

“Estudio sobre la reducción y optimización de los equipos de medida en el sector aeronáutico”



BILBOKO
INGENIARITZA
ESKOLA
ESCUELA
DE INGENIERÍA
DE BILBAO

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO

**ESTUDIO SOBRE LA REDUCCIÓN Y
OPTIMIZACIÓN DE LOS EQUIPOS DE
MEDIDA EN EL SECTOR AERONÁUTICO**

Alumno/Alumna: Letona Castrillo, Asier

Director/directora: Pombo Rodilla, Iñigo

Curso: 2018-2019

Fecha: Bilbao, 18 de junio de 2019

Índice

1- Introducción	5
1.1- Historia.....	5
1.2- Reestructuración de las divisiones	6
1.3- Divisiones relacionadas con el sector aeronáutico	6
1.4- Descripción de cada Unidad de negocio.....	7
2- Contexto del proyecto.....	8
2.1- Objetivos y alcance del trabajo.....	9
3- Beneficios que aporta el trabajo	10
4- Descripción de requerimientos	11
5- Descripción de tareas, equipos o procedimientos.....	12
5.1- Descripción de cada fase del proyecto.....	12
5.2- Descripción de equipos de control	14
5.3- Soporte informático para la organización de equipos; Calibrator	15
5.4- Descripción de maquinaria	15
6- Descripción de metodología.....	16
6.1- Fase 1. Situación actual de los equipos de control.....	16
6.2- Fase 2. Trazabilidad entre equipos de control y referencias.....	29
6.3- Asignación de equipos a piezas, en función de las necesidades. Análisis MSA ..	33
6.4- Fase 3. Análisis de necesidades. Equipos compartidos entre varias divisiones ..	66
6.5- Fase 4. Identificar equipos necesarios por división	69
7- Descripción de los resultados.....	74
7.1- Optimización y depuración del sistema	74
7.2- Análisis MSA.....	75
8- Fase 5. Optimización en la gestión, plan de proyecto y planificación	77
8.1- Descripción del presupuesto	79
9- Conclusiones.....	81
10- Bibliografía.....	83
11- Anexos	84

Índice de tablas

Tabla 1. Ejemplo de inventario, por estado y ubicación	21
Tabla 2. Recuento de equipos en la división EAS.	22
Tabla 3. Recuento de equipos en la división EAT.	23
Tabla 4. Recuento de equipos en los armarios de taller.	24
Tabla 5. Recuento de equipos en la división ECT.	25
Tabla 6. Recuento de equipos en la división EAE	26
Tabla 7. Recuento de equipos en la división EEP.	27
Tabla 8. Resumen de la situación inicial global.	28
Tabla 9. Referencia/denominación.	31
Tabla 10. Vinculación código/referencia	31
Tabla 11. Criterios de aceptación mínimos según norma AS13003.....	39
Tabla 12. Clasificación de los estudios realizados.	40
Tabla 13. Características de MA-66.....	42
Tabla 14. Características de PR-1271	43
Tabla 15. Características de ME-1041	50
Tabla 16. Características de PR-1270	51
Tabla 17. Resumen resultados de los estudios MSA.....	57
Tabla 18. Resultados del control estadístico del proceso.	60
Tabla 19. Cantidad de referencias vinculadas a la división EAS, por armarios.	70
Tabla 20. Cantidad de referencias vinculadas a la división EAT, por armarios.	71
Tabla 21. Resumen de cantidades de referencias vinculadas a cada división	71
Tabla 22. Equipos asignados por divisiones	72
Tabla 23. Depuración del sistema	74
Tabla 24. Presupuesto de compra de equipos	80

Índice de gráficos

Gráfico 1. Recuento de equipos en la división EAS.	22
Gráfico 2. Recuento de equipos en la división EAT.	23
Gráfico 3. Recuento de equipos en los armarios de taller.	24
Gráfico 4. Recuento de equipos en la división ECT.	25
Gráfico 5. Recuento de equipos en la división EAE.	26
Gráfico 6. Recuento de equipos en la división EEP.	27
Gráfico 7. Porcentaje de uso por divisiones.	68
Gráfico 8. Equipos asignados por divisiones.	72
Gráfico 9. Depuración del sistema.	75

Índice de imágenes

Imagen 1. Columna de alturas, MA-66.	41
Imagen 2. Piezas SAFRAN preparadas para análisis MSA.	42
Imagen 3. Calibre pie de rey analógico (0-200), PR-1271.	43
Imagen 4. Resultados MSA primera medición.	44
Imagen 5. Resultados MSA primera medición.	45
Imagen 6. Resultados MSA segunda medición.	46
Imagen 7. Resultados MSA segunda medición.	48
Imagen 8. Micrómetro de exteriores, ME-1041.	50
Imagen 9. Piezas CESA (Pistón) preparadas para análisis MSA.	51
Imagen 10. Calibre Pie de Rey (0-150), PR-1270.	51
Imagen 11. Resultados MSA segunda medición.	52
Imagen 12. Resultados MSA segunda medición.	53
Imagen 13. Resultados MSA primera medición.	54
Imagen 14. Resultados MSA primera medición.	56
Imagen 15. Control estadístico del proceso de la cota P40.10 de la pieza SAFRAN.	59

