \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{N} = s_y^2 + \frac{s_{xy}^2}{s_x^4} \cdot s_x^2 - 2 \cdot \frac{s_{xy}}{s_x^2} \cdot s_{xy} = s_y^2 - \frac{s_{xy}^2}{s_x^2} \quad c.q.d.$$

Si s_r^2 es grande entonces la Correlación Lineal es mala.

Si s_r^2 es pequeña entonces la Correlación Lineal es buena.

Si $s_r^2=0$ entonces todos los puntos están alineados. Correlación Lineal perfecta.

A partir de la Varianza Residual se define un coeficiente llamado COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN LINEAL r^2 : (sigo en la recta de regresión de y sobre x $y|_x$):

$$r^2 = 1 - \frac{s_{ry}^2}{s_y^2} = 1 - \frac{s_y^2 - \frac{s_{xy}^2}{s_x^2}}{s_y^2} = \frac{\frac{s_{xy}^2}{s_x^2}}{s_x^2 \cdot s_y^2} = \left(\frac{s_{xy}}{s_x \cdot s_y}\right)^2 \geq 0$$

$$0 \leq r^2 \leq 1$$

$$\text{fórmula equivalente: } s_{ry}^2 = (1 - r^2) \cdot s_y^2 \geq 0$$

Si $r^2=1$ Correlación Lineal perfecta (todos los puntos sobre la recta regresión) $s_{ry}^2 = 0 \Rightarrow \text{todo } y_i^* = y_i$

Si $r^2=0$ entonces $s_{ry}^2 = s_y^2$ que es su máximo valor ya que $s_{ry}^2 = s_y^2 - \frac{s_{xy}^2}{s_x^2}$ con $s_y^2, \frac{s_{xy}^2}{s_x^2} \geq 0$

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN LINEAL r :

$$r = \frac{s_{xy}}{s_x \cdot s_y} \quad \text{y como } 0 \leq r^2 \leq 1 \Rightarrow -1 \leq r \leq 1$$

Si fuera en la recta de regresión de x sobre y : $x|_y$

$$r^2 = \frac{s_{yx}^2}{s_y^2 \cdot s_x^2} = \frac{s_{xy}^2}{s_x^2 \cdot s_y^2}$$

$$r = \frac{s_{xy}}{s_x \cdot s_y} \quad (\text{el mismo})$$

PROPIEDADES:

$$1.- \quad y|_x \quad y - \bar{y} = \frac{s_{xy}}{s_x^2} \cdot (x - \bar{x}) = \frac{s_{xy}}{s_x \cdot s_y} \cdot \frac{s_y}{s_x} \cdot (x - \bar{x}) = r \cdot \frac{s_y}{s_x} \cdot (x - \bar{x})$$

$$\text{si } \beta_{yx} = r \cdot \frac{s_y}{s_x} \Rightarrow y - \bar{y} = \beta_{yx} \cdot (x - \bar{x})$$

$y|_x$ (de igual manera)

$$\text{si } \beta_{xy} = r \cdot \frac{s_x}{s_y} \Rightarrow x - \bar{x} = \beta_{xy} \cdot (y - \bar{y})$$

$$2.- \quad \beta_{yx} \cdot \beta_{xy} = r \cdot \frac{s_y}{s_x} \cdot r \cdot \frac{s_x}{s_y} = r^2$$

ANEXO4.- Estadística Descriptiva

3.- el signo de $\beta_{yx} = \text{signo}\beta_{xy} = \text{signo } s_{xy} = \text{signo } r$

4.- Si $r=1$ ó si $r=-1$ sus respectivas rectas $y|_x$ e $x|_y$ serán iguales.

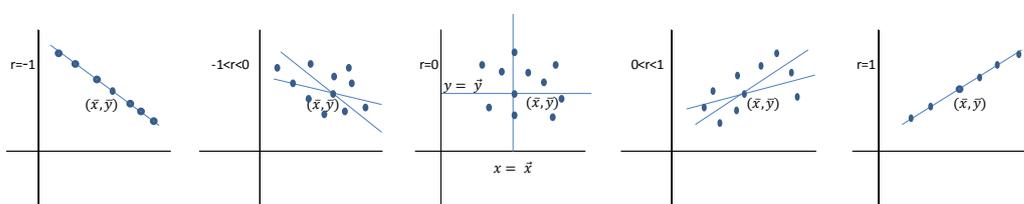
$$\frac{1}{r} \neq r \quad \text{excepto cuando } r = 1, -1$$

5.- Si $r=0$ las rectas serán perpendiculares entre sí, una horizontal y la otra vertical:

$$y|_x \quad y - \bar{y} = 0 \Rightarrow y = \bar{y}$$

$$x|_y \quad x - \bar{x} = 0 \Rightarrow x = \bar{x}$$

Resumiendo:



Si $r = -1 \Rightarrow r^2 = 1 \Rightarrow s_{xy}^2 = 0 \Rightarrow \forall y_i^* = y_i$		Si $r = 0 \Rightarrow r^2 = 0 \Rightarrow s_{xy}^2 = s_y^2 (\text{max})$		Si $r = 1 \Rightarrow r^2 = 1 \Rightarrow s_{xy}^2 = 0 \Rightarrow \forall y_i^* = y_i$
Todos los puntos de la nube están en la recta $y|_x$, la cual coincide con $x|_y$				Todos los puntos de la nube están en la recta $y|_x$, la cual coincide con $x|_y$
Ambas rectas decrecientes. Correlación lineal perfecta y negativa (rectas decrec con $r < 0$)	Las rectas son distintas y decrecientes. Correlac Lineal negativa (+ fuerte cuanto + cerca esté r de -1)	Rectas perpendic entre sí y paralelas a los ejes. Correlación lineal NULA (grado de asociación lineal nulo)	Las rectas son distintas y crecientes. Correlac Lineal positiva (+ fuerte cuanto + cerca esté r de 1)	Ambas rectas crecientes. Correlación lineal perfecta y positiva (rectas crec con $r > 0$)
Dependencia funcional lineal entre x e y				Dependencia funcional lineal entre x e y

Cuanto más cerca estén de sí las rectas mejor será la correlación (nubes con sus respectivos puntos menos dispersos entre sí).

r mide el grado de asociación lineal entre las variables x e y .

Relación entre la Correlación Lineal y la Independencia Estadística:

Como ya vimos anteriormente, si x e y son dos variables estadísticamente independientes la covarianza $s_{xy} = 0 \Rightarrow r = \frac{s_{xy}}{s_x \cdot s_y}$ y diremos que x e y están INCORRELADAS.

El recíproco no es cierto (si $r=0$ no se cumple que x e y son independientes, simplemente que el grado de asociación lineal es nulo)

Interpretación cuantitativa de r y r²:

Tomamos como ejemplo “x_i:peso varilla” e “y_i:longitud real de la varilla”

x _i	y _i	
x ₁	y ₁	
.	.	
.	.	n _{ij} =1 si i=j
x _i	y _i	n _{ij} =0 si i≠j
.	.	
.	.	
x _N	y _N	

Tendremos para cada x_i:

y_i (real): longitud real de la varilla.

$y_i^* = \bar{y} + \frac{s_{xy}}{s_x^2} \cdot (x_i - \bar{x})$:pronosticado con la recta de regresión de y sobre x (conocido x_i).

\bar{y} :pronóstico en y. Pronostico la longitud con su media si no supiera nada más.

Se demuestra que la “media de los valores pronosticados con la recta” y la “media de y” es la misma: $\bar{y}^* = \bar{y}$

a) $S_y^2 = \frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{N}$ Error Cuadrático Medio cometido al atribuir a cada individuo con puntuación y_i en la variable y su media \bar{y} , denominado VARIANZA DE Y.

b) $S_{ry}^2 = \frac{\sum (y_i - y_i^*)^2}{N}$ VARIANZA RESIDUAL: Es el Error Cuadrático Medio cometido al atribuir a cada individuo con valor y_i en la variable y el valor y_i^{*} obtenido por medio de la recta de regresión de y sobre x (y_i|x).

c) También se puede considerar la VARIANZA DE LAS PUNTUACIONES PRONOSTICADAS:

$$S_{y^*}^2 = \frac{\sum (y_i^* - \bar{y}^*)^2}{N} = \frac{\sum (y_i^* - \bar{y})^2}{N}$$

Se demuestra que: $S_y^2 = S_{ry}^2 + S_{y^*}^2$

- $S_y^2, S_{ry}^2, S_{y^*}^2 \geq 0$ $S_y^2 \geq S_{ry}^2$

- S_y^2 : Error Cuadrático Medio Primitivo. Error pronosticado con la media.
- S_{ry}^2 : Error pronosticado con la regresión.
- $S_{y^*}^2$: Lo que reducimos el error con la regresión respecto el error predecido con la media. Disminución del ECM Primitivo.

Para obtener la proporción del ECM eliminado: $\frac{S_{y^*}^2}{S_y^2} = \frac{S_y^2 - S_{ry}^2}{S_y^2} = 1 - \frac{S_{ry}^2}{S_y^2} = r^2$

r^2 :puede interpretarse como la proporción en la que hemos reducido el ECM al utilizar la recta de regresión. También como el tanto por uno de variabilidad en una de las variables que se atribuye a la variabilidad de la otra.

r :no tiene una interpretación cuantitativa, lo que me interesa de ella es su signo.

ANEXO4.- Estadística Descriptiva

Ejemplo: Observada una variable bidimensional hemos obtenido éstos pares (0,2) (1,6) (3,14) (-1,-2) (2,10)

- a) Escribir los pares como una tabla de doble entrada
- b) Calcular las distribuciones marginales, medias y varianzas marginales y la covarianza
- c) ¿Son x e y estadísticamente independientes?
- d) Estudiar la correlación entre las variables x e y
- e) Completar los pares siguientes: (-3,) (-2,) y (,4).
- f) Comentar la bondad del ajuste de la recta a la nube de puntos.
- g) Varianza residual, varianza de las puntuaciones pronosticadas con la recta de regresión de y|x

a) Tabla de doble entrada:

x\y	-2	2	6	10	14	n _{xi}	n _{xi} .x _i	n _{xi} .x _i ²
-1	1	0	0	0	0	1	-1	1
0	0	1	0	0	0	1	0	0
1	0	0	1	0	0	1	1	1
2	0	0	0	1	0	1	2	4
3	0	0	0	0	1	1	3	9
n _{yj}	1	1	1	1	1	5	5	15
n _{yj} .y _j	-2	2	6	10	14	30		
n _{yj} .y _j ²	4	4	36	100	196	340		

b)

$$\bar{x} = a_{10} = \frac{(-1 \cdot 1 + 0 \cdot 1 + 1 \cdot 1 + 2 \cdot 1 + 3 \cdot 1)}{5} = \frac{5}{5} = 1$$

$$S_x^2 = \frac{(-1)^2 \cdot 1 + 0^2 \cdot 1 + 1^2 \cdot 1 + 2^2 \cdot 1 + 3^2 \cdot 1}{5} - 1^2 = \frac{15}{5} - 1 = 2$$

$$\bar{y} = a_{01} = \frac{30}{5} = 6$$

$$S_y^2 = \frac{340}{5} - 6^2 = 32$$

$$S_{xy} = m_{11} = a_{11} - a_{10} \cdot a_{01} = a_{11} - \bar{x} \cdot \bar{y} = 14 - 1 \cdot 6 = 8$$

$$a_{11} = \frac{(-1 \cdot -2 \cdot 1) + 1 \cdot 6 \cdot 1 + 2 \cdot 10 \cdot 1 + 3 \cdot 14 \cdot 1}{5} = \frac{70}{5} = 14$$

c) $\frac{n_{xi} \cdot n_{yj}}{N} = n_{ij} \quad \forall i, j$

$$\frac{1 \cdot 1}{5} \neq 1 \Rightarrow \text{No serían estadísticamente indep}$$

d) hay correlación perfecta y positiva

$$r = \frac{s_{xy}}{s_x \cdot s_y} = \frac{8}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{32}} = 1$$

$$r^2 = \frac{s_{xy}^2}{s_x^2 \cdot s_y^2} = \frac{8^2}{2 \cdot 32} = 1$$

e)

$$y|x : y - \bar{y} = \frac{s_{xy}}{s_x^2} \cdot (x - \bar{x})$$

$$y - 6 = \frac{8}{2} (x - 1)$$

$$y = 6 + 4x - 4$$

$y = 4x + 2$ para pronosticar en y sabiendo la x.

Resultan ser la misma ecuación ya que $r = 4 \cdot \frac{1}{4} = 1$

si $x = -3 \Rightarrow$ el valor pronosticado $y^* = 4 \cdot (-3) + 2 = -10$ (-3, -10)

si $x = -2 \Rightarrow$ el valor pronosticado $y^* = 4 \cdot (-2) + 2 = -6$ (-2, -6)

si $y = 4 \Rightarrow$ el valor pronosticado $x^* = \frac{1}{4} \cdot (4) - \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$ ($\frac{1}{2}$, 4)

$$x|y : x - \bar{x} = \frac{s_{xy}}{s_y^2} \cdot (y - \bar{y})$$

$$x - 1 = \frac{8}{32} \cdot (y - 6)$$

$$x = \frac{1}{4} \cdot y - \frac{1}{2}$$

f)

$r=1$ entonces el ajuste es perfecto.

$100 \cdot r^2 = 100$ el 100% de las variaciones en y son atribuibles a las variaciones en x y al revés.

Toda variabilidad de x está explicada por la variabilidad de y y al revés.

Al utilizar la regresión hemos eliminado el 100% del error cometido al pronosticar con la media.

g)

$$s_{ry}^2 \Rightarrow r^2 = 1 = 1 - \frac{s_{ry}^2}{s_y^2} \Rightarrow \frac{s_{ry}^2}{s_y^2} = 0 \Rightarrow s_{ry}^2 = 0$$

$$s_y^2 = s_{ry}^2 + s_{y*}^2 \Rightarrow 32 = 0 + s_{y*}^2$$
$$s_{y*}^2 = 32$$

DISTRIBUCIÓN NORMAL: $\xi = N(\mu, \sigma)$

Una VA (variable aleatoria) continua ξ se dice que se distribuye como una normal de parámetros (números que me hacen falta para saber en qué tipo de distribución me encuentro) μ y $\sigma > 0$ cuando la variable ξ toma cualquier valor en $\mathbb{R}(-\infty, +\infty)$ con la siguiente función de densidad:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Se trata del modelo de distribución de probabilidad para variables continuas más importante. La función f depende de dos parámetros, μ , que es al mismo tiempo la media, la mediana y la moda de la distribución y σ , que es la desviación típica.

Diremos que una variable es $N(\mu, \sigma)$ cuando sigue la cuando sigue la función densidad anterior. La distribución normal aproxima lo observado en muchos procesos de medición sin errores sistemáticos. Por ejemplo, las medidas físicas del cuerpo humano en una población, los resultados en tests de inteligencia o personalidad, las medidas de calidad en muchos procesos industriales o los errores de las observaciones astronómicas siguen distribuciones normales. Una justificación de la frecuente aparición de la distribución normal es el teorema central del límite y que establece que cuando los resultados de un experimento son debidos a un conjunto muy grande de causas independientes, que actúan sumando sus efectos, siendo cada efecto individual de poca importancia respecto al conjunto, es esperable que los resultados sigan una distribución normal.

La variable normal $N(0,1)$ se denomina normal estándar y su función de distribución está tabulada.

Ejemplo: Escribir $f(x)$ de la Normal de parámetros 0,1:

$$\xi = N(\mu, \sigma) = N(0, 1)$$

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{x^2}{2}}$$

f es simétrica respecto OY. El eje OX es una asíntota horizontal.

Estudio de máximos y mínimos:

$$f'(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{x^2}{2}} \cdot (-x) = 0 \Rightarrow \text{en } x = 0 \text{ máximo}$$

Si $x \rightarrow +\infty$, $f(x) \rightarrow 0$
 Si $x \rightarrow -\infty$, $f(x) \rightarrow 0$

Forma general de f(x): función campaniforme simétrica respecto $x = \mu$

La gráfica de f(x) de una normal $\xi = N(\mu, \sigma)$:

- @ $f(x) \geq 0$
- @ f(x) presenta un máximo cuando $x = \mu$
- @ Hay dos puntos de inflexión en $x = (\mu - \sigma)$ y en $x = (\mu + \sigma)$
- @ Es simétrica respecto a la vertical $x = \mu$
- @ El eje OX es una asíntota horizontal
- @ El área encerrada entre la curva $y = f(x)$ y el eje OX es igual a 1.

La probabilidad de que en una Distribución Normal $\xi = N(\mu, \sigma)$ la variable ξ tome un valor entre x_1 y x_2 sería el área rayada:

$$P[x_1 \leq \xi \leq x_2] = \int_{x_1}^{x_2} f(x) \cdot dx = \int_{x_1}^{x_2} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \cdot dx$$

Éstas ecuaciones son difíciles de resolver y no se suele trabajar con ellas.