Imagen 16. Control estadístico del proceso del diámetro de la pieza CESA..... 59
Imagen 17. Control estadístico del proceso de la longitud de la pieza CESA..... 60

Índice de anexos

Anexo 1. Plano Egile Mechanics, S.L.
Anexo 2. Descripción de maquinaria.
Anexo 3. Plano de la pieza de CESA.
Anexo 4. Plano de la pieza Safran Helicopter Engines.
Anexo 5. Relación ajuste/tolerancia.
Anexo 6. Valores obtenidos en las mediciones del estudio MSA.
Anexo 7. Tabla de equipos compartidos

1- Introducción

1.1- Historia

Lo que en la actualidad se conoce como Egile Mechanics, localizada en la localidad de Mendaro, Guipúzcoa, ha estado formado por varias empresas expertas en el sector de máxima precisión. A continuación, se explicará el proceso de crecimiento de dicha empresa hasta la actualidad.

En 1990 se creó Zehatz S.L. en Elgoibar. Esta microempresa especializada básicamente en el rectificado, empezó siendo un taller auxiliar y posteriormente, en 1992, decidieron evolucionar y pasar a ser una empresa con plan estratégico propio. Zehatz empezó apostando por el sector del envase metálico.

En 1995, se apostó por la actividad en Ingeniería y junto a los primeros troqueles progresivos, para dichos envases metálicos, se desarrollaron utillajes para mecanizado en fábrica herramienta.

En 1999, nació la segunda empresa que formará el grupo Egile, DMP (Desarrollos Mecánicos de Precisión, SL). Con esta nueva incorporación se suma el desarrollo en sector aeronáutico, sector que posteriormente iba a ocupar una parte muy importante en el grupo.

Ya en 2004, se realiza el primer plan estratégico. Se hace una gran apuesta por sectores entonces con una importante tendencia de crecimiento como salud, aeronáutica y energías renovables. Cabe recalcar que todos ellos son ámbitos que la mecánica de alta precisión tiene un fuerte impacto.

En 2007, emerge el segundo plan estratégico, el cual apuesta por la internacionalización, firmando acuerdos estratégicos con empresas líderes en el sector aeronáutico.

Al de un año, en 2008, el sector aeronáutico, que como ya se ha mencionado iba a ocupar una gran parte del grupo, iba a conseguir su consolidación. En dicho año se entregan los prototipos de Sock-absorber del NLG del Boeing 787 y se consigue la adjudicación de la fabricación de las familias SPPS para SAFRAN Helicopter Engines (Egile, 2019).

1.2- Reestructuración de las divisiones

Finalmente, en 2018, se produce la reorganización del Grupo Egile Mechanics, por divisiones especializadas. El objetivo de dicha reorganización no es otro que poder enfocar todas las capacidades de la empresa respecto a las demandas específicas del mercado, a través de las nuevas “Unidades de negocio”. Es entonces cuando nacen Egile Aero Systems, Egile Aero Transmission, Egile Aero Engines y Egile CanTooling (Egile, 2019).

- Sectores de la empresa “EGILE mechanics” actualmente:
 - EAS (Egile Aero Systems)
 - EAT (Egile Aero Transmission)
 - EAE (Egile Aero Engines)
 - ECT (Egile CanTooling)
 - *EAM (Egile Additive Manufacturing)*
 - *EEP (Egile Extreme Precision)*

1.3- Divisiones relacionadas con el sector aeronáutico

Dentro del grupo Egile Mechanics. SLU, el sector aeronáutico es el que adopta mayor importancia. Dentro de dicho sector trabajan tres Unidades de negocio: EAS, EAT y EAE.

La primera, *EAS (Egile Aero Systems)*, especialista en soluciones de transmisión basados en mecánica de precisión extrema. Actualmente, esta división ha reforzado el proceso de fabricación de cilindros y pistones para Safran Landing System, líder mundial del mercado de trenes de aterrizaje de aeronaves. Durante todo el último curso, han estado cooperando con el cliente para mejorar la fabricación y control de ambas piezas clave, cilindros y pistones.

Como resultado a dicho trabajo, se destaca la implantación de la filosofía de trabajo QRQC (Quick Response Quality Control) de origen japonés. Este, permite detectar las incidencias y corregirlas con muchísima agilidad, en el punto exacto donde ocurren. De esta manera se permite corrección inmediata de cualquier alteración, antes de que sea demasiado tarde.