Propiedades o proposiciones:

- 1) Si a una variable $\xi = N(\mu, \sigma)$ la transformo en otra variable tipificada también normal de parámetros 0 y 1 (acorde a la nomenclatura universal) de la siguiente manera:

$$Z = \frac{\xi - \mu}{\sigma} = N(0,1)$$

- 2) En $\xi = N(\mu, \sigma)$:
 - a. La media es $E(\xi) = \mu$
 - b. La varianza es $V(\xi) = \sigma^2$ siendo σ la desviación típica
- 3) Generalización para $\xi = N(\mu, \sigma)$:

$$P[x_1 \leq \xi \leq x_2] = P\left[\frac{x_1 - \mu}{\sigma} \leq \frac{\xi - \mu}{\sigma} \leq \frac{x_2 - \mu}{\sigma}\right] = P[Z_1 \leq Z \leq Z_2] \quad (\text{via Tablas})$$

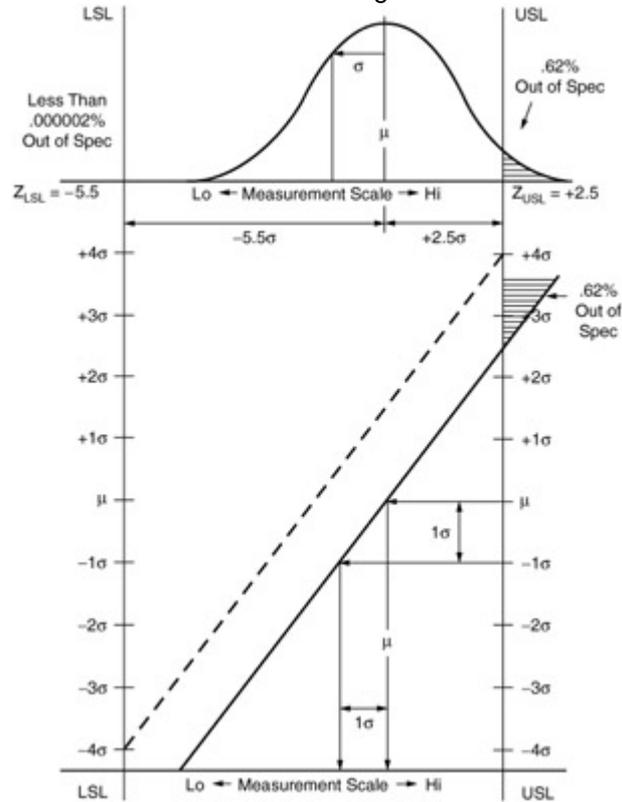
Ejemplo: En una $\xi = N(\mu, \sigma) = N(3, 1)$ calcular $P[3,2 \leq \xi \leq 3,8]$ usando las correspondientes tablas.

$$P[3,2 \leq \xi \leq 3,8] = P\left[\frac{3,2-3}{1} \leq \frac{\xi-3}{1} \leq \frac{3,8-3}{1}\right] = P[0,2 \leq Z \leq 0,8] \quad \text{siendo } Z=N(0,1)$$

$$P = (\text{área a la dcha de } 0,2) - (\text{área a la dcha de } 0,8) = 0,4207 - 0,2119 = 0,2088$$

ANEXO4.- Estadística Descriptiva

Mediante métodos estadísticos (acumulando de izquierda a derecha las frecuencias) la curva Normal podría transformarse en la recta llamada Recta de Henry o Recta de Probabilidad a fin de poder tomar ciertas conclusiones de una manera gráfica.



Errores e incertidumbres de los aparatos de medición.

Durante cualquier medición siempre aparecen una serie de errores procedentes de distintas fuentes: el mensurando, el instrumento de medida, las condiciones ambientales, el operador, etc., los cuales se clasifican en sistemáticos y aleatorios. Los primeros pueden cancelarse o corregirse, si se conocen sus causas, mientras que sobre los segundos, de comportamiento impredecible, no puede actuarse de la misma manera. Ambos tipos de errores, de naturaleza distinta a la incertidumbre de medida, contribuyen a ésta, bien en su totalidad, por no haber corrección alguna, bien con los errores no corregidos y la incertidumbre de la corrección aplicada para los errores corregidos, si fuese el caso.

Así, en una serie de mediciones repetidas, el error denominado "aleatorio" varía de manera impredecible, oscilando en torno a un valor medio. Se supone que procede de variaciones temporales y espaciales de las magnitudes de influencia (temperatura, humedad, presión, etc.) que causan dicha variación en las lecturas. No es posible compensarlo, pero puede reducirse incrementando el número de observaciones, a fin de reducir la dispersión en torno al valor medio.

El error sistemático por su parte es aquel que, en una serie de mediciones repetidas, permanece constante o varía de manera predecible. No puede eliminarse totalmente, pero frecuentemente puede reducirse o incluso corregirse, si se identifican sus causas. Por ejemplo, el error obtenido al medir una pieza a una temperatura distinta de la de referencia, puede corregirse teniendo en cuenta la dilatación o contracción sufrida por la pieza ($\Delta L = \alpha \cdot \Delta T \cdot L$). Cuando no es posible aplicar una corrección, suele sumarse todo el error sistemático a la incertidumbre de medida expandida.

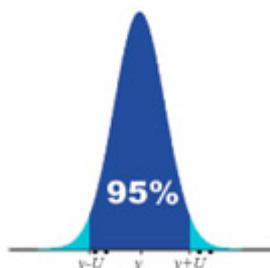
El concepto de incertidumbre de medida, tal y como hoy lo entendemos, aparece en 1980 y en la actualidad se define como el parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando, a partir de la información de que se dispone.

A la hora de expresar el resultado de medición de una magnitud física, es obligado dar alguna indicación cuantitativa de la calidad del mismo o, dicho de otro modo, de la confianza que se tiene en él. Sin dicha indicación, las mediciones no pueden compararse entre sí, ni con otros valores de referencia. Esto significa que las mediciones deben expresarse en la forma $y \pm U$, donde y es el resultado más probable (normalmente el valor medio de una serie de mediciones) y U es la incertidumbre de medida asociada al mismo. Cuanto menor sea U , más calidad tendrá el resultado de medida y más fácil será tomar decisiones, como veremos más adelante.

Si tanto la estimación del resultado más probable y como de la incertidumbre U se han realizado correctamente, la probabilidad p de que el valor verdadero de esa magnitud física pertenezca al intervalo $y \pm U$ será muy elevada. La probabilidad p se denomina probabilidad de cobertura y su valor suele fijarse en un 95 %. En estas condiciones el intervalo $y \pm U$ recibe el nombre de intervalo de cobertura (también llamado intervalo de incertidumbre) y U el de incertidumbre expandida, ambos determinados para una probabilidad de cobertura p .

Anexo 5.- Errores e incertidumbres en los aparatos de medición

En ocasiones, por razones de naturaleza estadística, es conveniente expresar la incertidumbre de medida a través de una desviación típica utilizándose para ello la denominada incertidumbre típica u . El cociente entre la incertidumbre expandida y la incertidumbre típica recibe el nombre de factor de cobertura $k = U/u$. En el caso habitual en el cual pueda aceptarse que el resultado de medida se distribuye normalmente (ver figura 1), el factor de cobertura correspondiente a una probabilidad de cobertura del 95 % es $k = 1,96$ (aproximadamente $k = 2$).



El proceso de estimación de la incertidumbre de medida se realiza conforme a lo estipulado en la Guía para la expresión de la incertidumbre de medida, más conocida como GUM por sus siglas en inglés y en sus respectivos suplementos.

Para que un instrumento de medida, por ejemplo un pie de rey, una balanza, un barómetro, un termómetro o un voltímetro, o un patrón de medida, por ejemplo una pesa o masa patrón, un bloque patrón longitudinal, una resistencia patrón o un oscilador patrón, puedan utilizarse de manera metrológicamente correcta deberán disponer de trazabilidad adecuada. Para ello es necesario someter el instrumento o patrón a una calibración y determinar la correspondiente corrección de calibración C_c .

El objetivo de esta corrección de calibración C_c es compensar los errores de tipo sistemático que permanecerían constantes entre dos calibraciones sucesivas. Por tanto, el valor de la corrección de calibración cambiado de signo coincidiría con una estimación de dichos errores sistemáticos. Por eso, en ocasiones, la información que se recoge en los certificados de calibración no es la corrección de calibración propiamente dicha, sino estimaciones de esos errores sistemáticos en unas ciertas condiciones de referencia, denominándose a esas estimaciones “error del instrumento” o “error del patrón”.

Anexo 5.- Errores e incertidumbres en los aparatos de medición

Veamos a continuación a modo de ejemplo el certificado de calibración de un pie de rey:




CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
Certificate of Calibration

NUMERO 97642
Number

Página 1 de 6 páginas
Page 1 of 6 pages



TEKNIKER
LABORATORIO DE METROLOGIA
Avenida de Otazola, 20
23600 IRIAR (GUFUZZOIA)
Tlfno.: 943206744 FAX: 943202757



OBJETO: PIE DE REY
Item

MARCA: MITUTOYO
Mark

MODELO: 500-639
Model

IDENTIFICACIÓN: 0000163
Identification

SOLICITANTE: INGENIERÍA Y DESARROLLO DE MÁQUINAS, S.L.
Applicant
1ª Urbatura, 32 G, Polígono 27 (Martutena)
20014 SAN SEBASTIAN

FECHA(S) DE CALIBRACIÓN: 12-05-09
Date(s) of calibration



RESPONSABLE DEL AREA:
Authorized Signatory
F. Oñativia
Tel: 943 206 744 Fax: 943 202 757
E-mail: f.oonativia@tekniker.com

JEFE DE LABORATORIO:
Authorized Signatory
A. Gonzalez
Tel: 943 206 744 Fax: 943 202 757
E-mail: a.gonzalez@tekniker.com

Este certificado se expide de acuerdo con las condiciones de la acreditación otorgada por ENAC, que ha comprobado las capacidades de medida del laboratorio y su trazabilidad a patrones nacionales e internacionales.
ENAC es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Mútuo (MLA) de calibración de la European Cooperation for Accreditation (EA) y de International Laboratories Accreditation Cooperation (ILAC).
Este certificado no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.

This certificate is issued in accordance with the conditions of accreditation granted by ENAC which has assessed the measurement capability of the laboratory and its traceability to national or international standards.
ENAC is one of the signatories of the Mutual Recognition Agreement of the European Cooperation for Accreditation (EA) and the International Laboratories Accreditation Cooperation (ILAC).
This certificate may not be partially reproduced, except with the prior written permission of the issuing laboratory.





IDENTIFICACIÓN DEL EQUIPO A CALIBRAR

DENOMINACIÓN: PIE DE REY
MARCA: MITUTOYO
MODELO: 500-639
IDENTIFICACIÓN: 0000163
CAMPO DE MEDIDA: 0-300 mm
DIVISIÓN DE ESCALA: 0,01 mm
OBSERVACIONES:

CONDICIONES Y METODOS DE CALIBRACIÓN

MEDIOS EMPLEADOS EN LA CALIBRACIÓN	CONDICIONES AMBIENTALES	NORMAS
- BLOQUE PATRÓN LONGITUDINAL GRADO 0, MITUTOYO, 985898-7201-6 - BLOQUE PATRÓN LONGITUDINAL GRADO 0, MITUTOYO, 98460-7201-6 - BLOQUE PATRÓN LONGITUDINAL GRADO 0, TESA, 308307-7010-35 - BLOQUE PATRÓN LONGITUDINAL GRADO 0, TESA, 308307-7010-36 - BLOQUE PATRÓN LONGITUDINAL GRADO 0, TESA, 308307-7010-37 - BLOQUE PATRÓN LONGITUDINAL GRADO 0, TESA, 308307-7010-38 - BLOQUES PATRÓN LONGITUDINALES GRADO 0, SELECT, 6433-7201-2 - PATRÓN CILÍNDRICO DE Ø INTERIOR, TESA-ZYM, 7203	20 ± 1° C	PC-MM.407

TRAZABILIDAD

Los patrones e instrumentos empleados en esta calibración gozan de la garantía de trazabilidad mediante las correspondientes certificaciones controladas por ENAC.



ENAC
EUROPEAN COOPERATION FOR ACCREDITATION
TEL: 943 206 744 FAX: 943 202 757
WWW.ENAC.COM

CERTIFICADO: N° 97642 Página 2 de 6





OBSERVACIONES

Los resultados contenidos en el presente certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones.

La incertidumbre expresada se calcula de acuerdo con el documento EA-4/02 y se obtiene multiplicando la incertidumbre típica por un factor K=2, que para una distribución normal corresponde a un nivel de confianza del 95%.

La incertidumbre de la corrección se ha estimado a partir de las siguientes contribuciones: patrones utilizados, la repetibilidad de las medidas, la resolución del equipo y las magnitudes de influencia (temperatura cuando proceda).

Se advierte al usuario de la necesidad de considerar las magnitudes de influencia significativas, e incrementar consecuentemente la incertidumbre global, cuando utilice los elementos en condiciones que difieran de las de calibración.

El laboratorio no se responsabiliza del uso inadecuado de los instrumentos calibrados.



ENAC
EUROPEAN COOPERATION FOR ACCREDITATION
TEL: 943 206 744 FAX: 943 202 757
WWW.ENAC.COM

CERTIFICADO: N° 97642 Página 3 de 6





RESULTADOS

CONTACTOS DE EXTERIORES

		PUNTOS DE CALIBRACION (mm)						
		0	50	100	150	200	250	300
CORRECCIONES	0	0	0	-0,01	0	-0,01	-0,01	-0,01
	0	0	-0,01	0	-0,01	-0,01	-0,02	-0,02
	0	0	0	0	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01
	0	0	0	0,01	0	0	0	0
	0	0	0,01	0,01	0	0	0	0
	0	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
	0	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
	0	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02
	0	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02
	0	0,02	0,03	0,03	0,04	0,02	0,02	0,02
Σ	0	0,009	0,009	0,014	0,009	0,004	0,004	0,004
Se	0	0,011	0,0145	0,0117	0,0185	0,0117	0,0143	0,0143
U _{95K=2}	0	0	0	0	0	0	0	0
U _{95K=2}	0,006	0,009	0,011	0,009	0,013	0,009	0,011	0,011

CORRECCIONES EN mm
FACTOR DE COBERTURA K=2



ENAC
EUROPEAN COOPERATION FOR ACCREDITATION
TEL: 943 206 744 FAX: 943 202 757
WWW.ENAC.COM

CERTIFICADO: N° 97642 Página 4 de 6

Anexo 5.- Errores e incertidumbres en los aparatos de medición



CONTACTOS DE INTERIORES

PUNTOS DE CALIBRACION (mm)			
	25	50	100
CORRECCIONES	-0,01	-0,02	-0,03
	-0,01	-0,01	-0,03
	-0,01	-0,02	-0,02
	-0,01	-0,02	-0,03
	-0,02	-0,01	-0,02
	-0,01	-0,02	-0,02
	-0,02	-0,02	-0,03
	-0,02	-0,02	-0,02
	-0,01	-0,01	-0,03
	-0,02	-0,01	-0,04
\bar{C}	-0,014	-0,016	-0,027
S_c	0,0052	0,0052	0,0067
$U_{0K=2}$	0	0	0
$U_{0K=2}$	0,007	0,007	0,007

CORRECCIONES EN mm
FACTOR DE COBERTURA K=2



CERTIFICADO: N° 97642 Página 5 de 6



SONDA DE PROFUNDIDAD

PUNTOS DE CALIBRACION (mm)			
	25	50	100
CORRECCIONES	0	0	-0,01
	0	0	0
	0	0,01	0
	0	0	-0,01
	0	0	0
	0	0	0
	0	0,01	0
	0	0	-0,01
	0,01	0,01	0,01
	0	0	0
\bar{C}	0,001	0,003	-0,002
S_c	0,0032	0,0048	0,0063
$U_{0K=2}$	0	0	0
$U_{0K=2}$	0,006	0,007	0,007

CORRECCIONES EN mm
FACTOR DE COBERTURA K=2

NOTAS

- \bar{C} = Media de las correcciones (valor del patrón menos media de las indicaciones del instrumento)
- S_c = Desviación típica.
- U_0 = Incertidumbre del patrón. (No se considera por ser despreciable frente a la resolución del equipo)
- U_1 = Incertidumbre de la corrección.



CERTIFICADO: N° 97642 Página 6 de 6

$$\text{Valor verdadero de la magnitud física} = y \pm U$$

Donde:

$y \pm U$: forma de expresar las mediciones. Intervalo de cobertura.

y : Resultado o valor más probable (normalmente la media de una serie de mediciones)

U : incertidumbre de la medida asociada a y

$$U = u(y) \cdot K$$

Donde:

U : incertidumbre expandida de la medición

$u(y)$: incertidumbre estándar de la estimación de salida de y

K : factor de cobertura. En una distribución Normal o Gaussiana, para una probabilidad de cobertura del 95% el factor $K=2$.

ISO 5725

Esta norma asocia la autenticidad/veracidad ("trueness") con los errores sistemáticos y la precisión con los errores aleatorios.

Define a la Exactitud como la combinación de ambos dos términos, veracidad y precisión.

Veracidad: cercanía de la media de los resultados de las mediciones al valor verdadero

Precisión: grado de acuerdo entre los valores individuales. Repetibilidad y reproducibilidad de las mediciones.

Idealmente un equipo es exacto y preciso cuando las mediciones están próximas y agrupadas juntas alrededor del valor verdadero.

Exactitud de un sistema de medida:

Grado de cercanía/proximidad de las medidas de una magnitud a su valor verdadero/real. Cercanía del cálculo al valor verdadero.

La tolerancia de la medición, que me define los límites de los errores cometidos por el instrumento cuando éste se usa bajo condiciones normales de operación.

Precisión de un sistema de medida:

Está relacionada con la repetibilidad y la reproducibilidad, y es el grado para el que medidas repetidas bajo unas mismas condiciones muestran el mismo resultado.

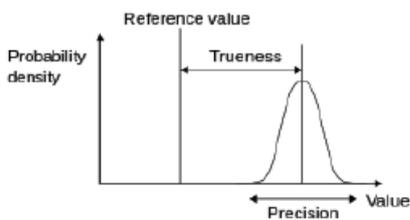
Resolución de la representación, típicamente definido por el nº de decimal.

Bias: no-aleatorios o efectos dirigidos causados por un factor o factores no relacionados con la variable independiente

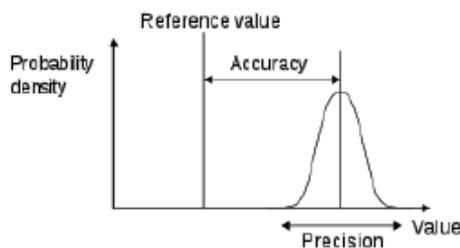
Diferencia entre la media de las mediciones y el valor de referencia. Se adecúa mediante la calibración.

Error: variación aleatoria.

Resolución de la medida: cual es el cambio más pequeño en la cantidad física subyacente que produce una respuesta en la medición.



According to ISO 5725-1, Accuracy consists of Trueness (proximity of measurement results to the true value) and Precision (repeatability or reproducibility of the measurement)



	Electronic device proposed by GE Mitutoyo Absolute ID-U1025E code 575-123	Dial gage proposed by Gamesa Niigata Seiki welding gauge for undercut FDW-1
Measurement Range:	0 - 25'4 mms	0 - 4 mms
Resolution or Minimum reading:	0,01mms	0,01 mms
Accuracy:	+/- 0,02mms	+/- 0,04mms

ANEX#6

Six Sigma Reference Tool

rev. 2.0b
Author: R. Chapin

Definition:

1-Sample sign test

Tests the probability of sample median being equal to hypothesized value.

Tool to use:

1-Sample t-Test

Picture available---> Click Go

Data Type:

Continuous X & Y

P < .05 Indicates:

Not equal

What does it do?

Compares mean to target

Why use it?

The 1-sample t-test is useful in identifying a significant difference between a sample mean and a specified value when the difference is not readily apparent from graphical tools. Using the 1-sample t-test to compare data gathered before process improvements and after is a way to prove that the mean has actually shifted.