Por otro lado, *EAT (Egile Aero Transmissions)*, representa lo que anteriormente estaba clasificado como DMP (Desarrollos Mecánicos de Precisión), por lo que se centra en el sector de las turbinas y los propulsores de aviones, concretamente en la transmisión de los mismos. Como hemos mencionado, esta división es de gran importancia y ejemplo de ello son las marcas con las que colabora, todas ellas líderes en el sector

“Estudio sobre la reducción y optimización de los equipos de medida en el sector aeronáutico”

aeronáutico; SAFRAN Helicopter Engines, Safran Power Units o Airbus Helicopters, con las cuales colabora en la fabricación de turbinas, turbopropulsores y turbofans (reductoras para transmisión de potencias o de accesorios).

Actualmente, EAT se centra en la fabricación de cuatro referencias de bombas de lubricación (principal y secundaria) para dos nuevos modelos de helicóptero de Airbus, el H160 y H175. Las grandes exigencias de dicho proyecto suponen al grupo a ampliar recursos de Ingeniería y las capacidades de producción. Ello conlleva a la habilitación de nuevas zonas de montaje y por supuesto el traslado de parte de la división a otra instalación productiva con mayor espacio para su crecimiento (Egile, 2019).

Por último, EAE (*Egile Aero Engines*), se centra en la fabricación de componentes complejos en el sector de las turbinas industriales para jet engines. Este último es uno de los proyectos estrella de EAE, los NGV (Nozzle Guide Vane), los cuales forman la parte estática de las turbinas de baja presión de los aviones. Cabe destacar que también se trabaja con una empresa líder del sector, como es ITP, la cual se centra en la fabricación de motores de avión Rolls-Royce, etc. De las operaciones mecánicas realizadas en Egile, las piezas salen perfectamente preparadas para montaje. Es decir, en Egile, se llevan a cabo las últimas operaciones de la cadena. Por lo tanto, se cuenta con una inspección por líquidos penetrantes para garantizar la validez de todas las piezas fabricadas (Egile, 2019).

En este último curso, además de dicho proyecto, se ha iniciado una nueva tarea, el mecanizado de álabes para el nuevo motor de ultrafan de Rolls-Royce. Ultrafan es un motor adaptable para aviones de “monopasillo” o de “doble pasillo” que ofrece un 25% de mejora en el consumo de combustible en comparación con motores utilizados hasta la fecha. Este hito, se basa el mecanizado de alabes de turbina en aleaciones de base níquel (NI). Esto supondrá un gran salto en la calidad de mecanizado de precisión de piezas críticas, llegando a trabajar con tolerancias de micras, lo cual supone una gran responsabilidad.

1.4- Descripción de cada Unidad de negocio

Se denomina Unidad de Negocio las diferentes divisiones creadas en base a las diferentes necesidades de fabricación. Como se ha mencionado, existen tres unidades relacionadas con el sector aeronáutico. Estas unidades son EAS (*Egile Aero Sytem*), EAT (*Egile Aero Transmission*) y EAE (*Egile Aero Engines*).

Cada unidad de negocio dispone de los recursos necesarios para realizar tu actividad, tanto industrial como actividades soporte como Gestión de Cadena de suministro, Comercial etc.

Cada una de las divisiones contiene diferentes centros de coste. Estos, son todos los centros de trabajo que contienen maquinaria. Además de los centros de trabajo, existen equipos de control de calidad compartidos. Estos equipos están en el departamento de calidad, perteneciente a EAS y en los armarios de taller, los cuales se comparten principalmente entre EAS y EAT. Más adelante se explicará la importancia que estos armarios tienen en el proyecto.

En el ANEXO 1 se muestra un plano de la empresa, donde se puede identificar las principales divisiones del sector aeronáutico y cada centro de coste pertenecientes a dichas divisiones.

En el punto 5.4 se hablará sobre todos los centros, vinculando las máquinas de mecanizado a cada uno de ellos.

2- Contexto del proyecto

Actualmente, Egile Mechanics cuenta con alrededor de 3200 equipos de medida. Una pequeña parte pertenecían a ZEHATZ mientras que la mayoría de ellos pertenecían a DMP. Como se ha explicado, dichas empresas se fusionaron y resurgieron nuevas Unidades de Negocio especializadas en la fabricación productos para cada nicho de mercado. Por lo tanto, cientos de equipos han quedado sin definir, desconociendo a qué división pertenecen e incluso a qué parte de la empresa pertenecían anteriormente. Dichos equipos, pueden pertenecer a una sola unidad o pueden ser compartidos por varias de ellas.

A dicho cambio en la estructura de la empresa se le debe añadir que parte del grupo se trasladan a Itziar, un barrio de la Localidad de Deba, cercana a Mendaro. Por lo tanto, lo que inicialmente no suponía mayor problema que un descontrol interno de los equipos, se le suma que parte de la empresa se trasladará a otro pabellón situado a varios kilómetros de Mendaro.

Se llevarán a cabo varias estimaciones sobre la situación inicial y se explicará por qué se ha decidido realizar este proyecto. En primer lugar, se debe asegurar de que ningún equipo sin registrar en el sistema o incluso fuera de calibración esté en uso en el taller, ya que podría suponer un riesgo irreparable tratándose de piezas de dicha precisión.

Por otro lado, se prevé que un 80% de los equipos se encuentra correctamente ubicado donde indica la base de datos, mientras que un 17% está en ubicaciones erróneas. Esto se debe a que muchos de los instrumentos de control son compartidos entre varias máquinas, por lo que la ubicación determinada puede variar a lo largo de su vida útil.

Por último, se estima encontrar que apenas un 3% de los equipos no sea localizable en el taller. Aunque esta cantidad no sea para nada elevada, uno de los objetivos será minimizarla, ya que contribuirá a la optimización.

“Estudio sobre la reducción y optimización de los equipos de medida en el sector aeronáutico”

Todo lo mencionado hasta el momento trata sobre la ubicación de los equipos, pero ese no será el único análisis a realizar durante el proyecto. Como es previsible, habrá tanto equipos infrautilizados como equipos sobre utilizados. Ambas situaciones suponen un coste adicional a la compañía, el cual se puede minimizar. Simplemente siguiendo la trazabilidad de los equipos y viendo con qué cantidad de piezas están trabajando, se tomarán las decisiones oportunas para la optimización de los equipos, en definitiva, para la reducción de costes en cuanto al control de calidad de las piezas controladas.

El sector aeronáutico es un sector muy complejo y preciso, por lo que todos los instrumentos utilizados en él tienen un coste elevado. Los equipos de control también forman parte del proceso de fabricación de piezas para este sector. Mediante esta reducción, la cual según estimaciones internas puede estar cerca de un 30%, supondrá una reducción de costes más que notable.

2.1- Objetivos y alcance del trabajo

Objetivos:

El principal objetivo del proyecto es el siguiente:

1. Optimizar el uso de los equipos de medida de Egile Mechanics.

Para cumplir este objetivo principal se plantean los siguientes objetivos parciales:

2. Reorganizar la disposición de los equipos disponibles en función de sus necesidades de uso.
3. Establecer un protocolo de análisis de las aptitudes de los equipos disponibles actualmente en EGILE.

Para realizar este objetivo parcial se llevará a cabo el siguiente procedimiento:

- Realizar varios estudios de análisis de medición, MSA.

El objetivo principal del proyecto se llevará a cabo debido a la falta de trazabilidad entre los controles y los elementos de inspección. Es decir, se procederá a clasificar los equipos de medida en función de las piezas en las que se utilice y, por lo tanto, en función de las diferentes divisiones.

Alcance:

Dentro del principal objetivo (objetivo 1) de la optimización, el alcance será el siguiente:

- a) Se analizarán con mayor énfasis los equipos compartidos entre varias divisiones, los cuales, por lo general, se encuentran situados en los armarios del taller.
- b) La trazabilidad de las piezas con las que trabaja cada instrumento de control será importada desde una sola base de datos, para agilizar dicha tarea.
- c) EGILE AERO no es autoridad de diseño, fabricación según plano de cliente. Es decir, es el cliente quien indica que precisión y tolerancia es admitida en cada pieza, en base a qué función desempeñarán en el futuro.

Por otra parte, para satisfacer el objetivo parcial relacionado con el análisis de aptitud de los equipos, el alcance será el siguiente:

- Explicar técnicamente como se asigna un equipo a una pieza concreta.
- Este análisis se llevará a cabo únicamente con dos piezas, de dos clientes diferentes, especificados a continuación.
- Los planos mostrados en los ANEXOS 3 y 4, no han sido creados únicamente para la realización del estudio MSA. Dichos planos son creados por ambos clientes y son completamente ajenos al desarrollo de este TFG.
- La realización y análisis de los resultados de varios estudios MSA (Measurement System Analysis).
- No se determina si un instrumento es apropiado o no, sino que se especifica si el sistema de análisis lo es, teniendo en cuenta: el instrumento, el inspector, el entorno, etc.
- Se llevarán a cabo los controles estadísticos de los procesos, explicados detalladamente más adelante.

Más adelante, se describirán cada una de las etapas que se desarrollará durante el proyecto, así como el inventario de equipos localizados, su trazabilidad con las referencias de uso y futuras necesidades.

3- Beneficios que aporta el trabajo

El proyecto aportará diferentes beneficios, tanto para la empresa como en el plano personal.