When to use?

The 1-sample t-test is used with continuous data any time you need to compare a sample mean to a specified value. This is useful when you need to make judgments about a process based on a sample output from that process.

Six Sigma 12 Step Process

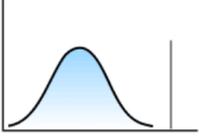
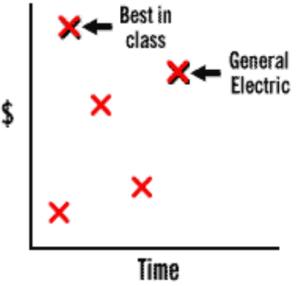
Step	Description	Focus	Deliverable	Sample Tools
0	Project Selection		Identify project CTQ's, develop team charter, define high-level process map	
1	Select CTQ characteristics	Y	Identify and measure customer CTQ's	Customer, QFD, FMEA
2	Define Performance Standards	Y	Define and confirm specifications for the Y	Customer, blueprints
3	Measurement System Analysis	Y	Measurement system is adequate to measure Y	Continuous Gage R&R, Test/Retest, Attribute R&R
4	Establish Process Capability	Y	Baseline current process; normality test	Capability indices
5	Define Performance Objectives	Y	Statically define goal of project	Team, benchmarking
6	Identify Variation Sources	X	List of statistically significant X's based on analysis of historical data	Process Analysis, Graphical analysis, hypothesis testing
7	Screen Potential Causes	X	Determine vital few X's that cause changes to your Y	DOE-screening
8	Discover Variable Relationships	X	Determine transfer function between Y and vital few X's; Determine optimal settings for vital few X's; Perform confirmation runs	Factorial designs
9	Establish Operating Tolerances	Y, X	Specify tolerances on the vital few X's	Simulation
10	Define and Validate Measurement System on X's in actual application	Y, X	Measurement system is adequate to measure X's	Continuous Gage R&R, Test/Retest, Attribute R&R
11	Determine Process Capability	Y, X	Determine post improvement capability and performance	Capability indices
12	Implement Process Control	X	Develop and implement process control plan	Control charts, mistake proof, FMEA

Term	Definitions Definition	Training Link
1-Sample sign test	Tests the probability of sample median being equal to hypothesized value.	
Accuracy	Accuracy refers to the variation between a measurement and what actually exists. It is the difference between an individual's average measurements and that of a known standard, or accepted "truth."	
Alpha risk	Alpha risk is defined as the risk of accepting the alternate hypothesis when, in fact, the null hypothesis is true; in other words, stating a difference exists where actually there is none. Alpha risk is stated in terms of probability (such as 0.05 or 5%). The acceptable level of alpha risk is determined by an organization or individual and is based on the nature of the decision being made. For decisions with high consequences (such as those involving risk to human life), an alpha risk of less than 1% would be expected. If the decision involves minimal time or money, an alpha risk of 10% may be appropriate. In general, an alpha risk of 5% is considered the norm in decision making. Sometimes alpha risk is expressed as its inverse, which is confidence level. In other words, an alpha risk of 5% also could be expressed as a 95% confidence level.	
Alternative hypothesis (Ha)	The alternate hypothesis (H _a) is a statement that the observed difference or relationship between two populations is real and not due to chance or sampling error. The alternate hypothesis is the opposite of the null hypothesis (P < 0.05). A dependency exists between two or more factors	
Analysis of variance (ANOVA)	Analysis of variance is a statistical technique for analyzing data that tests for a difference between two or more means. See the tool 1-Way ANOVA.	
Anderson-Darling Normality Test	P-value < 0.05 = not normal.	
Attribute Data	see discrete data	
Bar chart	A bar chart is a graphical comparison of several quantities in which the lengths of the horizontal or vertical bars represent the relative magnitude of the values.	
Benchmarking	Benchmarking is an improvement tool whereby a company measures its performance or process against other companies' best practices, determines how those companies achieved their performance levels, and uses the information to improve its own performance. See the tool Benchmarking.	
Beta risk	Beta risk is defined as the risk of accepting the null hypothesis when, in fact, the alternate hypothesis is true. In other words, stating no difference exists when there is an actual difference. A statistical test should be capable of detecting differences that are important to you, and beta risk is the probability (such as 0.10 or 10%) that it will not. Beta risk is determined by an organization or individual and is based on the nature of the decision being made. Beta risk depends on the magnitude of the difference between sample means and is managed by increasing test sample size. In general, a beta risk of 10% is considered acceptable in decision making.	
Bias	Bias in a sample is the presence or influence of any factor that causes the population or process being sampled to appear different from what it actually is. Bias is introduced into a sample when data is collected without regard to key factors that may influence the population or process.	
Blocking	Blocking neutralizes background variables that can not be eliminated by randomizing. It does so by spreading them across the experiment	
Boxplot	A box plot, also known as a box and whisker diagram, is a basic graphing tool that displays centering, spread, and distribution of a continuous data set	
CAP Includes/Excludes	CAP Includes/Excludes is a tool that can help your team define the boundaries of your project, facilitate discussion about issues related to your project scope, and challenge you to agree on what is included and excluded within the scope of your work. See the tool CAP Includes/Excludes.	
CAP Stakeholder Analysis	CAP Stakeholder Analysis is a tool to identify and enlist support from stakeholders. It provides a visual means of identifying stakeholder support so that you can develop an action plan for your project. See the tool CAP Stakeholder Analysis.	
Capability Analysis	Capability analysis is a Minitab™ tool that visually compares actual process performance to the performance standards. See the tool Capability Analysis.	
Cause	A factor (X) that has an impact on a response variable (Y); a source of variation in a process or product.	
Cause and Effect Diagram	A cause and effect diagram is a visual tool used to logically organize possible causes for a specific problem or effect by graphically displaying them in increasing detail. It helps to identify root causes and ensures common understanding of the causes that lead to the problem. Because of its fishbone shape, it is sometimes called a "fishbone diagram." See the tool Cause and Effect Diagram.	
Center	The center of a process is the average value of its data. It is equivalent to the mean and is one measure of the central tendency.	
Center points	A center point is a run performed with all factors set halfway between their low and high levels. Each factor must be continuous to have a logical halfway point. For example, there are no logical center points for the factors vendor, machine, or location (such as city); however, there are logical center points for the factors temperature, speed, and length.	
Central Limit Theorem	The central limit theorem states that given a distribution with a mean μ and variance σ^2 , the sampling distribution of the mean approaches a normal distribution with a mean and variance/N as N, the sample size, increases	
Characteristic	A characteristic is a definable or measurable feature of a process, product, or variable.	
Chi Square test	A chi square test, also called "test of association," is a statistical test of association between discrete variables. It is based on a mathematical comparison of the number of observed counts with the number of expected counts to determine if there is a difference in output counts based on the input category. See the tool Chi Square-Test of Independence. Used with Defects data (counts) & defectives data (how many good or bad). Critical Chi-Square is Chi-squared value where p=.05.	3,096
Common cause variability	Common cause variability is a source of variation caused by unknown factors that result in a steady but random distribution of output around the average of the data. Common cause variation is a measure of the process's potential, or how well the process can perform when special cause variation is removed. Therefore, it is a measure of the process technology. Common cause variation is also called random variation, noise, noncontrollable variation, within-group variation, or inherent variation. Example: many X's with a small impact.	Step 12 p.103
Confidence band (or interval)	Measurement of the certainty of the shape of the fitted regression line. A 95% confidence band implies a 95% chance that the true regression line fits within the confidence bands. Measurement of certainty.	
Confounding	Factors or interactions are said to be confounded when the effect of one factor is combined with that of another. In other words, their effects can not be analyzed independently.	
Consumers Risk	Concluding something is bad when it is actually good (TYPE II Error)	
Continuous Data	Continuous data is information that can be measured on a continuum or scale. Continuous data can have almost any numeric value and can be meaningfully subdivided into finer and finer increments, depending upon the precision of the measurement system. Examples of continuous data include measurements of time, temperature, weight, and size. For example, time can be measured in days, hours, minutes, seconds, and in even smaller units. Continuous data is also called quantitative data.	
Control limits	Control limits define the area three standard deviations on either side of the centerline, or mean, of data plotted on a control chart. Do not confuse control limits with specification limits. Control limits reflect the expected variation in the data and are based on the distribution of the data points. Minitab™ calculates control limits using collected data. Specification limits are established based on customer or regulatory requirements. Specification limits change only if the customer or regulatory body so requests.	
Correlation	Correlation is the degree or extent of the relationship between two variables. If the value of one variable increases when the value of the other increases, they are said to be positively correlated. If the value of one variable decreases when the value of the other decreases, they are said to be negatively correlated. The degree of linear association between two variables is quantified by the correlation coefficient	
Correlation coefficient (r)	The correlation coefficient quantifies the degree of linear association between two variables. It is typically denoted by r and will have a value ranging between negative 1 and positive 1.	
Critical element	A critical element is an X that does not necessarily have different levels of a specific scale but can be configured according to a variety of independent alternatives. For example, a critical element may be the routing path for an incoming call or an item request form in an order-taking process. In these cases the critical element must be specified correctly before you can create a viable solution; however, numerous alternatives may be considered as possible solutions.	
CTQ	CTQs (stands for Critical to Quality) are the key measurable characteristics of a product or process whose performance standards, or specification limits, must be met in order to satisfy the customer. They align improvement or design efforts with critical issues that affect customer satisfaction. CTQs are defined early in any Six Sigma project, based on Voice of the Customer (VOC) data.	
Cycle time	Cycle time is the total time from the beginning to the end of your process, as defined by you and your customer. Cycle time includes process time, during which a unit is acted upon to bring it closer to an output, and delay time, during which a unit of work waits to be processed.	
Dashboard	A dashboard is a tool used for collecting and reporting information about vital customer requirements and your business's performance for key customers. Dashboards provide a quick summary of process performance.	
Data	Data is factual information used as a basis for reasoning, discussion, or calculation; often this term refers to quantitative information	
Defect	A defect is any nonconformity in a product or process; it is any event that does not meet the performance standards of a Y.	
Defective	The word defective describes an entire unit that fails to meet acceptance criteria, regardless of the number of defects within the unit. A unit may be defective because of one or more defects.	
Descriptive statistics	Descriptive statistics is a method of statistical analysis of numeric data, discrete or continuous, that provides information about centering, spread, and normality. Results of the analysis can be in tabular or graphic format.	
Design Risk Assessment	A design risk assessment is the act of determining potential risk in a design process, either in a concept design or a detailed design. It provides a broader evaluation of your design beyond just CTQs, and will enable you to eliminate possible failures and reduce the impact of potential failures. This ensures a rigorous, systematic examination in the reliability of the design and allows you to capture system-level risk	

Detectable Effect Size	When you are deciding what factors and interactions you want to get information about, you also need to determine the smallest effect you will consider significant enough to improve your process. This minimum size is known as the detectable effect size, or DES. Large effects are easier to detect than small effects. A design of experiment compares the total variability in the experiment to the variation caused by a factor. The smaller the effect you are interested in, the more runs you will need to overcome the variability in your experimentation.
DF (degrees of freedom)	Equal to: $(\#rows - 1)(\#cols - 1)$
Discrete Data	Discrete data is information that can be categorized into a classification. Discrete data is based on counts. Only a finite number of values is possible, and the values cannot be subdivided meaningfully. For example, the number of parts damaged in shipment produces discrete data because parts are either damaged or not damaged.
Distribution	Distribution refers to the behavior of a process described by plotting the number of times a variable displays a specific value or range of values rather than by plotting the value itself.
DMADV	DMADV is GE Company's data-driven quality strategy for designing products and processes, and it is an integral part of GE's Six Sigma Quality Initiative. DMADV consists of five interconnected phases: Define, Measure, Analyze, Design, and Verify.
DMAIC	DMAIC refers to General Electric's data-driven quality strategy for improving processes, and is an integral part of the company's Six Sigma Quality Initiative. DMAIC is an acronym for five interconnected phases: Define, Measure, Analyze, Improve, and Control.
DOE	A design of experiment is a structured, organized method for determining the relationship between factors (Xs) affecting a process and the output of that process.
DPMO	Defects per million opportunities (DPMO) is the number of defects observed during a standard production run divided by the number of opportunities to make a defect during that run, multiplied by one million.
DPO	Defects per opportunity (DPO) represents total defects divided by total opportunities. DPO is a preliminary calculation to help you calculate DPMO (defects per million opportunities). Multiply DPO by one million to calculate DPMO.
DPU	Defects per unit (DPU) represents the number of defects divided by the number of products.
Dunnett's(1-way ANOVA):	Check to obtain a two-sided confidence interval for the difference between each treatment mean and a control mean. Specify a family error rate between 0.5 and 0.001. Values greater than or equal to 1.0 are interpreted as percentages. The default error rate is 0.05.
Effect	An effect is that which is produced by a cause; the impact a factor (X) has on a response variable (Y).
Entitlement	As good as a process can get without capital investment
Error	Error, also called residual error, refers to variation in observations made under identical test conditions, or the amount of variation that can not be attributed to the variables included in the experiment.
Error (type I)	Error that concludes that someone is guilty, when in fact, they really are not. (Ho true, but I rejected it--concluded Ha) ALPHA
Error (type II)	Error that concludes that someone is not guilty, when in fact, they really are. (Ha true, but I concluded Ho). BETA
Factor	A factor is an independent variable; an X.
Failure Mode and Effect Analysis	Failure mode and effects analysis (FMEA) is a disciplined approach used to identify possible failures of a product or service and then determine the frequency and impact of the failure. See the tool Failure Mode and Effects Analysis.
Fisher's (1-way ANOVA):	Check to obtain confidence intervals for all pairwise differences between level means using Fisher's LSD procedure. Specify an individual rate between 0.5 and 0.001. Values greater than or equal to 1.0 are interpreted as percentages. The default error rate is 0.05.
Fits	Predicted values of "Y" calculated using the regression equation for each value of "X"
Fitted value	A fitted value is the Y output value that is predicted by a regression equation.
Fractional factorial DOE	A fractional factorial design of experiment (DOE) includes selected combinations of factors and levels. It is a carefully prescribed and representative subset of a full factorial design. A fractional factorial DOE is useful when the number of potential factors is relatively large because they reduce the total number of runs required. By reducing the number of runs, a fractional factorial DOE will not be able to evaluate the impact of some of the factors independently. In general, higher-order interactions are confounded with main effects or lower-order interactions. Because higher order interactions are rare, usually you can assume that their effect is minimal and that the observed effect is caused by the main effect or lower-level interaction. C:\Six Sigma\CD Training\04B_analysis_010199.pps-7
Frequency plot	A frequency plot is a graphical display of how often data values occur.
Full factorial DOE	A full factorial design of experiment (DOE) measures the response of every possible combination of factors and factor levels. These responses are analyzed to provide information about every main effect and every interaction effect. A full factorial DOE is practical when fewer than five factors are being investigated. Testing all combinations of factor levels becomes too expensive and time-consuming with five or more factors.
F-value (ANOVA)	Measurement of distance between individual distributions. As F goes up, P goes down (i.e., more confidence in there being a difference between two means). To calculate: $(\text{Mean Square of X} / \text{Mean Square of Error})$
Gage R&R	Gage R&R, which stands for gage repeatability and reproducibility, is a statistical tool that measures the amount of variation in the measurement system arising from the measurement device and the people taking the measurement. See Gage R&R tools.
Gantt Chart	A Gantt chart is a visual project planning device used for production scheduling. A Gantt chart graphically displays time needed to complete tasks.
Goodman-Kruskal Gamma	Term used to describe % variation explained by X
GRPI	GRPI stands for four critical and interrelated aspects of teamwork: goals, roles, processes, and interpersonal relationships, and it is a tool used to assess them. See the tool GRPI.
Histogram	A histogram is a basic graphing tool that displays the relative frequency or occurrence of continuous data values showing which values occur most and least frequently. A histogram illustrates the shape, centering, and spread of data distribution and indicates whether there are any outliers. See the tool Histogram.
Homogeneity of variance	Homogeneity of variance is a test used to determine if the variances of two or more samples are different. See the tool Homogeneity of Variance.
Hypothesis testing	Hypothesis testing refers to the process of using statistical analysis to determine if the observed differences between two or more samples are due to random chance (as stated in the null hypothesis) or to true differences in the samples (as stated in the alternate hypothesis). A null hypothesis (H_0) is a stated assumption that there is no difference in parameters (mean, variance, DPMO) for two or more populations. The alternate hypothesis (H_a) is a statement that the observed difference or relationship between two populations is real and not the result of chance or an error in sampling. Hypothesis testing is the process of using a variety of statistical tools to analyze data and, ultimately, to accept or reject the null hypothesis. From a practical point of view, finding statistical evidence that the null hypothesis is false allows you to reject the null hypothesis and accept the alternate hypothesis.
I-MR Chart	An I-MR chart, or individual and moving range chart, is a graphical tool that displays process variation over time. It signals when a process may be going out of control and shows where to look for sources of special cause variation. See the tool I-MR Control.
In control	In control refers to a process unaffected by special causes. A process that is in control is affected only by common causes. A process that is out of control is affected by special causes in addition to the common causes affecting the mean and/or variance of a process.
Independent variable	An independent variable is an input or process variable (X) that can be set directly to achieve a desired output
Intangible benefits	Intangible benefits, also called soft benefits, are the gains attributable to your improvement project that are not reportable for formal accounting purposes. These benefits are not included in the financial calculations because they are nonmonetary or are difficult to attribute directly to quality. Examples of intangible benefits include cost avoidance, customer satisfaction and retention, and increased employee morale.
Interaction	An interaction occurs when the response achieved by one factor depends on the level of the other factor. On interaction plot, when lines are not parallel, there's an interaction.
Interrelationship digraph	An interrelationship digraph is a visual display that maps out the cause and effect links among complex, multivariable problems or desired outcomes.
IQR	Intraquartile range (from box plot) representing range between 25th and 75th quartile.
Kano Analysis	Kano analysis is a quality measurement used to prioritize customer requirements.
Kruskal-Wallis	Kruskal-Wallis performs a hypothesis test of the equality of population medians for a one-way design (two or more populations). This test is a generalization of the procedure used by the Mann-Whitney test and, like Mood's median test, offers a nonparametric alternative to the one-way analysis of variance. The Kruskal-Wallis test looks for differences among the populations medians. The Kruskal-Wallis test is more powerful (the confidence interval is narrower, on average) than Mood's median test for analyzing data from many distributions, including data from the normal distribution, but is less robust against outliers.
Kurtosis	Kurtosis is a measure of how peaked or flat a curve's distribution is.
L1 Spreadsheet	An L1 spreadsheet calculates defects per million opportunities (DPMO) and a process Z value for discrete data.
L2 Spreadsheet	An L2 spreadsheet calculates the short-term and long-term Z values for continuous data sets.
Leptokurtic Distribution	A leptokurtic distribution is symmetrical in shape, similar to a normal distribution, but the center peak is much higher; that is, there is a higher frequency of values near the mean. In addition, a leptokurtic distribution has a higher frequency of data in the tail area.
Levels	Levels are the different settings a factor can have. For example, if you are trying to determine how the response (speed of data transmittal) is affected by the factor (connection type), you would need to set the factor at different levels (modem and LAN) then measure the change in response.
Linearity	Linearity is the variation between a known standard, or "truth," across the low and high end of the gage. It is the difference between an individual's measurements and that of a known standard or truth over the full range of expected values.
LSL	A lower specification limit is a value above which performance of a product or process is acceptable. This is also known as a lower spec limit or LSL.
Lurking variable	A lurking variable is an unknown, uncontrolled variable that influences the output of an experiment.
Main Effect	A main effect is a measurement of the average change in the output when a factor is changed from its low level to its high level. It is calculated as the average output when a factor is at its high level minus the average output when the factor is at its low level. C:\Six Sigma\CD Training\04A_efficient_022499.pps-13
Mallows Statistic (C-p)	Statistic within Regression-->Best Fits which is used as a measure of bias (i.e., when predicted is different than truth). Should equal $(\#vars + 1)$

Mann-Whitney	Mann-Whitney performs a hypothesis test of the equality of two population medians and calculates the corresponding point estimate and confidence interval. Use this test as a nonparametric alternative to the two-sample t-test.
Mean	The mean is the average data point value within a data set. To calculate the mean, add all of the individual data points then divide that figure by the total number of data points.
Measurement system analysis	Measurement system analysis is a mathematical method of determining how much the variation within the measurement process contributes to overall process variability.
Median	The median is the middle point of a data set; 50% of the values are below this point, and 50% are above this point.
Mode	The most often occurring value in the data set
Moods Median	Mood's median test can be used to test the equality of medians from two or more populations and, like the Kruskal-Wallis Test, provides a nonparametric alternative to the one-way analysis of variance. Mood's median test is sometimes called a median test or sign scores test. Mood's Median Test tests: H0: the population medians are all equal versus H1: the medians are not all equal An assumption of Mood's median test is that the data from each population are independent random samples and the population distributions have the same shape. Mood's median test is robust against outliers and errors in data and is particularly appropriate in the preliminary stages of analysis. Mood's Median test is more robust than is the Kruskal-Wallis test against outliers, but is less powerful for data from many distributions, including the normal. Multicollinearity is the degree of correlation between Xs. It is an important consideration when using multiple regression on data that has been collected without the aid of a design of experiment (DOE). A high degree of multicollinearity may lead to regression coefficients that are too large or are headed in the wrong direction from that you had expected based on your knowledge of the process. High correlations between Xs also may result in a large p-value for an X that changes when the intercorrelated X is dropped from the equation. The variance inflation factor provides a measure of the degree of multicollinearity.
Multicollinearity	
Multiple regression	Multiple regression is a method of determining the relationship between a continuous process output (Y) and several factors (Xs).
Multi-vari chart	A multi-vari chart is a tool that graphically displays patterns of variation. It is used to identify possible Xs or families of variation, such as variation within a subgroup, between subgroups, or over time. See the tool Multi-Vari Chart.
Noise	Process input that consistently causes variation in the output measurement that is random and expected and, therefore, not controlled is called noise. Noise also is referred to as white noise, random variation, common cause variation, uncontrollable variation, and within-group variation.
Nominal	It refers to the value that you estimate in a design process that approximate your real CTQ (Y) target value based on the design element capacity. Nominals are usually referred to as point estimate and related to y-hat model.
Non-parametric	Set of tools that avoids assuming a particular distribution.
Normal Distribution	Normal distribution is the spread of information (such as product performance or demographics) where the most frequently occurring value is in the middle of the range and other probabilities tail off symmetrically in both directions. Normal distribution is graphically categorized by a bell-shaped curve, also known as a Gaussian distribution. For normally distributed data, the mean and median are very close and may be identical.
Normal probability	Used to check whether observations follow a normal distribution. P > 0.05 = data is normal
Normality test	A normality test is a statistical process used to determine if a sample or any group of data fits a standard normal distribution. A normality test can be performed mathematically or graphically. See the tool Normality Test.
Null Hypothesis (Ho)	A null hypothesis (H ₀) is a stated assumption that there is no difference in parameters (mean, variance, DPMO) for two or more populations. According to the null hypothesis, any observed difference in samples is due to chance or sampling error. It is written mathematically as follows: H ₀ : m ₁ = m ₂ H ₀ : s ₁ = s ₂ . Defines what you expect to observe. (e.g., all means are same or independent). (P > 0.05)
Opportunity	An opportunity is anything that you inspect, measure, or test on a unit that provides a chance of allowing a defect.
Outlier	An outlier is a data point that is located far from the rest of the data. Given a mean and standard deviation, a statistical distribution expects data points to fall within a specific range. Those that do not are called outliers and should be investigated to ensure that the data is correct. If the data is correct, you have witnessed a rare event or your process has changed. In either case, you need to understand what caused the outliers to occur.
Percent of tolerance	Percent of tolerance is calculated by taking the measurement error of interest, such as repeatability and/or reproducibility, dividing by the total tolerance range, then multiplying the result by 100 to express the result as a percentage.
Platykurtic Distribution	A platykurtic distribution is one in which most of the values share about the same frequency of occurrence. As a result, the curve is very flat, or plateau-like. Uniform distributions are platykurtic.
Pooled Standard Deviation	Pooled standard deviation is the standard deviation remaining after removing the effect of special cause variation-such as geographic location or time of year. It is the average variation of your subgroups.
Prediction Band (or interval)	Measurement of the certainty of the scatter about a certain regression line. A 95% prediction band indicates that, in general, 95% of the points will be contained within the bands.
Probability	Probability refers to the chance of something happening, or the fraction of occurrences over a large number of trials. Probability can range from 0 (no chance) to 1 (full certainty).
Probability of Defect	Probability of defect is the statistical chance that a product or process will not meet performance specifications or lie within the defined upper and lower specification limits. It is the ratio of expected defects to the total output and is expressed as p(d). Process capability can be determined from the probability of defect.
Process Capability	Process capability refers to the ability of a process to produce a defect-free product or service. Various indicators are used-some address overall performance, some address potential performance.
Producers Risk	Concluding something is good when it is actually bad (TYPE I Error)
p-value	The p-value represents the probability of concluding (incorrectly) that there is a difference in your samples when no true difference exists. It is a statistic calculated by comparing the distribution of given sample data and an expected distribution (normal, F, t, etc.) and is dependent upon the statistical test being performed. For example, if two samples are being compared in a t-test, a p-value of 0.05 means that there is only 5% chance of arriving at the calculated t value if the samples were not different (from the same population). In other words, a p-value of 0.05 means there is only a 5% chance that you would be wrong in concluding the populations are different. P-value < 0.05 = safe to conclude there's a difference. P-value = risk of wasting time investigating further.
Q1	25th percentile (from box plot)
Q3	75th percentile (from box plot)
Qualitative data	Discrete data
Quality Function Deployment	Quality function deployment (QFD) is a structured methodology used to identify customers' requirements and translate them into key process deliverables. In Six Sigma, QFD helps you focus on ways to improve your process or product to meet customers' expectations. See the tool Quality Function Deployment.
Quantitative data	Continuous data
Radar Chart	A radar chart is a graphical display of the differences between actual and ideal performance. It is useful for defining performance and identifying strengths and weaknesses.
Randomization	Running experiments in a random order, not the standard order in the test layout. Helps to eliminate effect of "lurking variables", uncontrolled factors which might vary over the length of the experiment.
Rational Subgroup	A rational subgroup is a subset of data defined by a specific factor such as a stratifying factor or a time period. Rational subgrouping identifies and separates special cause variation (variation between subgroups caused by specific, identifiable factors) from common cause variation (unexplained, random variation caused by factors that cannot be pinpointed or controlled). A rational subgroup should exhibit only common cause variation.
Regression analysis	Regression analysis is a method of analysis that enables you to quantify the relationship between two or more variables (X) and (Y) by fitting a line or plane through all the points such that they are evenly distributed about the line or plane. Visually, the best-fit line is represented on a scatter plot by a line or plane. Mathematically, the line or plane is represented by a formula that is referred to as the regression equation. The regression equation is used to model process performance (Y) based on a given value or values of the process variable (X).
Repeatability	Repeatability is the variation in measurements obtained when one person takes multiple measurements using the same techniques on the same parts or items.
Replicates	Number of times you ran each corner. Ex. 2 replicates means you ran one corner twice.
Replication	Replication occurs when an experimental treatment is set up and conducted more than once. If you collect two data points at each treatment, you have two replications. In general, plan on making between two and five replications for each treatment. Replicating an experiment allows you to estimate the residual or experimental error. This is the variation from sources other than the changes in factor levels. A replication is not two measurements of the same data point but a measurement of two data points under the same treatment conditions. For example, to make a replication, you would not have two persons time the response of a call from the northeast region during the night shift. Instead, you would time two calls into the northeast region's help desk during the night shift.
Reproducibility	Reproducibility is the variation in average measurements obtained when two or more people measure the same parts or items using the same measuring technique.
Residual	A residual is the difference between the actual Y output value and the Y output value predicted by the regression equation. The residuals in a regression model can be analyzed to reveal inadequacies in the model. Also called "errors"
Resolution	Resolution is a measure of the degree of confounding among effects. Roman numerals are used to denote resolution. The resolution of your design defines the amount of information that can be provided by the design of experiment. As with a computer screen, the higher the resolution of your design, the more detailed the information you will see. The lowest resolution you can have is resolution III.
Robust Process	A robust process is one that is operating at 6 sigma and is therefore resistant to defects. Robust processes exhibit very good short-term process capability (high short-term Z values) and a small Z shift value. In a robust process, the critical elements usually have been designed to prevent or eliminate opportunities for defects; this effort ensures sustainability of the process. Continual monitoring of robust processes is not usually needed, although you may wish to set up periodic audits as a safeguard.
Rolled Throughput Yield	Rolled throughput yield is the probability that a single unit can pass through a series of process steps free of defects.

R-squared	A mathematical term describing how much variation is being explained by the X. FORMULA: $R-sq = SS(\text{regression}) / SS(\text{total})$	
R-Squared	Answers question of how much of total variation is explained by X . Caution: R-sq increases as number of data points increases. Pg. 13 analyze	
R-squared (adj)	Unlike R-squared, R-squared adjusted takes into account the number of X's and the number of data points. FORMULA: $R-sq(\text{adj}) = 1 - \frac{[SS(\text{regression})/DF(\text{regression})]}{[SS(\text{total})/DF(\text{total})]}$	
R-Squared adjusted Sample	Takes into account the number of X's and the number of data points...also answers: how much of total variation is explained by X.	
Sample Size Calc.	A portion or subset of units taken from the population whose characteristics are actually measured	
Sampling	The sample size calculator is a spreadsheet tool used to determine the number of data points, or sample size, needed to estimate the properties of a population. See the tool Sample Size Calculator.	
scatter plot	Sampling is the practice of gathering a subset of the total data available from a process or a population.	
Scorecard	A scatter plot, also called a scatter diagram or a scattergram, is a basic graphic tool that illustrates the relationship between two variables. The dots on the scatter plot represent data points. See the tool Scatter Plot.	
Screening DOE	A scorecard is an evaluation device, usually in the form of a questionnaire, that specifies the criteria your customers will use to rate your business's performance in satisfying their requirements.	
Segmentation	A screening design of experiment (DOE) is a specific type of a fractional factorial DOE. A screening design is a resolution III design, which minimizes the number of runs required in an experiment. A screening DOE is practical when you can assume that all interactions are negligible compared to main effects. Use a screening DOE when your experiment contains five or more factors. Once you have screened out the unimportant factors, you may want to perform a fractional or full-fractional DOE.	
S-hat Model	Segmentation is a process used to divide a large group into smaller, logical categories for analysis. Some commonly segmented entities are customers, data sets, or markets.	
Sigma	It describes the relationship between output variance and input nominals	
Simple Linear Regression	The Greek letter σ (sigma) refers to the standard deviation of a population. Sigma, or standard deviation, is used as a scaling factor to convert upper and lower specification limits to Z. Therefore, a process with three standard deviations between its mean and a spec limit would have a Z value of 3 and commonly would be referred to as a 3 sigma process.	
SIPOC	Simple linear regression is a method that enables you to determine the relationship between a continuous process output (Y) and one factor (X). The relationship is typically expressed in terms of a mathematical equation such as $Y = b + mX$	
Skewness	SIPOC stands for suppliers, inputs, process, output, and customers. You obtain inputs from suppliers, add value through your process, and provide an output that meets or exceeds your customer's requirements.	
Span	Most often, the median is used as a measure of central tendency when data sets are skewed. The metric that indicates the degree of asymmetry is called, simply, skewness. Skewness often results in situations when a natural boundary is present. Normal distributions will have a skewness value of approximately zero. Right-skewed distributions will have a positive skewness value; left-skewed distributions will have a negative skewness value. Typically, the skewness value will range from negative 3 to positive 3. Two examples of skewed data sets are salaries within an organization and monthly prices of homes for sale in a particular area.	
Special cause variability	A measure of variation for "S-shaped" fulfillment Y's	
Spread	Unlike common cause variability, special cause variation is caused by known factors that result in a non-random distribution of output. Also referred to as "exceptional" or "assignable" variation. Example: Few X's with big impact.	Step 12 p.103
SS Process Report	The spread of a process represents how far data points are distributed away from the mean, or center. Standard deviation is a measure of spread.	
SS Product Report	The Six Sigma process report is a Minitab™ tool that calculates process capability and provides visuals of process performance. See the tool Six Sigma Process Report.	
Stability	The Six Sigma product report is a Minitab™ tool that calculates the DPMO and short-term capability of your process. See the tool Six Sigma Product Report.	
Standard Deviation (s)	Stability represents variation due to elapsed time. It is the difference between an individual's measurements taken of the same parts after an extended period of time using the same techniques.	
Standard Order	Standard deviation is a measure of the spread of data in relation to the mean. It is the most common measure of the variability of a set of data. If the standard deviation is based on a sampling, it is referred to as "s." If the entire data population is used, standard deviation is represented by the Greek letter sigma (σ). The standard deviation (together with the mean) is used to measure the degree to which the product or process falls within specifications. The lower the standard deviation, the more likely the product or service falls within spec. When the standard deviation is calculated in relation to the mean of all the data points, the result is an overall standard deviation. When the standard deviation is calculated in relation to the means of subgroups, the result is a pooled standard deviation. Together with the mean, both overall and pooled standard deviations can help you determine your degree of control over the product or process.	
Statistic	Design of experiment (DOE) treatments often are presented in a standard order. In a standard order, the first factor alternates between the low and high setting for each treatment. The second factor alternates between low and high settings every two treatments. The third factor alternates between low and high settings every four treatments. Note that each time a factor is added, the design doubles in size to provide all combinations for each level of the new factor.	
Statistical Process Control (SPC)	Any number calculated from sample data, describes a sample characteristic	
Stratification	Statistical process control is the application of statistical methods to analyze and control the variation of a process.	
Subgrouping	A stratifying factor, also referred to as stratification or a stratifier, is a factor that can be used to separate data into subgroups. This is done to investigate whether that factor is a significant special cause factor.	
Tolerance Range	Measurement of where you can get.	
Total Observed Variation	Tolerance range is the difference between the upper specification limit and the lower specification limit.	
Total Prob of Defect	Total observed variation is the combined variation from all sources, including the process and the measurement system.	
Transfer function	The total probability of defect is equal to the sum of the probability of defect above the upper spec limit-p(d), upper-and the probability of defect below the lower spec limit-p(d), lower.	
Transformations	A transfer function describes the relationship between lower level requirements and higher level requirements. If it describes the relationship between the nominal values, then it is called a y-hat model. If it describes the relationship between the variations, then it is called an s-hat model.	
Trivial many	Used to make non-normal data look more normal.	GEAE CD (Control)
T-test	The trivial many refers to the variables that are least likely responsible for variation in a process, product, or service.	
Tukey's (1-wayANOVA):	A t-test is a statistical tool used to determine whether a significant difference exists between the means of two distributions or the mean of one distribution and a target value. See the t-test tools.	
Unexplained Variation (S)	Check to obtain confidence intervals for all pairwise differences between level means using Tukey's method (also called Tukey's HSD or Tukey-Kramer method). Specify a family error rate between 0.5 and 0.001. Values greater than or equal to 1.0 are interpreted as percentages. The default error rate is 0.05.	
Unit	Regression statistical output that shows the unexplained variation in the data. $Se = \sqrt{(\sum(y_i - \bar{y})^2)/(n-1)}$	
USL	A unit is any item that is produced or processed.	
Variation	An upper specification limit, also known as an upper spec limit, or USL, is a value below which performance of a product or process is acceptable.	
Variation (common cause)	Variation is the fluctuation in process output. It is quantified by standard deviation, a measure of the average spread of the data around the mean. Variation is sometimes called noise. Variance is squared standard deviation.	
Variation (special cause)	Common cause variation is fluctuation caused by unknown factors resulting in a steady but random distribution of output around the average of the data. It is a measure of the process potential, or how well the process can perform when special cause variation is removed; therefore, it is a measure of the process's technology. Also called, inherent variation	
Whisker	Special cause variation is a shift in output caused by a specific factor such as environmental conditions or process input parameters. It can be accounted for directly and potentially removed and is a measure of process control, or how well the process is performing compared to its potential. Also called non-random variation.	
Yield	From box plot...displays minimum and maximum observations within 1.5 IQR (75th-25th percentile span) from either 25th or 75th percentile. Outlier are those that fall outside of the 1.5 range.	
Z	Yield is the percentage of a process that is free of defects.	
Z bench	A Z value is a data point's position between the mean and another location as measured by the number of standard deviations. Z is a universal measurement because it can be applied to any unit of measure. Z is a measure of process capability and corresponds to the process sigma value that is reported by the businesses. For example, a 3 sigma process means that three standard deviations lie between the mean and the nearest specification limit. Three is the Z value.	
Z It	Z bench is the Z value that corresponds to the total probability of a defect	
Z shift	Z long term (Z_{LT}) is the Z bench calculated from the overall standard deviation and the average output of the current process. Used with continuous data, Z_{LT} represents the overall process capability and can be used to determine the probability of making out-of-spec parts within the current process.	
Z st	Z shift is the difference between Z_{ST} and Z_{LT} . The larger the Z shift, the more you are able to improve the control of the special factors identified in the subgroups.	
	Z_{ST} represents the process capability when special factors are removed and the process is properly centered. Z_{ST} is the metric by which processes are compared.	