Los beneficios de los cuales se nutrirá la empresa son los siguientes:

- Clasificación de la maquinaria en base a cada división y ubicación.
- Actualización de la base de datos encargada de administrar los equipos de control, Calibrator.
- Actualización y reorganización del uso de los instrumentos de medida.

“Estudio sobre la reducción y optimización de los equipos de medida en el sector aeronáutico”

- Análisis del resultado de clasificación mediante tablas y gráficas.
- Conocimiento de la trazabilidad entre equipos y piezas mecanizadas.
- Conocimiento sobre el porcentaje de uso de los equipos compartidos entre divisiones.
- Eliminar los equipos infrautilizados, aportando un beneficio económico.
- Propuesta sobre la necesidad de compra en función del resultado obtenido.
- Análisis de varios estudios MSA realizados.
- Plan de gestión.

En cuanto a lo personal, se aprovechará la estancia en Egile para poder obtener los siguientes beneficios:

- Conocimiento sobre la estructura de una empresa real, con gran experiencia en el sector.
- Teniendo en cuenta que el proceso será en parte organizativo, se obtendrá como resultado una alta capacidad en dicho ámbito laboral.
- Será necesario realizar tareas técnicas de Ingeniería Mecánica como; la asignación de equipos en base al análisis de necesidades de cada pieza dependiendo de sus funciones.
- Conocimiento sobre los análisis de sistema de mediciones MSA, el cual es muy común en el área de la Ingeniería Mecánica y en concreto en un sector tan preciso como el aeronáutico.
- Control estadístico del proceso, muy utilizado en todos los ámbitos de producción e ingeniería.

4- Descripción de requerimientos

La optimización es una de las funciones primordiales de la Ingeniería. Obviamente se quieren conseguir los mejores resultados, pero la pregunta es; ¿cuánto se gasta para lograr dichos resultados? Si bien los resultados son positivos, más positivos son cuando se han conseguido con una reducción de costes asociada.

Lo que se busca en este proyecto es alcanzar esa eficiencia. Conseguir controlar las cantidades de referencias a las que se vinculan cada equipo y tomar decisiones que optimicen el proceso de inspección de calidad, así como: dar de baja equipos infrautilizados o dar entrada a equipos nuevos que vayan a ocupar funciones específicas y necesarias.

Por último, para considerar el resultado positivo, se quiere conseguir una reducción cercana al 30% de los equipos de control registrados. Esa reducción conlleva

principalmente una optimización de los equipos restantes y, por lo tanto, un coste económico reducido.

En cuanto al análisis MSA, requiere de conocimientos en el sector de la Ingeniería Mecánica, concretamente en el área de metrología.

Durante el proyecto será necesario el uso de aplicaciones informáticas, en concreto de tres herramientas imprescindibles:

La primera de ellas es el Excel, ya que haciendo uso de este programa se obtendrán una serie de resultados que nos facilitarán mucho el análisis de los resultados.

Por otro lado, se hará uso de dos herramientas específicas para este proyecto. En primer lugar, Calibrator. Este es un soporte informático que archiva todos los datos técnicos de los instrumentos de control de la compañía.

En último lugar, se usará MINITAB, un programa estadístico, para el análisis de los resultados obtenidos en el estudio MSA. Este programa facilitará datos como reproducibilidad y repetividad, conceptos que serán explicados posteriormente (Minitab, 2019).

Para la realización de los estudios MSA, se utilizarán 4 instrumentos de control que se presentarán detalladamente en el apartado de dicho estudio. Durante el análisis del estudio, se valorará la aptitud de la reproducibilidad y repetibilidad de cada sistema de mediciones. Ambos conceptos se explicarán detalladamente durante el proyecto y deberán ser $\leq 30\%$ del rango de tolerancia admitida en cada característica.

5- Descripción de tareas, equipos o procedimientos

5.1- Descripción de cada fase del proyecto

A continuación, se presentan las diferentes etapas de las que consta el proyecto, explicando profundamente cada una de ellas.

Fase 0: Formación interna. Como ya se ha mencionado, la empresa, diferenciada en diferentes secciones de trabajo dependiendo de las necesidades del cliente, cuenta con más de 3200 equipos de medida, algunos localizados y otros no localizados. Para la organización de todos estos equipos el equipo de calidad de Egile Mechanics cuenta con una herramienta fundamental, Calibrator. Este, es una aplicación informática que trata de registrar y almacenar cada uno de estos equipos. Este programa no solo da de alta los quipos nuevos, sino que también informa del estado de cada uno de ellos, así como su localización y sus calibraciones. Durante la primera fase del proyecto, se estará continuamente en contacto con Calibrator, estudiando las diferentes funciones, anteriormente mencionadas, y poniendo en práctica todo lo anterior.

Fase 1: Análisis preliminar de equipos: Ya que en la fase 0 del proyecto no hay material físico con el que evolucionar en el trabajo, se podría decir que aquí empieza realmente la tarea de optimizar estos equipos de medida. Durante esta fase, se hará un inventario en el que quedará plasmado el estado actual de la distribución de equipos. Es decir, el punto de partida.

Se clasificará cada equipo dependiendo de su sección de trabajo, haciendo hincapié en las fases de EAT y EAS, donde se conoce que hay más desconocimiento del material que se dispone. En cada una de las secciones se diferenciarán los puestos de trabajo, así como las propias máquinas, los armarios y cajones, ya sean de taller o del propio centro de calidad. Después, se diferenciarán los equipos registrados correctamente y los que han aparecido en lugares no registrados en el Calibrator. También quedarán plasmados los equipos que deberían estar, porque el sistema así lo indica, y no se localizan en sus centros de trabajo.

Para finalizar esta fase, se presentará gráficamente (mediante tablas y gráficas) el estado actual de la empresa y se sacarán las conclusiones necesarias.

Fase 2: Relacionar equipos y planes de control: Al tratarse de la fase más importante del proyecto, también será la más extensa y costosa. Durante esta etapa, se analizará como se dividen los equipos por divisiones, siempre en base a unas necesidades. Es decir, se analizará la trazabilidad de cada instrumento de control con las referencias con las que trabajará. Estas referencias llaman a las diferentes piezas mecanizadas En Egile, por lo que interesa saber que equipos se utilizan durante inspección de calidad de cada pieza. De esta manera, sabiendo cada pieza en que división se trabaja, se podrá vincular equipos a dichas divisiones. Se dará mayor importancia a los equipos compartidos, ya que pueden crear confusión a la hora de asignarlos a una división concreta, lo cual entorpecería notablemente el proceso de optimización.

Durante el proceso de asignación de referencias a los diferentes equipos, analizaremos la causa de dicha asignación. Es decir, se estudiará con qué tolerancia se trabaja en cada pieza y, por lo tanto, como de precisos deben ser sus equipos de control. Además, se llevarán a cabo varios casos prácticos de MSA (Measurement System Analysis), los cuales dirán si el sistema de mediciones seguido es el adecuado o no. Durante el análisis se utilizarán varios soportes técnicos que se explicarán con profundidad (Minitab, 2019).

Fase 3: Análisis de necesidades: En esta etapa del proyecto comienza la optimización. Se tratarán todas las conclusiones obtenidas mediante las anteriores fases, entre ellas:

- Equipos no vigentes → Retirados de taller.
- Equipos infrautilizados → Dados de baja.
- Equipos compartidos → Porcentaje de uso → Nueva ubicación.
- Necesidad de compra.

Fase 4: Crear reglas generales de gestión: Durante el proyecto, aparecerán errores que se han cometido a la hora de gestionar internamente esta cantidad de instrumentos. A la hora de llevar a cabo una gestión, es necesario crear pautas normalizadas, ya que en el futuro serán de gran ayuda para todas las partes de la empresa. Internamente se generarán una serie de acuerdos que normalizarán la codificación, la descripción y la organización para que la optimización sea útil y duradera.

Fase 5: Optimización en la gestión de usos de equipos de control: Como se verá en la primera fase del proyecto, la situación inicial no era precisamente óptima. Se encontrarán equipos no vigentes en el sistema, lo cual supone un riesgo enorme, ya que se trabaja con piezas con una precisión alrededor de $25\mu m$. También se verán como para ciertas necesidades hay escasez de equipos mientras que para otras acciones muy concretas y limitadas se cuenta con demasiados equipos. De esto trata la optimización. Se llegará a un equilibrio donde cada acción tendrá el número idóneo de equipos de control en base a sus necesidades. Esto conllevará a la empresa a hacer una primera inversión, pero supondrá una reducción de costes en el futuro.

5.2- Descripción de equipos de control

Código de los equipos:

Los equipos de medida se codificarán en base a la familia a la que pertenecen y enumerándolos con un número de cuatro dígitos. Eg: PR-XXXX (Calibre Pie de Rey).

A continuación, se muestra la simbología de cada familia:

- d) Alexómetros y verificadores rápidos (AL)
- e) Anillos patrón (AP)
- f) Balanza (BAL)
- g) Bloque patrón (BP)
- h) Calibre pie de Rey (PR)
- i) Columna de alturas (CA)
- j) Comparador rápido (CR)
- k) Equilibradora (EQ)
- l) Manómetros (MN)
- m) Marameter (MIL)
- n) Medidor de rodadura (MED)
- o) Mesa de planitud (PM)
- p) Micrómetros de interiores (MI)

- q) Micrómetro de profundidades y exteriores (ME)
- r) Millimar amplificación electrónica (MIL)
- s) Sistema de captura de datos de temperatura (TEMP)
- t) Patrón de rodadura (PRD)
- u) Relojes comparadores rectos y de palanca (RC)
- v) Útiles de verificación (UVER)
- w) Cronómetros
- x) Reglas
- y) Varillas o espigas calibradas

5.3- Soporte informático para la organización de equipos; Calibrator.