<u>Tool</u>	<u>What does it do?</u>	<u>Why use?</u>	<u>When use?</u>	<u>Data Type</u>	<u>P < .05 indicates</u>	<u>Picture</u>	
1-Sample t-Test	Compares mean to target	The 1-sample t-test is useful in identifying a significant difference between a sample mean and a specified value when the difference is not readily apparent from graphical tools. Using the 1-sample t-test to compare data gathered before process improvements and after is a way to prove that the mean has actually shifted.	The 1-sample t-test is used with continuous data any time you need to compare a sample mean to a specified value. This is useful when you need to make judgments about a process based on a sample output from that process.	<u>Continuous X & Y</u>	Not equal		1
1-Way ANOVA	ANOVA tests to see if the difference between the means of each level is significantly more than the variation within each level. 1-way ANOVA is used when two or more means (a single factor with three or more levels) must be compared with each other.	One-way ANOVA is useful for identifying a statistically significant difference between means of three or more levels of a factor.	Use 1-way ANOVA when you need to compare three or more means (a single factor with three or more levels) and determine how much of the total observed variation can be explained by the factor.	<u>Continuous Y, Discrete Xs</u>	At least one group of data is different than at least one other group.		0
2-Sample t-Test	A statistical test used to detect differences between means of two populations.	The 2-sample t-test is useful for identifying a significant difference between means of two levels (subgroups) of a factor. It is also extremely useful for identifying important Xs for a project Y.	When you have two samples of continuous data, and you need to know if they both come from the same population or if they represent two different populations	<u>Continuous X & Y</u>	There is a difference in the means		0
ANOVA GLM	ANOVA General Linear Model (GLM) is a statistical tool used to test for differences in means. ANOVA tests to see if the difference between the means of each level is significantly more than the variation within each level. ANOVA GLM is used to test the effect of two or more factors with multiple levels, alone and in combination, on a dependent variable.	The General Linear Model allows you to learn one form of ANOVA that can be used for all tests of mean differences involving two or more factors or levels. Because ANOVA GLM is useful for identifying the effect of two or more factors (independent variables) on a dependent variable, it is also extremely useful for identifying important Xs for a project Y. ANOVA GLM also yields a percent contribution that quantifies the variation in the response (dependent variable) due to the individual factors and combinations of factors.	You can use ANOVA GLM any time you need to identify a statistically significant difference in the mean of the dependent variable due to two or more factors with multiple levels, alone and in combination. ANOVA GLM also can be used to quantify the amount of variation in the response that can be attributed to a specific factor in a designed experiment.	<u>Continuous Y & all X's</u>	At least one group of data is different than at least one other group.		0
Benchmarking	Benchmarking is an improvement tool whereby a company: Measures its performance or process against other companies' best in class practices, Determines how those companies achieved their performance levels, Uses the information to improve its own performance.	Benchmarking is an important tool in the improvement of your process for several reasons. First, it allows you to compare your relative position for this product or service against industry leaders or other companies outside your industry who perform similar functions. Second, it helps you identify potential Xs by comparing your process to the benchmarked process. Third, it may encourage innovative or direct applications of solutions from other businesses to your product or process. And finally, benchmarking can help to build acceptance for your project's results when they are compared to benchmark data obtained from industry leaders.	Benchmarking can be done at any point in the Six Sigma process when you need to develop a new process or improve an existing one	<u>all</u>	<u>N/A</u>		1
Best Subsets	Tells you the best X to use when you're comparing multiple X's in regression assessment.	Best Subsets is an efficient way to select a group of "best subsets" for further analysis by selecting the smallest subset that fulfills certain statistical criteria. The subset model may actually estimate the regression coefficients and predict future responses with smaller variance than the full model using all predictors	Typically used before or after a multiple-regression analysis. Particularly useful in determining which X combination yields the best R-sq value.	<u>Continuous X & Y</u>	<u>N/A</u>		0

[Binary Logistic Regression](#)

Binary logistic regression is useful in two important applications: analyzing the differences among discrete Xs and modeling the relationship between a discrete binary Y and discrete and/or continuous Xs.

Binary logistic regression is useful in two applications: analyzing the differences among discrete Xs and modeling the relationship between a discrete binary Y and discrete and/or continuous Xs. Binary logistic regression can be used to model the relationship between a discrete binary Y and discrete and/or continuous Xs. The predicted values will be probabilities p(d) of an event such as success or failure-not an event count. The predicted values will be bounded between zero and one (because they are probabilities).

Generally speaking, logistic regression is used when the Ys are discrete and the Xs are continuous

[Defectives Y / Continuous & Discrete X](#)

The goodness-of-fit tests, with p-values ranging from 0.312 to 0.724, indicate that there is insufficient evidence for the model not fitting the data adequately. If the p-value is less than your accepted a level, the test would indicate sufficient evidence for a conclusion of an inadequate fit.

[Box Plot](#)

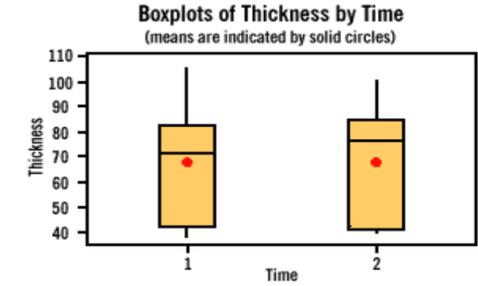
A box plot is a basic graphing tool that displays the centering, spread, and distribution of a continuous data set. In simplified terms, it is made up of a box and whiskers (and occasional outliers) that correspond to each fourth, or quartile, of the data set. The box represents the second and third quartiles of data. The line that bisects the box is the median of the entire data set-50% of the data points fall below this line and 50% fall above it. The first and fourth quartiles are represented by "whiskers," or lines that extend from both ends of the box.

a box plot can help you visualize the centering, spread, and distribution of your data quickly. It is especially useful to view more than one box plot simultaneously to compare the performance of several processes such as the price quote cycle between offices or the accuracy of component placement across several production lines. A box plot can help identify candidates for the causes behind your list of potential Xs. It also is useful in tracking process improvement by comparing successive plots generated over time

You can use a box plot throughout an improvement project, although it is most useful in the Analyze phase. In the Measure phase you can use a box plot to begin to understand the nature of a problem. In the Analyze phase a box plot can help you identify potential Xs that should be investigated further. It also can help eliminate potential Xs. In the Improve phase you can use a box plot to validate potential improvements

[Continuous X & Y](#)

N/A



[Box-Cox Transformation](#)

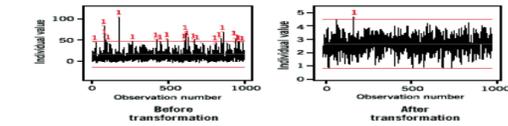
used to find the mathematical function needed to translate a continuous but nonnormal distribution into a normal distribution. After you have entered your data, Minitab tells you what mathematical function can be applied to each of your data points to bring your data closer to a normal distribution.

Many tools require that data be normally distributed to produce accurate results. If the data set is not normal, this may reduce significantly the confidence in the results obtained.

If your data is not normally distributed, you may encounter problems in Calculating Z values with continuous data. You could calculate an inaccurate representation of your process capability. In constructing control charts.... Your process may appear more or less in control than it really is. In Hypothesis testing... As your data becomes less normal, the results of your tests may not be valid.

[Continuous X & Y](#)

N/A



[Brainstorming](#)

Brainstorming is a tool that allows for open and creative thinking. It encourages all team members to participate and to build on each other's creativity

Brainstorming is helpful because it allows your team to generate many ideas on a topic creatively and efficiently without criticism or judgment.

Brainstorming can be used any time you and your team need to creatively generate numerous ideas on any topic. You will use brainstorming many times throughout your project whenever you feel it is appropriate. You also may incorporate brainstorming into other tools, such as QFD, tree diagrams, process mapping, or FMEA.

all

N/A

[c Chart](#)

a graphical tool that allows you to view the actual number of defects in each subgroup. Unlike continuous data control charts, discrete data control charts can monitor many product quality characteristics simultaneously. For example, you could use a c chart to monitor many types of defects in a call center process (like hang ups, incorrect information given, disconnections) on a single chart when the subgroup size is constant.

The c chart is a tool that will help you determine if your process is in control by determining whether special causes are present. The presence of special cause variation indicates that factors are influencing the output of your process. Eliminating the influence of these factors will improve the performance of your process and bring your process into control

Control phase to verify that your process remains in control after the sources of special cause variation have been removed. The c chart is used for processes that generate discrete data. The c chart monitors the number of defects per sample taken from a process. You should record between 5 and 10 readings, and the sample size must be constant. The c chart can be used in both low- and high- volume environments

[Continuous X, Attribute Y](#)

N/A

[CAP Includes/Excludes](#)

A group exercise used to establish scope and facilitate discussion. Effort focuses on delineating project boundaries.

Encourages group participation. Increases individual involvement and understanding of team efforts. Prevents errant team efforts in later project stages (waste). Helps to orient new team members.

Define

all

N/A

[CAP Stakeholder Analysis](#)

Confirms management or stakeholder acceptance and prioritization of Project and team efforts.

Helps to eliminate low priority projects. Insure management support and compatibility with business goals.

Defene

all

N/A

[Capability Analysis](#)

Capability analysis is a Minitab™ tool that visually compares actual process performance to the performance standards. The capability analysis output includes an illustration of the data and several performance statistics. The plot is a histogram with the performance standards for the process expressed as upper and lower specification limits (USL and LSL). A normal distribution curve is calculated from the process mean and standard deviation; this curve is overlaid on the histogram. Beneath this graphic is a table listing several key process parameters such as mean, standard deviation, capability indexes, and parts per million (ppm) above and below the specification limits.

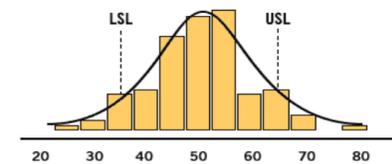
When describing a process, it is important to identify sources of variation as well as process segments that do not meet performance standards. Capability analysis is a useful tool because it illustrates the centering and spread of your data in relation to the performance standards and provides a statistical summary of process performance. Capability analysis will help you describe the problem and evaluate the proposed solution in statistical terms.

Capability analysis is used with continuous data whenever you need to compare actual process performance to the performance standards. You can use this tool in the Measure phase to describe process performance in statistical terms. In the Improve phase, you can use capability analysis when you optimize and confirm your proposed solution. In the Control phase, capability analysis will help you compare the actual improvement of your process to the performance standards.

[Continuous X & Y](#)

N/A

Reduce the Variation



Long-term capability									
Pp	0.51	Targ	*	Mean	50.3730	% > USLExp	6.93	PPM > USLExp	69329
PPU	0.49	USL	65.000	Mean + 3s	80.0061	Obs	10.00	Obs	100000
PPL	0.52	LSL	35.000	Mean - 3s	20.7400	% < LSLExp	5.98	PPM < LSLExp	59814
Ppk	0.49	k	0.025	s	9.8777	Obs	8.00	Obs	80000
Cpm	*	n	100.000						

[Cause and Effect Diagram](#)

A cause and effect diagram is a visual tool that logically organizes possible causes for a specific problem or effect by graphically displaying them in increasing detail. It is sometimes called a fishbone diagram because of its fishbone shape. This shape allows the team to see how each cause relates to the effect. It then allows you to determine a classification related to the impact and ease of addressing each cause

A cause and effect diagram allows your team to explore, identify, and display all of the possible causes related to a specific problem. The diagram can increase in detail as necessary to identify the true root cause of the problem. Proper use of the tool helps the team organize thinking so that all the possible causes of the problem, not just those from one person's viewpoint, are captured. Therefore, the cause and effect diagram reflects the perspective of the team as a whole and helps foster consensus in the results because each team member can view all the inputs

You can use the cause and effect diagram whenever you need to break an effect down into its root causes. It is especially useful in the Measure, Analyze, and Improve phases of the DMAIC process

all

N/A

0

[Chi Square--Test of Independence](#)

The chi square-test of independence is a test of association (nonindependence) between discrete variables. It is also referred to as the test of association. It is based on a mathematical comparison of the number of observed counts against the expected number of counts to determine if there is a difference in output counts based on the input category. Example: The number of units failing inspection on the first shift is greater than the number of units failing inspection on the second shift. Example: There are fewer defects on the revised application form than there were on the previous application form

The chi square-test of independence is useful for identifying a significant difference between count data for two or more levels of a discrete variable. Many statistical problem statements and performance improvement goals are written in terms of reducing DPMO/DPU. The chi square-test of independence applied to before and after data is a way to prove that the DPMO/DPU have actually been reduced.

When you have discrete Y and X data (nominal data in a table-of-total-counts format, shown in fig. 1) and need to know if the Y output counts differ for two or more subgroup categories (Xs), use the chi square test. If you have raw data (untotaled), you need to form the contingency table. Use Stat > Tables > Cross Tabulation and check the Chisquare analysis box.

discrete (category or count) At least one group is statistically different.

0

[Control Charts](#)

Control charts are time-ordered graphical displays of data that plot process variation over time. Control charts are the major tools used to monitor processes to ensure they remain stable. Control charts are characterized by a centerline, which represents the process average, or the middle point about which plotted measures are expected to vary randomly. Upper and lower control limits, which define the area three standard deviations on either side of the centerline. Control limits reflect the expected range of variation for that process. Control charts determine whether a process is in control or out of control. A process is said to be in control when only common causes of variation are present. This is represented on the control chart by data points fluctuating randomly within the control limits. Data points outside the control limits and those displaying nonrandom patterns indicate special cause variation. When special cause variation is present, the process is said to be out of control. Control charts identify when special cause is acting on the process but do not identify what the special cause is. There are two categories of control charts, characterized by type of data you are working with: continuous data control charts and discrete data control charts.

Control charts serve as a tool for the ongoing control of a process and provide a common language for discussing process performance. They help you understand variation and use that knowledge to control and improve your process. In addition, control charts function as a monitoring system that alerts you to the need to respond to special cause variation so you can put in place an immediate remedy to contain any damage.

In the Measure phase, use control charts to understand the performance of your process as it exists before process improvements. In the Analyze phase, control charts serve as a troubleshooting guide that can help you identify sources of variation (Xs). In the Control phase, use control charts to : 1. Make sure the vital few Xs remain in control to sustain the solution - 2. Show process performance after full-scale implementation of your solution. You can compare the control chart created in the Control phase with that from the Measure phase to show process improvement -3. Verify that the process remains in control after the sources of special cause variation have been removed

all

N/A

0

[Data Collection Plan](#)

Failing to establish a data collection plan can be an expensive mistake in a project. Without a plan, data collection may be haphazard, resulting in insufficient, unnecessary, or inaccurate information. This is often called "bad" data. A data collection plan provides a basic strategy for collecting accurate data efficiently

Any time data is needed, you should draft a data collection plan before beginning to collect it.

all

N/A

0

Design Analysis Spreadsheet	<p>The design analysis spreadsheet is an MS-Excel™ workbook that has been designed to perform partial derivative analysis and root sum of squares analysis. The design analysis spreadsheet provides a quick way to predict the mean and standard deviation of an output measure (Y), given the means and standard deviations of the inputs (Xs). This will help you develop a statistical model of your product or process, which in turn will help you improve that product or process. The partial derivative of Y with respect to X is called the sensitivity of Y with respect to X or the sensitivity coefficient of X. For this reason, partial derivative analysis is sometimes called sensitivity analysis.</p>	<p>The design analysis spreadsheet can help you improve, revise, and optimize your design. It can also: Improve a product or process by identifying the Xs which have the most impact on the response. Identify the factors whose variability has the highest influence on the response and target their improvement by adjusting tolerances. Identify the factors that have low influence and can be allowed to vary over a wider range. Be used with the Solver** optimization routine for complex functions (Y equations) with many constraints. ** Note that you must unprotect the worksheet before using Solver. Be used with process simulation to visualize the response given a set of constrained</p>	<p>Partial derivative analysis is widely used in product design, manufacturing, process improvement, and commercial services during the concept design, capability assessment, and creation of the detailed design. When the Xs are known to be highly non-normal (and especially if the Xs have skewed distributions), Monte Carlo analysis may be a better choice than partial derivative analysis. Unlike root sum of squares (RSS) analysis, partial derivative analysis can be used with nonlinear transfer functions. Use partial derivative analysis when you want to predict the mean and standard deviation of a system response (Y), given the means and standard deviations of the inputs (Xs), when the transfer function $Y=f(X1, X2, .., Xn)$ is known. However, the inputs (Xs) must be independent of one another (i.e., not correlated).</p>	Continuous X & Y	N/A	0
Design of Experiment (DOE)	<p>Design of experiment (DOE) is a tool that allows you to obtain information about how factors (Xs), alone and in combination, affect a process and its output (Y). Traditional experiments generate data by changing one factor at a time, usually by trial and error. This approach often requires a great many runs and cannot capture the effect of combined factors on the output. By allowing you to test more than one factor at a time-as well as different settings for each factor-DOE is able to identify all factors and combinations of factors that affect the process Y.</p>	<p>DOE uses an efficient, cost-effective, and methodical approach to collecting and analyzing data related to a process output and the factors that affect it. By testing more than one factor at a time, DOE is able to identify all factors and combinations of factors that affect the process Y</p>	<p>In general, use DOE when you want to identify and quantify the impact of the vital few Xs on your process output. Describe the relationship between Xs and a Y with a mathematical model. Determine the best configuration</p>	Continuous Y & all X's	N/A	0
Design Scorecards	<p>Design scorecards are a means for gathering data, predicting final quality, analyzing drivers of poor quality, and modifying design elements before a product is built. This makes proactive corrective action possible, rather than initiating reactive quality efforts during pre-production. Design scorecards are an MS-Excel™ workbook that has been designed to automatically calculate Z values for a product based on user-provided inputs of for all the sub-processes and parts that make up the product. Design scorecards have six basic components: 1 Top-level scorecard-used to report the rolled-up ZST prediction 2. Performance worksheet-used to estimate defects caused by lack of design margin 3. Process worksheet-used to estimate defects in process as a result of the design configuration 4. Parts worksheet-used to estimate defects due to incoming materials Software worksheet-used to estimate defects in software 5. Software worksheet-used to estimate defects in software 6. Reliability worksheet-used to estimate defects due to reliability</p>	<p>Design scorecards can be used anytime that a product or process is being designed or modified and it is necessary to predict defect levels before implementing a process. They can be used in either the DMADV or DMAIC processes.</p>	<p>Design scorecards can be used anytime that a product or process is being designed or modified and it is necessary to predict defect levels before implementing a process. They can be used in either the DMADV or DMAIC processes.</p>	all	N/A	0
Discrete Data Analysis Method	<p>The Discrete Data Analysis (DDA) method is a tool used to assess the variation in a measurement system due to reproducibility, repeatability, and/or accuracy. This tool applies to discrete data only.</p>	<p>The DDA method is an important tool because it provides a method to independently assess the most common types of measurement variation- repeatability, reproducibility, and/or accuracy. Completing the DDA method will help you to determine whether the variation from repeatability, reproducibility, and/or accuracy in your measurement system is an acceptably small portion of the total observed variation.</p>	<p>Use the DDA method after the project data collection plan is formulated or modified and before the project data collection plan is finalized and data is collected. Choose the DDA method when you have discrete data and you want to determine if the measurement variation due to repeatability, reproducibility, and/or accuracy is an acceptably small portion of the total observed variation</p>	discrete (category or count)	N/A	0
Discrete Event Simulation (Process Model™)	<p>Discrete event simulation is conducted for processes that are dictated by events at distinct points in time; each occurrence of an event impacts the current state of the process. Examples of discrete events are arrivals of phone calls at a call center. Timing in a discrete event model increases incrementally based on the arrival and departure of the inputs or resources</p>	<p>ProcessModel™ is a process modeling and analysis tool that accelerates the process improvement effort. It combines a simple flowcharting function with a simulation process to produce a quick and easy tool for documenting, analyzing, and improving business processes.</p>	<p>Discrete event simulation is used in the Analyze phase of a DMAIC project to understand the behavior of important process variables. In the Improve phase of a DMAIC project, discrete event simulation is used to predict the performance of an existing process under different conditions and to test new process ideas or alternatives in an isolated environment. Use ProcessModel™ when you reach step 4, Implement, of the 10-step simulation process.</p>	Continuous Y, Discrete Xs	N/A	0
Dot Plot	<p>Quick graphical comparison of two or more processes' variation or spread</p>	<p>Quick graphical comparison of two or more processes' variation or spread</p>	<p>Comparing two or more processes' variation or spread</p>	Continuous Y, Discrete Xs	N/A	0