Para comenzar con la primera fase, se hará uso de la base de datos de los equipos de control de la empresa. Esta está registrada en el sistema Calibrator. Este programa archiva los datos de cada equipo utilizado.

Estas son sus funciones principales:

- 1- Registrar fechas: de dado de alta, de dado de baja y de calibración realizada.
 - 2- Señalar cuando será la próxima calibración de cada equipo (dependiendo de la familia y su frecuencia de uso, esta fecha puede variar).
 - 3- Localización de los equipos.
 - 4- Informe de calibración.
 - 5- Datos generales de cada equipo, como: proveedor, fabricante, laboratorio externo de calibración, etc.
 - 6- Situación de los equipos: En uso o fuera de uso.
- El sistema también debería relacionar cada equipo de control con las referencias en las que trabaja. Es decir, relación entre equipo y pieza que trabaja.

Lo mencionado en el último punto, ocurre muy pocas veces, por lo que genera un desconocimiento entre los equipos existentes en la empresa y su utilidad real. Como se ha mencionado previamente, este será uno de los propósitos del estudio.

5.4- Descripción de maquinaria

ANEXO 2 hace muestra de las máquinas de las que la empresa dispone. Estas serán clasificadas en función de la división, el nombre completo de la máquina de mecanizado y la familia a la que pertenece (torno, rectificadora, etc).

6- Descripción de metodología

6.1- Fase 1. Situación actual de los equipos de control

A continuación, se realizará el inventario de los equipos en la actualidad. Es decir, habrá que comprobar, división por división que los equipos señalados en el sistema se ubican realmente donde indica. Se marcarán con diferentes colores los equipos situados correctamente en su sección, los equipos que deberían estar en su ubicación, pero no se hallan donde se debería y por último, los equipos localizados en algún centro de coste pero que según el sistema no deberían estar ubicados en el mismo.

De esta manera quedaría registrada la foto actual de los equipos de control de la empresa, por lo tanto, será posible conocer la situación inicial de la que se parte. Teniendo en cuenta que el propósito del proyecto es realizar una optimización de los equipos de control en el sector, esta parte del proyecto va a ser vital ya que ayudará a conocer la situación, necesidades y toma de decisiones posteriores.

El inventario consistirá en lo siguiente; se volcarán todos los datos registrados en el sistema (Calibrator) a un Excel. De esta manera, se clasificará por divisiones y dentro de cada división, por centros de coste, todos y cada uno de los equipos registrados en el sistema que estén EN USO. Hasta aquí, simplemente se dividirán los equipos registrados con los que en teoría la empresa cuenta, clasificándolos en función de su ubicación.

Por último, se procederá al recuento de los equipos dependiendo de su estado y se realizarán las conclusiones necesarias de la situación inicial.

6.1.1- Clasificación de la ubicación y los centros de trabajo en función de la sección

A continuación, se hará una clasificación de los centros de trabajo de la empresa. Se analizarán aquellas ubicaciones que están directamente relacionadas con una máquina concreta. También se clasificarán ubicaciones ajenas a cualquier máquina, así como; el departamento de calidad o la sección de recogida/expedición de la empresa.

Se procederá a hacer una pequeña descripción de cada uno de los centros de coste en la propia memoria, mientras que en el ANEXO 2, se puede encontrar toda la información vinculada a cada centro de coste, por ejemplo: codificación, tipo de máquina, fabricante, etc.

Los equipos de control están distribuidos por toda la compañía, por lo que se pueden encontrar en cualquiera de las siguientes ubicaciones, clasificadas por sus unidades de negocio:

1) EAS (Egile Aero Systems):

- **Maquinaria**

Descripción: en este apartado se localizan todos aquellos equipos que estén ubicados explícitamente en mesas de trabajo de máquinas específicas situadas en el taller de EAS. También se sitúan las áreas A01 (de rebabado), A02 (de embalaje y montaje) y las estanterías compartidas por la división EAS con denominación E03-01-N1, E03-01-N2, E03-01-N3, E03-01-N4 Y E03-05-N0.

- **Departamento de calidad:**

Descripción: aquí estarán situados todos aquellos aparatos que estén clasificados en el propio departamento/sección de calidad. Se creará una diferencia entre los cajones, armarios y estanterías de este. Además, también se clasificarán aquellos apartados que estén a la intemperie, como los equipos de uso propio de cada uno de los trabajadores del departamento. También se localizarán los equipos que se usen de forma habitual en puestos concretos, así como en la columna de alturas, las dos tridimensionales, el rugosímetro, etc...