[Failure Mode and Effects Analysis](#)

A means / method to identify ways a process can fail, estimate the risks of those failures, evaluate a control plan, prioritize actions related to the process

Complex or new processes. Customers are involved.

all

N/A

0

[Gage R & R--ANOVA Method](#)

Gage R&R-ANOVA method is a tool used to assess the variation in a measurement system due to reproducibility and/or repeatability. An advantage of this tool is that it can separate the individual effects of repeatability and reproducibility and then break down reproducibility into the components "operator" and "operator by part." This tool applies to continuous data only.

Gage R&R-ANOVA method is an important tool because it provides a method to independently assess the most common types of measurement variation - repeatability and reproducibility. This tool will help you to determine whether the variation from repeatability and/or reproducibility in your measurement system is an acceptably small portion of the total observed variation.

Measure -Use Gage R&R-ANOVA method after the project data collection plan is formulated or modified and before the project data collection plan is finalized and data is collected. Choose the ANOVA method when you have continuous data and you want to determine if the measurement variation due to repeatability and/or reproducibility is an acceptably small portion of the total observed variation.

Continuous X & Y

0

[Gage R & R--Short Method](#)

Gage R&R-Short Method is a tool used to assess the variation in a measurement system due to the combined effect of reproducibility and repeatability. An advantage of this tool is that it requires only two operators and five samples to complete the analysis. A disadvantage of this tool is that the individual effects of repeatability and reproducibility cannot be separated. This tool applies to continuous data only

Gage R&R-Short Method is an important tool because it provides a quick method of assessing the most common types of measurement variation using only five parts and two operators. Completing the Gage R&R-Short Method will help you determine whether the combined variation from repeatability and reproducibility in your measurement system is an acceptably small portion of the total observed variation.

Use Gage R&R-Short Method after the project data collection plan is formulated or modified and before the project data collection plan is finalized and data is collected. Choose the Gage R&R-Short Method when you have continuous data and you believe the total measurement variation due to repeatability and reproducibility is an acceptably small portion of the total observed variation, but you need to confirm this belief. For example, you may want to verify that no changes occurred since a previous Gage R&R study. Gage R&R-Short Method can also be used in cases where sample size is limited.

Continuous X & Y

0

[GRPI](#)

GRPI is an excellent tool for organizing newly formed teams. It is valuable in helping a group of individuals work as an effective team-one of the key ingredients to success in a DMAIC project

GRPI is an excellent team-building tool and, as such, should be initiated at one of the first team meetings. In the DMAIC process, this generally happens in the Define phase, where you create your charter and form your team. Continue to update your GRPI checklist throughout the DMAIC process as your project unfolds and as your team develops

all

N/A

0

[Histogram](#)

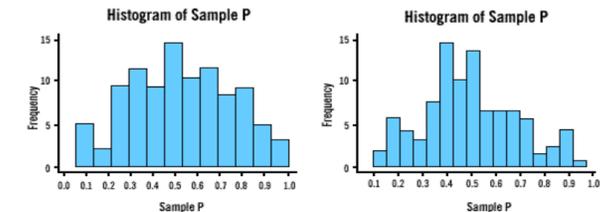
A histogram is a basic graphing tool that displays the relative frequency or occurrence of data values-or which data values occur most and least frequently. A histogram illustrates the shape, centering, and spread of data distribution and indicates whether there are any outliers. The frequency of occurrence is displayed on the y-axis, where the height of each bar indicates the number of occurrences for that interval (or class) of data, such as 1 to 3 days, 4 to 6 days, and so on. Classes of data are displayed on the x-axis. The grouping of data into classes is the distinguishing feature of a histogram

it is important to identify and control all sources of variation. Histograms allow you to visualize large quantities of data that would otherwise be difficult to interpret. They give you a way to quickly assess the distribution of your data and the variation that exists in your process. The shape of a histogram offers clues that can lead you to possible Xs. For example, when a histogram has two distinct peaks, or is bimodal, you would look for a cause for the difference in peaks.

Histograms can be used throughout an improvement project. In the Measure phase, you can use histograms to begin to understand the statistical nature of the problem. In the Analyze phase, histograms can help you identify potential Xs that should be investigated further. They can also help eliminate potential Xs. In the Improve phase, you can use histograms to characterize and confirm your solution. In the Control phase, histograms give you a visual reference to help track and maintain your improvements.

Continuous Y & all X's

N/A



1

[Homogeneity of Variance](#)

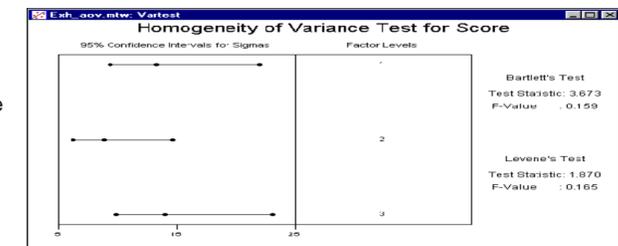
Homogeneity of variance is a test used to determine if the variances of two or more samples are different, or *not* homogeneous. The homogeneity of variance test is a comparison of the variances (sigma, or standard deviations) of two or more distributions.

While large differences in variance between a small number of samples are detectable with graphical tools, the homogeneity of variance test is a quick way to reliably detect small differences in variance between large numbers of samples.

There are two main reasons for using the homogeneity of variance test: 1. A basic assumption of many statistical tests is that the variances of the different samples are equal. Some statistical procedures, such as 2-sample t-test, gain additional test power if the variances of the two samples can be considered equal. 2. Many statistical problem statements and performance improvement goals are written in terms of "reducing the variance." Homogeneity of variance tests can be performed on before and after data, as a way to prove that the variance has been reduced.

Continuous Y, Discrete Xs

(Use Levene's Test) At least one group of data is different than at least one other group



1

[I-MR Chart](#)

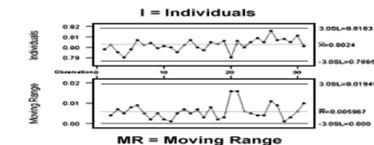
The I-MR chart is a tool to help you determine if your process is in control by seeing if special causes are present.

The presence of special cause variation indicates that factors are influencing the output of your process. Eliminating the influence of these factors will improve the performance of your process and bring your process into control

The Measure phase to separate common causes of variation from special causes. The Analyze and Improve phases to ensure process stability before completing a hypothesis test. The Control phase to verify that the process remains in control after the sources of special cause variation have been removed

Continuous X & Y

N/A



1

[Kano Analysis](#)

Kano analysis is a customer research method for classifying customer needs into four categories; it relies on a questionnaire filled out by or with the customer. It helps you understand the relationship between the fulfillment or nonfulfillment of a need and the satisfaction or dissatisfaction experienced by the customer. The four categories are 1. delighters, 2. Must Be elements, 3. One-dimensional, & 4. Indifferent elements. There are two additional categories into which customer responses to the Kano survey can fall: they are reverse elements and questionable result. --The categories in Kano analysis represent a point in time, and needs are constantly evolving. Often what is a delighter today can become simply a must-be over time.

Kano analysis provides a systematic, data-based method for gaining deeper understanding of customer needs by classifying them

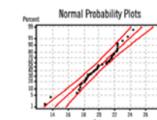
Use Kano analysis after a list of potential needs that have to be satisfied is generated (through, for example, interviews, focus groups, or observations). Kano analysis is useful when you need to collect data on customer needs and prioritize them to focus your efforts.

all

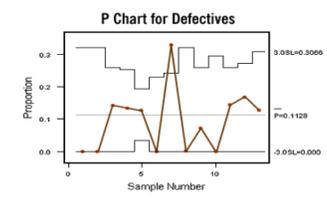
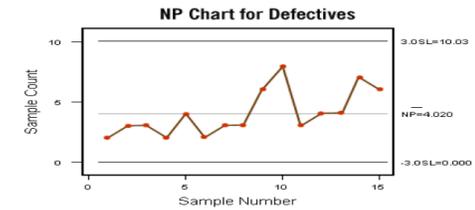
N/A

0

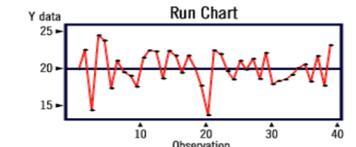
Kruskal-Wallis Test	Compare two or more means with unknown distributions			non-parametric (measurement or count)	At least one mean is different	0
Matrix Plot	Tool used for high-level look at relationships between several parameters. Matrix plots are often a first step at determining which X's contribute most to your Y.	Matrix plots can save time by allowing you to drill-down into data and determine which parameters best relate to your Y.	You should use matrix plots early in your analyze phase.	Continuous Y & all X's	N/A	
Mistake Proofing	Mistake-proofing devices prevent defects by preventing errors or by predicting when errors could occur.	Mistake proofing is an important tool because it allows you to take a proactive approach to eliminating errors at their source before they become defects.	You should use mistake proofing in the Measure phase when you are developing your data collection plan, in the Improve phase when you are developing your proposed solution, and in the Control phase when developing the control plan. Mistake proofing is appropriate when there are :1. Process steps where human intervention is required2. Repetitive tasks where physical manipulation of objects is required3. Steps where errors are known to occur4. Opportunities for predictable errors to occur	all	N/A	0
Monte Carlo Analysis	Monte Carlo analysis is a decision-making and problem-solving tool used to evaluate a large number of possible scenarios of a process. Each scenario represents one possible set of values for each of the variables of the process and the calculation of those variables using the transfer function to produce an outcome Y. By repeating this method many times, you can develop a distribution for the overall process performance. Monte Carlo can be used in such broad areas as finance, commercial quality, engineering design, manufacturing, and process design and improvement. Monte Carlo can be used with any type of distribution; its value comes from the increased knowledge we gain in terms of variation of the output	Performing a Monte Carlo analysis is one way to understand the variation that naturally exists in your process. One of the ways to reduce defects is to decrease the output variation. Monte Carlo focuses on understanding what variations exist in the input Xs in order to reduce the variation in output Y.		Continuous Y & all X's	N/A	0
Multi-Generational Product/Process Planning	Multigenerational product/process planning (MGPP) is a procedure that helps you create, upgrade, leverage, and maintain a product or process in a way that can reduce production costs and increase market share. A key element of MGPP is its ability to help you follow up product/process introduction with improved, derivative versions of the original product.	Most products or processes, once introduced, tend to remain unchanged for many years. Yet, competitors, technology, and the marketplace-as personified by the ever more demanding consumer-change constantly. Therefore, it makes good business sense to incorporate into product/process design a method for anticipating and taking advantage of these changes.	You should follow an MGPP in conjunction with your business's overall marketing strategy. The market process applied to MGPP usually takes place over three or more generations. These generations cover the first three to five years of product/process development and introduction.	all	N/A	0
Multiple Regression	method that enables you to determine the relationship between a continuous process output (Y) and several factors (Xs).	Multiple regression will help you to understand the relationship between the process output (Y) and several factors (Xs) that may affect the Y. Understanding this relationship allows you to 1. Identify important Xs2. Identify the amount of variation explained by the model3. Reduce the number of Xs prior to design of experiment (DOE)4. Predict Y based on combinations of X values5. Identify possible nonlinear relationships such as a quadratic (X12) or an interaction (X1X2)The output of a multiple regression analysis may demonstrate the need for designed experiments that establish a cause and effect relationship or identify ways to further improve the process.	You can use multiple regression during the Analyze phase to help identify important Xs and during the Improve phase to define the optimized solution. Multiple regression can be used with both continuous and discrete Xs. If you have only discrete Xs, use ANOVA-GLM. Typically you would use multiple regression on existing data. If you need to collect new data, it may be more efficient to use a DOE.	Continuous X & Y	A correlation is detected	0
Multi-Vari Chart	A multi-vari chart is a tool that graphically displays patterns of variation. It is used to identify possible Xs or families of variation, such as variation within a subgroup, between subgroups, or over time	A multi-vari chart enables you to see the effect multiple variables have on a Y. It also helps you see variation within subgroups, between subgroups, and over time. By looking at the patterns of variation, you can identify or eliminate possible Xs		Continuous Y & all X's	N/A	0
Normal Probability Plot	Allows you to determine the normality of your data.	To determine the normality of data. To see if multiple X's exist in your data.		cont (measurement)	Data does not follow a normal distribution	1



Normality Test	A normality test is a statistical process used to determine if a sample, or any group of data, fits a standard normal distribution. A normality test can be done mathematically or graphically.	Many statistical tests (tests of means and tests of variances) assume that the data being tested is normally distributed. A normality test is used to determine if that assumption is valid.	There are two occasions when you should use a normality test: 1. When you are first trying to characterize raw data, normality testing is used in conjunction with graphical tools such as histograms and box plots. 2. When you are analyzing your data, and you need to calculate basic statistics such as Z values or employ statistical tests that assume normality, such as t-test and ANOVA.	<u>cont (measurement)</u>	<u>not normal</u>	0
np Chart	a graphical tool that allows you to view the actual number of defectives and detect the presence of special causes.	The np chart is a tool that will help you determine if your process is in control by seeing if special causes are present. The presence of special cause variation indicates that factors are influencing the output of your process. Eliminating the influence of these factors will improve the performance of your process and bring your process into control.	You will use an np chart in the Control phase to verify that the process remains in control after the sources of special cause variation have been removed. The np chart is used for processes that generate discrete data. The np chart is used to graph the actual number of defectives in a sample. The sample size for the np chart is constant, with between 5 and 10 defectives per sample on the average.	<u>Defectives Y / Continuous & Discrete X</u>	<u>N/A</u>	1
Out-of-the-Box Thinking	Out-of-the-box thinking is an approach to creativity based on overcoming the subconscious patterns of thinking that we all develop.	Many businesses are successful for a brief time due to a single innovation, while continued success is dependent upon continued innovation	Root cause analysis and new product / process development	<u>all</u>	<u>N/A</u>	0
p Chart	a graphical tool that allows you to view the proportion of defectives and detect the presence of special causes. The p chart is used to understand the ratio of nonconforming units to the total number of units in a sample.	The p chart is a tool that will help you determine if your process is in control by determining whether special causes are present. The presence of special cause variation indicates that factors are influencing the output of your process. Eliminating the influence of these factors will improve the performance of your process and bring your process into control	You will use a p chart in the Control phase to verify that the process remains in control after the sources of special cause variation have been removed. The p chart is used for processes that generate discrete data. The sample size for the p chart can vary but usually consists of 100 or more	<u>Defectives Y / Continuous & Discrete X</u>	<u>N/A</u>	1
Pareto Chart	A Pareto chart is a graphing tool that prioritizes a list of variables or factors based on impact or frequency of occurrence. This chart is based on the Pareto principle, which states that typically 80% of the defects in a process or product are caused by only 20% of the possible causes	. It is easy to interpret, which makes it a convenient communication tool for use by individuals not familiar with the project. The Pareto chart will not detect small differences between categories; more advanced statistical tools are required in such cases.	In the Define phase to stratify Voice of the Customer data...In the Measure phase to stratify data collected on the project Y.....In the Analyze phase to assess the relative impact or frequency of different factors, or Xs	<u>all</u>	<u>N/A</u>	0
Process Mapping	Process mapping is a tool that provides structure for defining a process in a simplified, visual manner by displaying the steps, events, and operations (in chronological order) that make up a process	As you examine your process in greater detail, your map will evolve from the process you "think" exists to what "actually" exists. Your process map will evolve again to reflect what "should" exist-the process after improvements are made.	In the Define phase, you create a high-level process map to get an overview of the steps, events, and operations that make up the process. This will help you understand the process and verify the scope you defined in your charter. It is particularly important that your high-level map reflects the process as it actually is, since it serves as the basis for more detailed maps.In the Measure and Analyze phases, you create a detailed process map to help you identify problems in the process. Your improvement project will focus on addressing these problems.In the Improve phase, you can use process mapping to develop solutions by creating maps of how the process "should be."	<u>all</u>	<u>N/A</u>	0
Pugh Matrix	the tool used to facilitate a disciplined, team-based process for concept selection and generation. Several concepts are evaluated according to their strengths and weaknesses against a reference concept called the datum. The datum is the best current concept at each iteration of the matrix. The Pugh matrix encourages comparison of several different concepts against a base concept, creating stronger concepts and eliminating weaker ones until an optimal concept finally is reached	provides an objective process for reviewing, assessing, and enhancing design concepts the team has generated with reference to the project's CTQs. Because it employs agreed-upon criteria for assessing each concept, it becomes difficult for one team member to promote his or her own concept for irrational reasons.	The Pugh matrix is the recommended method for selecting the most promising concepts in the Analyze phase of the DMADV process. It is used when the team already has developed several alternative concepts that potentially can meet the CTQs developed during the Measure phase and must choose the one or two concepts that will best meet the performance requirements for further development in the Design phase	<u>all</u>	<u>N/A</u>	0
Quality Function Deployment	a methodology that provides a flowdown process for CTQs from the highest to the lowest level. The flowdown process begins with the results of the customer needs mapping (VOC) as input. From that point we cascade through a series of four Houses of Quality to arrive at the internal controllable factors. QFD is a prioritization tool used to show the relative importance of factors rather than as a transfer function.	QFD drives a cross-functional discussion to define what is important. It provides a vehicle for asking how products/services will be measured and what are the critical variables to control processes.The QFD process highlights trade-offs between conflicting properties and forces the team to consider each trade off in light of the customer's requirements for the product/service.Also, it points out areas for improvement by giving special attention to the most important customer wants and systematically flowing them down through the QFD process.	QFD produces the greatest results in situations where1. Customer requirements have not been clearly defined 2. There must be trade-offs between the elements of the business 3. There are significant investments in resources required	<u>all</u>	<u>N/A</u>	0
Regression	see Multiple Regression			<u>Continuous X & Y</u>	<u>A correlation is detected</u>	0

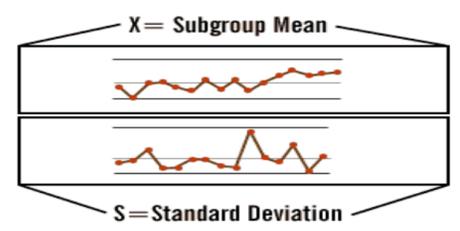
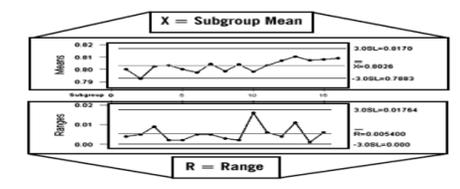
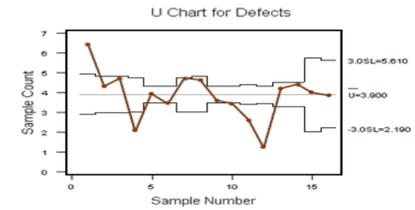


Risk Assessment	The risk-management process is a methodology used to identify risks, analyze risks, plan, communicate, and implement abatement actions, and track resolution of abatement actions.	Any time you make a change in a process, there is potential for unforeseen failure or unintended consequences. Performing a risk assessment allows you to identify potential risks associated with planned process changes and develop abatement actions to minimize the probability of their occurrence. The risk-assessment process also determines the ownership and completion date for each abatement action.	In DMAIC, risk assessment is used in the Improve phase before you make changes in the process (before running a DOE, piloting, or testing solutions) and in the Control phase to develop the control plan. In DMADV, risk assessment is used in all phases of design, especially in the Analyze and Verify phases where you analyze and verify your concept design.	all	N/A	0
Root Sum of Squares	Root sum of squares (RSS) is a statistical tolerance analysis method used to estimate the variation of a system output Y from variations in each of the system's inputs Xs.	RSS analysis is a quick method for estimating the variation in system output given the variation in system component inputs, provided the system behavior can be modeled using a linear transfer function with unit (1) coefficients. RSS can quickly tell you the probability that the output (Y) will be outside its upper or lower specification limits. Based on this information, you can decide whether some or all of your inputs need to be modified to meet the specifications on system output, and/or if the specifications on system output need to be changed.	Use RSS when you need to quantify the variation in the output given the variation in inputs. However, the following conditions must be met in order to perform RSS analysis: 1. The inputs (Xs) are independent. 2. The transfer function is linear with coefficients of +1 and/or -1. 3. In addition, you will need to know (or have estimates of) the means and standard deviations of each X.	Continuous X & Y	N/A	0
Run Chart	A run chart is a graphical tool that allows you to view the variation of your process over time. The patterns in the run chart can help identify the presence of special cause variation.	The patterns in the run chart allow you to see if special causes are influencing your process. This will help you to identify Xs affecting your process run chart.	used in many phases of the DMAIC process. Consider using a run chart to 1. Look for possible time-related Xs in the Measure phase 2. Ensure process stability before completing a hypothesis test 3. Look at variation within a subgroup; compare subgroup to subgroup variation	cont (measurement)	N/A	1
Sample Size Calculator	The sample size calculator simplifies the use of the sample size formula and provides you with a statistical basis for determining the required sample size for given levels of α and β risks	The calculation helps link allowable risk with cost. If your sample size is statistically sound, you can have more confidence in your data and greater assurance that resources spent on data collection efforts and/or planned improvements will not be wasted		all	N/A	1
Scatter Plot	a basic graphic tool that illustrates the relationship between two variables. The variables may be a process output (Y) and a factor affecting it (X), two factors affecting a Y (two Xs), or two related process outputs (two Ys).	Useful in determining whether trends exist between two or more sets of data.	Scatter plots are used with continuous and discrete data and are especially useful in the Measure, Analyze, and Improve phases of DMAIC projects.	all	N/A	0
Simple Linear Regression	Simple linear regression is a method that enables you to determine the relationship between a continuous process output (Y) and one factor (X). The relationship is typically expressed in terms of a mathematical equation, such as $Y = b + mX$, where Y is the process output, b is a constant, m is a coefficient, and X is the process input or factor	Simple linear regression will help you to understand the relationship between the process output (Y) and any factor that may affect it (X). Understanding this relationship will allow you to predict the Y, given a value of X. This is especially useful when the Y variable of interest is difficult or expensive to measure	You can use simple linear regression during the Analyze phase to help identify important Xs and during the Improve phase to define the settings needed to achieve the desired output.	Continuous X & Y	indicate that there is sufficient evidence that the coefficients are not zero for likely Type I error rates (alpha levels)... SEE MINITAB	0
Simulation	Simulation is a powerful analysis tool used to experiment with a detailed process model to determine how the process output Y will respond to changes in its structure, inputs, or surroundings Xs. Simulation model is a computer model that describes relationships and interactions among inputs and process activities. It is used to evaluate process output under a range of different conditions. Different process situations need different types of simulation models. Discrete event simulation is conducted for processes that are dictated by events at distinct points in time; each occurrence of an event impacts the current state of the process. ProcessModel is GE Company's standard software tool for running discrete event models. Continuous simulation is used for processes whose variables or parameters do not experience distinct start and end points. CrystalBall is GE's standard software tool for running continuous models	Simulation can help you: 1. Identify interactions and specific problems in an existing or proposed process 2. Develop a realistic model for a process 3. Predict the behavior of the process under different conditions 4. Optimize process performance	Simulation is used in the Analyze phase of a DMAIC project to understand the behavior of important process variables. In the Improve phase of a DMAIC project, simulation is used to predict the performance of an existing process under different conditions and to test new process ideas or alternatives in an isolated environment	all	N/A	0



Sample Size Calculator					
One Sample t-test					
Delta	Sigma	two-sided	Alpha	Beta	sample size
0.4	1	5%	1%		115
Two Sample t-test					
Delta	Sigma	two-sided	Alpha	Beta	sample size
0.4	1	5%	1%		230

Six Sigma Process Report	A Six Sigma process report is a Minitab tool that provides a baseline for measuring improvement of your product or process	It helps you compare the performance of your process or product to the performance standard and determine if technology or control is the problem	A Six Sigma process report, used with continuous data, helps you determine process capability for your project Y. Process capability is calculated after you have gathered your data and have determined your performance standards	<u>Continuous Y & all X's</u>	N/A	0
Six Sigma Product Report	calculates DPMO and process short term capability	It helps you compare the performance of your process or product to the performance standard and determine if technology or control is the problem	used with discrete data, helps you determine process capability for your project Y. You would calculate Process capability after you have gathered your data and determined your performance standards.	<u>Continuous Y, Discrete Xs</u>	N/A	0
Stepwise Regression	Regression tool that filters out unwanted X's based on specified criteria.			Continuous X & Y	N/A	0
Tree Diagram	A tree diagram is a tool that is used to break any concept (such as a goal, idea, objective, issue, or CTQ) into subcomponents, or lower levels of detail.	Useful in organizing information into logical categories. See "When use?" section for more detail	A tree diagram is helpful when you want to 1. Relate a CTQ to subprocess elements (Project CTQs) 2. Determine the project Y (Project Y) 3. Select the appropriate Xs (Prioritized List of All Xs) 4. Determine task-level detail for a solution to be implemented (Optimized Solution)	<u>all</u>	N/A	0
u Chart	A u chart, shown in figure 1, is a graphical tool that allows you to view the number of defects per unit sampled and detect the presence of special causes	The u chart is a tool that will help you determine if your process is in control by determining whether special causes are present. The presence of special cause variation indicates that factors are influencing the output of your process. Eliminating the influence of these factors will improve the performance of your process and bring your process into control	You will use a u chart in the Control phase to verify that the process remains in control after the sources of special cause variation have been removed. The u chart monitors the number of defects per unit taken from a process. You should record between 20 and 30 readings, and the sample size may be variable.		N/A	1
Voice of the Customer	The following tools are commonly used to collect VOC data: Dashboard ,Focus group, Interview, Scorecard, and Survey.. Tools used to develop specific CTQs and associated priorities.	Each VOC tool provides the team with an organized method for gathering information from customers. Without the use of structured tools, the data collected may be incomplete or biased. Key groups may be inadvertently omitted from the process, information may not be gathered to the required level of detail, or the VOC data collection effort may be biased because of your viewpoint.	You can use VOC tools at the start of a project to determine what key issues are important to the customers, understand why they are important, and subsequently gather detailed information about each issue. VOC tools can also be used whenever you need additional customer input such as ideas and suggestions for improvement or feedback on new solutions	<u>all</u>	N/A	0
Worst Case Analysis	A worst case analysis is a nonstatistical tolerance analysis tool used to identify whether combinations of inputs (Xs) at their upper and lower specification limits always produce an acceptable output measure (Y).	Worst case analysis tells you the minimum and maximum limits within which your total product or process will vary. You can then compare these limits with the required specification limits to see if they are acceptable. By testing these limits in advance, you can modify any incorrect tolerance settings before actually beginning production of the product or process.	You should use worst case analysis : To analyze safety-critical Ys, and when no process data is available and only the tolerances on Xs are known. Worst case analysis should be used sparingly because it does not take into account the probabilistic nature (that is, the likelihood of variance from the specified values) of the inputs.	<u>all</u>	N/A	0
Xbar-R Chart	The Xbar-R chart is a tool to help you decide if your process is in control by determining whether special causes are present.	The presence of special cause variation indicates that factors are influencing the output of your process. Eliminating the influence of these factors will improve the performance of your process and bring your process into control	Xbar-R charts can be used in many phases of the DMAIC process when you have continuous data broken into subgroups. Consider using an Xbar-R chart- in the Measure phase to separate common causes of variation from special causes,- in the Analyze and Improve phases to ensure process stability before completing a hypothesis test, or- in the Control phase to verify that the process remains in control after the sources of special cause variation have been removed.	<u>Continuous X & Y</u>	N/A	1
Xbar-S Chart	An Xbar-S chart, or mean and standard deviation chart, is a graphical tool that allows you to view the variation in your process over time. An Xbar-S chart lets you perform statistical tests that signal when a process may be going out of control. A process that is out of control has been affected by special causes as well as common causes. The chart can also show you where to look for sources of special cause variation. The X portion of the chart contains the mean of the subgroups distributed over time. The S portion of the chart represents the standard deviation of data points in a subgroup	The Xbar-S chart is a tool to help you determine if your process is in control by seeing if special causes are present. The presence of special cause variation indicates that factors are influencing the output of your process. Eliminating the influence of these factors will improve the performance of your process and bring it into control	An Xbar-S chart can be used in many phases of the DMAIC process when you have continuous data. Consider using an Xbar-S chart.....in the Measure phase to separate common causes of variation from special causes, in the Analyze and Improve phases to ensure process stability before completing a hypothesis test, or in the Control phase to verify that the process remains in control after the sources of special cause variation have been removed. NOTE - Use Xbar-R if the sample size is small.	<u>Continuous X & Y</u>	N/A	1



Tool Summary

Y's

X's

		Continuous Data	Attribute Data
Continuous Data	Regression	Scatter plot	Logistic regression
	Time series plots	Matrix Plot	Time series plot
	General Linear model	Fitted line	C chart
	Multi-Vari plot	Step wise Regression	P chart
	Histogram		N chart
	DOE		NP chart
	Best Subsets		
	ImR		
	X-bar R		
Attribute Data	ANOVA	Kruskal-Wallis	Chi Square
	Box plots	T-test	Pareto
	Dot plots		Logistic Regression
	MV plot		
	Histogram		
	DOE		
	Homogeneity of variance		
	General linear model		
	Matrix plot		

	Continuous	Discrete		
	aka quantitative data	aka qualitative/categorical/attribute data		
Measurement	Units (example)	Ordinal (example)	Nominal (example)	Binary (example)
Time of day	Hours, minutes, seconds	1, 2, 3, etc.	N/A	a.m./p.m.
Date	Month, date, year	Jan., Feb., Mar., etc.	N/A	Before/after
Cycle time	Hours, minutes, seconds, month, date, year	10, 20, 30, etc.	N/A	Before/after
Speed	Miles per hour/centimeters per second	10, 20, 30, etc.	N/A	Fast/slow
Brightness	Lumens	Light, medium, dark	N/A	On/off
Temperature	Degrees C or F	10, 20, 30, etc.	N/A	Hot/cold
<Count data>	Number of things (hospital beds)	10, 20, 30, etc.	N/A	Large/small hospital
Test scores	Percent, number correct	F, D, C, B, A	N/A	Pass/Fail
Defects	N/A	Number of cracks	N/A	Good/bad
Defects	N/A	N/A	Cracked, burned, missing	Good/bad
Color	N/A	N/A	Red, blue, green, yellow	N/A
Location	N/A	N/A	Site A, site B, site C	Domestic/international
Groups	N/A	N/A	HR, legal, IT, engineering	Exempt/nonexempt
Anything	Percent	10, 20, 30, etc.	N/A	Above/below

Tool	Use When	Example	Minitab Format	Data Format	Y	Xs	p < 0.05 indicates
ANOVA	Determine if the average of a group of data is different than the average of other (multiple) groups of data	Compare multiple fixtures to determine if one or more performs differently	Stat ANOVA Oneway	Response data must be stacked in one column and the individual points must be tagged (numerically) in another column.	Variable	Attribute	At least one group of data is different than at least one other group.
Box & Whisker Plot	Compare median and variation between groups of data. Also identifies outliers.	Compare turbine blade weights using different scales.	Graph Boxplot	Response data must be stacked in one column and the individual points must be tagged (numerically) in another column.	Variable	Attribute	N/A
Cause & Effect Diagram/ Fishbone	Brainstorming possible sources of variation for a particular effect	Potential sources of variation in gage r&r	Stat Quality Tools Cause and Effect	Input ideas in proper column heading for main branches of fishbone. Type effect in pulldown window.	All	All	N/A
Chi-Square	Determine if one set of defectives data is different than other sets of defectives data.	Compare DPUs between GE90 and CF6	Stat Tables Chi-square Test	Input two columns; one column containing the number of non-defective, and the other containing the number of defective.	Discrete	Discrete	At least one group is statistically different.
Dot Plot	Quick graphical comparison of two or more processes' variation or spread	Compare length of service of GE90 technicians to CF6 technicians	Graph Character Graphs Dotplot	Input multiple columns of data of equal length	Variable	Attribute	N/A
General Linear Models	Determine if difference in categorical data between groups is real when taking into account other variable x's	Determine if height and weight are significant variables between two groups when looking at pay	Stat ANOVA General Linear Model	Response data must be stacked in one column and the individual points must be tagged (numerically) in another column. Other variables must be stacked in separate columns.	Variable	Attribute/ Variable	At least one group of data is different than at least one other group.
Histogram	View the distribution of data (spread, mean, mode, outliers, etc.)	View the distribution of Y	Graph Histogram or Stat Quality Tools Process Capability	Input one column of data	Variable	Attribute	N/A
Homogeneity of Variance	Determine if the variation in one group of data is different than the variation in other (multiple) groups of data	Compare the variation between teams	Stat ANOVA Homogeneity of Variance	Response data must be stacked in one column and the individual points must be tagged (numerically) in another column.	Variable	Attribute	(Use Levene's Test) At least one group of data is different than at least one other group
Kruskal-Wallis Test	Determine if the means of non-normal data are different	Compare the means of cycle time for different delivery methods	Stat Nonparametrics Kruskal-Wallis	Response data must be stacked in one column and the individual points must be tagged (numerically) in another column.	Variable	Attribute	At least one mean is different
Multi Vari Analysis (See also Run Chart / Time Series Plot)	Helps identify most important types or families of variation	Compare within piece, piece to piece or time to time making of airfoils leading edge thickness	Graph Interval Plot	Response data must be stacked in one column and the individual points must be tagged (numerically) in another column in time order.	Variable	Attribute	N/A
Notched Box Plot	Compare median of a given confidence interval and variation between groups of data	Compare different hole drilling patterns to see if the median and spread of the diameters are the same	Graph Character Graphs Boxplot	Response data must be stacked in one column and the individual points must be tagged (numerically) in another column.	Variable	Attribute	N/A
One-sample t-test	Determine if average of a group of data is statistically equal to a specific target	Manufacturer claims the average number of cookies in a 1 lb. package is 250. You sample 10 packages and find that the average is 235. Use this test to disprove the manufacturer's claim.	Stat Basic Statistics 1 Sample t	Input one column of data	Variable	N/A	Not equal
Pareto	Compare how frequently different causes occur	Determine which defect occurs the most often for a particular engine program	Stat Quality Tools Pareto Chart	Input two columns of equal length	Variable	Attribute	N/A
Process Mapping	Create visual aide of each step in the process being evaluated	Map engine horizontal area with all rework loops and inspection points	N/A	Use rectangles for process steps and diamonds for decision points	N/A	N/A	N/A
Regression	Determine if a group of data incrementally changes with another group	Determine if a runout changes with temperature	Stat Regression Regression Stat Quality Tools Run Chart or Graph Time Series Plot	Input two columns of equal length	Variable	Variable	A correlation is detected
Run Chart/Time Series Plot	Look for trends, outliers, oscillations, etc.	View runout values over time	Graph Time Series Plot Graph Plot or Graph Marginal Plot or Graph Matrix Plot (multiples)	Input one column of data. Must also input a subgroup size (1 will show all points)	Variable	N/A	N/A
Scatter Plot	Look for correlations between groups of variable data	Determine if rotor blade length varies with home position	Graph Marginal Plot or Graph Matrix Plot (multiples)	Input two or more groups of data of equal length	Variable	Variable	N/A
Two-sample t-test	Determine if the average of one group of data is greater than (or less than) the average of another group of data	Determine if the average radius produced by one grinder is different than the average radius produced by another grinder	Stat Basic Statistics 2 Sample t	Input two columns of equal length	Variable	Variable	There is a difference in the means

ANEXO#7

		Phase of DMAIC in which tool is most commonly used					
		Define	Measure	Analyze	Innovative Improvement	Control	
1		Affinity Diagram	X		X		
2		Brainstorming		X	X		
3		Business Case	X				
4		Cause-and-Effect Diagrams		X			
5		Charter	X				
6		Consensus			X		
7	Control Charts	For continuous Data	Individuals	X	X	X	X
8			X-bar,R	X	X	X	X
9			EWMA	X	X	X	X
10		For Discrete Data	p,np	X	X	X	X
11			c,u	X	X	X	X
12		CTQ(Critical-to-Quality) Tree	X				
13	Data Collection Forms	Check Sheet		X	X	X	
14		Frequency Plot Check Sheet		X	X	X	
15		Confirmation Check Sheet		X	X	X	
16		Concentration Diagram		X	X	X	
17		Data Collection Plan		X	X	X	
18	Design of Experiments (DOE)	Full Factorial		X	X		
19		Reduced Fractions		X	X		
20		Screening Designs		X	X		
21		Plackett-Burnham Designs		X	X		
22		More than Two Levels		X	X		
23		Flow Diagrams	X	X	X	X	
24		Frequency Plots		X	X	X	
25		FMEA (Failure Mode and Effect Analysis).		X	X		
26		Gage R&R		X			
27	Hypothesis Test	t-test		X			
28		Paired t-test		X			
29		ANOVA		X			
30		Chi Square		X			
31		Kano Model	X				
32	Planning Tools	Gantt Charts			X		
33		Planning Grid			X		
34		Pareto Charts		X	X	X	
35		Prioritization Matrix		X		X	
36		Process Capability		X		X	
37		Process Sigma		X		X	
38		Quality Control Process Chart				X	
39		Regression			X		
40		Rolled Throughput Yield	X				
41		Sampling		X	X	X	
42		Scatter Plots			X		
43		SIPOC (High Level map of the process)	X				
44		Stakeholder Analysis	X			X	
45		Standardization				X	
46		Stratification		X	X	X	
47	Stratified Frequency Plots			X			
48	Time Series Plots (Run Charts)		X				
49	VOC (Voice of the Customer)	X					

Tool Summary

Y's

X's

	Continuous Data	Attribute Data
Continuous Data	Regression Time series plots General Linear model Multi-Vari plot Histogram DOE Best Subsets ImR X-bar R	Scatter plot Matrix Plot Fitted line Step wise Regression
Attribute Data	ANOVA Box plots Dot plots MV plot Histogram DOE Homogeneity of variance General linear model Matrix plot	Logistic regression Time series plot C chart P chart N chart NP chart Chi Square Pareto Logistic Regression

	Continuous	Discrete/Attribute		
	aka quantitative data	aka qualitative/categorical/attribute data		
Measurement	Units (example)	Ordinal (example)	Nominal (example)	Binary (example)
Time of day	Hours, minutes, seconds	1, 2, 3, etc.	N/A	a.m./p.m.
Date	Month, date, year	Jan., Feb., Mar., etc.	N/A	Before/after
Cycle time	Hours, minutes, seconds, month, date, year	10, 20, 30, etc.	N/A	Before/after
Speed	Miles per hour/centimeters per second	10, 20, 30, etc.	N/A	Fast/slow
Brightness	Lumens	Light, medium, dark	N/A	On/off
Temperature	Degrees C or F	10, 20, 30, etc.	N/A	Hot/cold
<Count data>	Number of things (hospital beds)	10, 20, 30, etc.	N/A	Large/small hospital
Test scores	Percent, number correct	F, D, C, B, A	N/A	Pass/Fail
Defects	N/A	Number of cracks	N/A	Good/bad
Defects	N/A	N/A	Cracked, burned, missing	Good/bad
Color	N/A	N/A	Red, blue, green, yellow	N/A
Location	N/A	N/A	Site A, site B, site C	Domestic/international
Groups	N/A	N/A	HR, legal, IT, engineering	Exempt/nonexempt
Anything	Percent	10, 20, 30, etc.	N/A	Above/below

En versiones anteriores de Minitab:
 -Datos Continuos: Process Report Chart
 -Datos Discretos: Product Report Chart

6-Sigma. A 12 step process according to General Electric Company.

Phase:	DEFINE			MEASURE		
Step#:	A	B	C	1	2	3
Description:	Identify Customer AND Project CTQs	Develop Team Charter or Contract	Define High Level Process Map	Select CTQ characteristics	Define Performance/Execution Standards	Measurement System Analysis (MSA)
Focus:				Y	Y	Y
Tools:	Is/Is Not. In Frame / Out of frame. COPIS(Customers-Outputs-Processes-Inputs-Suppliers) 15 Words Critical Success Factors Project Scope Contract. VOC (Voice Of Customer)	Responsibility Grid. GRPI checklist. ARMI matrix. Problem Definition tree.	Threat vs. Opportunity Matrix. Value Stream Map. Process Map.	Customer/s QFD Process Mapping FMEA Discrete vs. Continuous Data (data collection activities)	Customer/s Blueprints or Drawings Standard Work	Continuous Gage R&R (regla continua de medir R&R) Test/Retest Attribute Gage R&R (regla característica de medir R&R)
SSQC Deliverables:	Project Definition. Identify Customer(s). Identify and document customer/s and Project CTQs.	Develop the business case. Develop the problem and the goal statements. Determine Project Scope. Select Team & Define roles (Approved Charter) & Performance. Team charter developed and reviewed with the Sponsor. Set Project Milestones.	Validate High Level Process Map connecting the customer to the process. Shared Need. High level CTQ's.	Focused Project Definition. Identify Project Y (measurable customer's CTQ that will be improved)	Performance/Execution Standard for Project's Y (determine and confirm Specification limits for your Y)	Data Collection Plan & MSA Data for Project Y. Measurement System Adequate (MSA) to measure Y. Validation of the Measurement System for the Y.

Phase:	ANALYZE			IMPROVE		
Step#:	4	5	6	7	8	9
Description:	Establish Process Capability. Definition of the Measurement System for my Y's	Define Performance Objectives	Identify Variation Sources	Screen Potential Root Causes	Discover Variable Relationships	Establish Operating Tolerances and a pilot Solution
Focus:	Y	Y	X	X	X	Y,X
Tools:	Capability Indices. Basic Statistics. Graphical Analysis. Sampling. Continuous Zst, Zlt. Normality. Discrete Zst, Zlt.	Team Benchmarking	Process Analysis Graphical Analysis Hypothesis Tests Regression Analysis GLM	DOE-Screening/Filtering 5S Waste Identification	Factorial Designs	Simulation Effective Solutions Effective Communication plans
SSQC Deliverables:	Process Capability for Project's Y. Baseline current Process; normality test.	Improvement Goal for Project Y. Statistically Define the Goal of the Project.	Prioritized List of all Xs (List of statistically significant Xs chosen based on analysis of historical/actual data)	Determine/list of vital few Xs that are causing changes in your Y. Distinguish between the potential causes of variation.	Proposed Solution. Establish Transfer Function between Y and vital few Xs. Determine optimal settings for the vital few Xs. Realistic Tolers. Perform confirmation runs.	Establish a piloted Solution. Specify tolerances on the vital few Xs.

Phase:	CONTROL		
Step#:	10	11	12
Description:	Define&validate Measurement System on Xs in Actual Application	Determine Process Capability	Implement Process Control and Project closure.
Focus:	X	Y,X	X
Tools:	Continuous Gage R&R Test/Retest Attribute R&R (same as in step#3)	Capability Indices. (Same as in step#4)	Control Charts Mistake Proofing FMEA Effective Control Plans Visual Management
SSQC Deliverables:	MSA (Measurement System Analysis to see if it is Adequate to measure control variables Xs) of Xs. Validation of the Measurement System for the X's	Determine Process Capability Y,X. Determine post-improvement capability and performance. Confirm the improvement goal has been realized.	Sustained Solution. Documentation. Develop and implement Process Control Plan.

Lean 6-sigma. Also a 12-step process.

	DEFINE	MEASURE	ANALYZE	IMPROVE	CONTROL
6-sigma vs. Lean	A) Identify Project CTQs.	1) Select CTQ characteristics	4) Establish Process Capability	7) Screen Potential Causes	10) Define&validate Measurement System on Xs in Actual Application
	B) Develop Team Charter or Contract	2) Define Performance/Execution Standards	5) Define Performance Objectives	8) Discover Variable Relationships	11) Determine Process Capability
	C) Define High Level Process Map	3) Measurement System Analysis	6) Identify Variation Sources	9) Establish Operating Tolerances	12) Implement Process Control and Project closure.
	Pre-workout (preliminary team workout)			Lean AWO	
	A) Identify CTC's / CTD's	1) Select vital Process	4) Establish metrics of VSM	7) Causes of wastes	10) Define and validate Impact
	B) Develop team charter or contract	2) VSM for the vital process.	5) Identify MUDA or wastes	8) "Try-storm". Solutions.	11) Implement new process and control
	C) Define and develop high level Value Stream Map	3) Validate VSM	6) Define future status of VSM	9) Establish controls for the future status	12) Celebrate success.
				Follow-up	

FLUJOGRAMA DE UN PROYECTO 6-SIGMA SEGÚN LA ISO 13053-2

	DEFINIR#1	DEFINIR#2	DEFINIR#3
	Identificar a los clientes y a las terceras partes, entender sus exigencias y traducirlas a requisitos medibles. Establecer los objetivos de mejora.	Definir y establecer los objetivos del equipo para el proyecto: fechas de terminación, intereses, restricciones, riesgos, retorno de la inversión, competencias y alcance del proyecto.	Caracterizar la actividad o proceso.
Herramientas o técnicas	Quejas de clientes, retrealimentación del mercado, encuestas	Cuadro de Equipo	SIPOC
	Espectativas de las terceras partes, encuestas éticas	Herramientas de planificación de proyecto: Diagrama Gantt, plan del proyecto,...etc	Mapeado del proceso y datos del proceso
	Retorno de la Inversión, costes y responsabilidades	Matriz RACI de competencias	
	Indicadores 6-sigma	Retorno de la Inversión, costes y responsabilidades	
	Diagramas de Afinidad	Análisis del riesgo del proyecto (cuadro de equipo)	
	Modelo Kano		
	Requisitos CTQ		
	Casa de la Calidad		
	Benchmarking		

	MEDIR#1	MEDIR#2	MEDIR#3	MEDIR#4	MEDIR#5	MEDIR#6	MEDIR#7
	Obtener los requisitos medibles (Y) y seleccionar una o más variables críticas (X) a mejorar.	Definir los datos a recoger para señalar las variables X que me generan variación en mi proceso.	Doble chequear el estado de forma de las métricas seleccionadas mediante MSA.	Desarrollar un plan estratificado de recolección de datos.	Entender y validar los datos.	Medir el desempeño del proceso y/o la capacidad del proceso.	Confirmar o reajustar los objetivos de mejora.
Herramientas o técnicas	Voz del cliente (Casa de la Calidad, ... etc)	Matriz de prioridades	MSA (Measurement System Analysis)	Plan de recolección de datos.	Test de Normalidad y transformación de las distribuciones no-normales.	Indicadores Pp,Ppk,Cp,Cpk,ppm,DPMO,Z	Comparar los objetivos iniciales con los indicadores (cuadro de equipo)
	Voz de terceras partes (medio ambiente, responsabilidad social, sostenibilidad)	Diagrama de Causa Efecto		Determinación del tamaño de la muestra.	Representación visual de los datos.		
	Diagrama de árbol de las CTQs	Brainstorming AMFE			Histogramas.		
					Box-plots (diagrama de cajas)		
					Gráfica Pareto		
					Gráfica de recorridos		
				Gráfica de Control.			

	ANALIZAR#1	ANALIZAR#2	ANALIZAR#3	ANALIZAR#4
	Analizar el proceso para señalar con precisión las actividades que no añaden valor o que necesiten ser mejorar.	Representar los potenciales nexos de unión entre X e Y.	Cuantificar el impacto de las variables X clave del proceso y sus interacciones potenciales.	Refinar el impacto ya determinado de las variables clave de proceso mediante un método experimental que me ayude a encontrar nuevos factores.
Herramientas o técnicas	Análisis de causa efecto	Diagramas de dispersión, Pareto	Pruebas de Hipótesis	DOE (Design of Experiments)
	Análisis de desperdicios	Gráfica de recorrido	Análisis de Regresión	Análisis de Regresión
	Análisis de la cadena de valor		Correlación	Pruebas de Hipótesis
	Modelizado de la entrega de servicios (análisis del proceso de servicio)			
	Mapeado del proceso			

	MEJORAR#1	MEJORAR#2	MEJORAR#3	MEJORAR#4	MEJORAR#5	MEJORAR#6	MEJORAR#7
	Determinar el objetivo del proyecto.	Generar ideas/rediseños para la solución.	Comprobarlo/Ensayarlo.	Evaluar los riesgos.	Seleccionar la solución.	Organizar el despliegue de la solución.	Implementar la solución.
Herramientas o técnicas	Visualización Estadística Descriptiva	Brainstorming y herramientas creativas	Fiabilidad	AMFE	Matrices de priorización y otros métodos de toma de decisiones	Herramientas de planificación del proyecto: - Diagrama Gantt - Plan del proyecto	
		DOE				Herramientas de gestión de recursos (matriz RACI)	

	CONTROLAR#1	CONTROLAR#2	CONTROLAR#3	CONTROLAR#4	CONTROLAR#5	CONTROLAR#6	CONTROLAR#7
	Actualizar el plan de control.	Documentar las actividades relacionadas con las mejores prácticas.	Implementar la monitorización de la solución.	Chequear por duplicado si la mejora es efectiva y eficiente.	Aprovecharse de las lecciones aprendidas.	Institucionalización.	Cierre del proyecto y celebrar su terminación.
Herramientas o técnicas	AMFE actualizado	Redacción de los procedimientos del proceso.	Gráficas de Control.	Ensayos estadísticos, representaciones gráficas.	Revisión del proyecto y retroalimentación en base a la experiencia	Evaluar las ganancias potenciales y los riesgos a lo largo de los demás negocios	
	Plan de control (documentado)	Formación.		Cálculo de las ganancias conseguidas.	Reporte de logros via intranet, internet,.....etc		
				Capacidad de proceso.			
				Encuesta de satisfacción.			
				Benchmark (actualizado)			

Anexo6.- BIBLIOGRAFÍA:

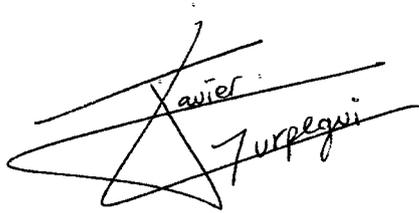
- "The Book of Knowledge" Version 4 (03-2001).
- "Black Belt Book of Knowledge" Version 5.3 (02-2004).
- "MINITAB Manual for Introduction to the Practice of Statistics" de David Moore y George McCabe's de la Michael Evans University de Toronto.
- E.Farber(1995) "A guide to Minitab". Ed. McGraw-Hill.
- Apuntes de la asignatura "Métodos Estadísticos de la Ingeniería" de 2º curso de ITI Mecanica. Profesores Carlos Macua y Ramón Fernandez Castilla.
- CD Programa de entrenamiento "Green Belt" versión industrial en Español versión 2.1.0. GE Capital Learning Services.
- Documentación diversa de la empresa "GE Wind Energy" para la cual trabajé y perteneciente al grupo "General Electric".
- Six Sigma pocket guide from Rath & Strong's Management Consultants. AON Management Consulting.
- Six Sigma para todos. George Eckes. Septiembre 2004. Ediciones Granica, S.A. Grupo Editorial Norma. 65-5 /331.
- Las claves prácticas de Seis Sigma. Una guía dirigida a los equipos de mejora de procesos. Peter S. Pande, Robert P. Neuman, Roland R. Cavanagh. Editorial Mc Graw Hill 2004.
- The Six Sigma Handbook. Thomas Pyzdek and Paul A. Keller. 3rd Edition 2001 Mc Graw Hill.
- The Sigma Handbook. Thomas Pyzdek and Paul A. Keller. Sept'09.
- Statistical Methods for 6-sigma in R&D and Manufacturing. Anand M. Joglekar. Wiley-Interscience.
- ISO 2768-1 e ISO 2768-2: Tolerancias generales
- EN 13920. Tolerancias generales para construcciones soldadas.
- ISO EN 9000:2005. Sistemas de gestión de la calidad. Fundamentos y vocabulario.
- ISO EN 9001:2008. Requisitos de un sistema de gestión de la calidad.
- ISO EN 9009:2009. Gestión para el éxito sostenido de una organización. Enfoque de la Gestión de la Calidad.
- ISO 13053-1: Métodos cuantitativos de la mejora de procesos: 6 sigma Parte1: Metodología DMAIC.
- ISO 13053-2: Métodos cuantitativos de la mejora de procesos: 6 sigma Parte2: Herramientas y técnicas.

Páginas web de interés:

- http://www.micquality.com/reference_tables/d2_tables.htm
- www.performance-innovation.com (web of Performance Innovation LLC).
- www.minitab.com
- www.isixsigma.com
- www.quality2.com

Hoja de cierre del PFC

Pamplona a 17 de Febrero de 2015



Javier Gurpegui

Autor del proyecto final de carrera: Javier Gurpegui Muro