- **Armarios del taller:**

Descripción: En el taller se dispone de 4 equipos de almacenaje de equipos de control, cada uno de ellos está clasificado por diferentes cajones. Esta localización es uno de los ejemplos de equipos compartidos, es decir, que además de pertenecer a EAS también pertenece a EAT. Por otra parte, ubicamos el armario de Forea. Este último es un taller apartado de los demás en el que se trabaja el mecanizado de piezas de Aero y que dispone de un armario propio, debido a que está apartado del resto de maquinaria.

2) EAT (Egile Aero Transmission):

- **Maquinaria:**

Descripción: Al igual que en la sección anterior, la EAS, estas ubicaciones hacen referencia a las mesas de trabajo correspondientes a máquinas concretas que se sitúan en el taller.

- *Dentro de la sección de maquinaria EAT se diferenciarán del grupo general de máquinas, los siguientes grupos, denominados por el nombre del fabricante. Se hará esta clasificación por su cercana ubicación dentro del taller, ya que conlleva a que los equipos sean compartidos entre los usuarios de dichos centros de mecanizado.*

1. Gleason:

Descripción: este apartado, hace referencia a las mesas de trabajo correspondientes a las máquinas de EAT, con una característica en común. Todas ellas pertenecen al mismo fabricante, Gleason. Interesa hacer esta diferencia porque están todas ubicadas en la misma zona de taller, y muchas de ellas comparten equipos de control.

2. Studer:

Descripción: como se ha explicado en el apartado anterior, en esta sección interesa diferenciar las máquinas en función de su fabricante, ya que se sitúan en zonas cercanas y comparten equipos.

3. Kellemer:

Descripción: interesa diferenciar las máquinas en función de su fabricante, ya que se sitúan en zonas cercanas y comparten equipos. Esta máquina está situada al lado de la RE02-2, de Studer, por lo que es posible que compartan equipos.

- **Cinemática:**

Descripción: en la sección de EAT, se cuenta con un apartado de cinemática, donde también se ubicará un armario/cajonera compuesto por 9 cajones. Dentro de este, se pueden encontrar numerosos equipos de control.

3) ECT (Egile CanTooling):

- **Maquinaria:**

Descripción: como en los anteriores apartados, se clasificarán en este apartado todos aquellos equipos localizados en las mesas de los puestos de trabajo. Además, se incluyen los puestos A01 y A02, los cuales pertenecen a puestos de trabajo de acabados y marcaje.

- **Mecanizado Zehatz:**

Descripción: esta ubicación hace mención a la parte de mecanizado de lo que antes era conocido como ZEHATZ. Se deben diferenciar los equipos que están ubicados en las máquinas concretas y los equipos que son compartidos. Estos últimos se localizarán en función del operario, en vez de la máquina.

- **Coordenadas:**

Descripción: a pesar de haber clasificado diferentes máquinas en esta sección, la cual también pertenece a ECT, se ha observado que todos los equipos disponibles son compartidos. Es decir, cada máquina no cuenta con ningún equipo propio.

- **Planeadoras:**

Descripción: esta ubicación está compuesta por seis planeadoras, algunas más recientes que otras. Además, como en situaciones anteriores, al estar todas las planeadoras situadas en un área muy reducida, cuentan con material de uso compartido.

- **Cilíndricas:**

Descripción: esta área cuenta con 6 rectificadoras, algunas más recientes que otras. Todas ellas están situadas en el mismo taller, por lo que se podrá observar que algunas tienen equipos de uso propio, pero otras como la RI01-3 y la RI01-4, no tienen equipos propios, por lo que hacen uso del material compartido. Además, en esta parte del taller también se podrá ubicar un armario y una cajonera compuesta por 8 cajones de uso común.

- **Electroerosión:**

Descripción: una vez más, se ubicará en esta sección equipos de control divididos por uso en máquinas específicas, en este caso máquinas de electroerosión, y equipos de uso compartido entre muchas de ellas.

- **Calidad Zehatz:** común.

Descripción: esta ubicación de calidad está situada junto al departamento de calidad de la empresa. Los equipos no tienen una ubicación determinada, por lo que simplemente se indicarán los equipos que se encuentran aquí, indicando en qué lugar han sido identificados.

4) EAE (Egile Aero Engines):

- **Electroerosión Forea:**

Descripción: Forea, responsable de fabricar piezas Aero, cuenta con cuatro máquinas de electroerosión por hilo, las cuales están situadas en el taller inferior, junto al resto de máquinas de dicho apartado de la empresa.

- **Línea de ataque Forea:**

Descripción: Como se ha comentado, esta parte de la empresa perteneciente a EAE, se centra en mecanizar piezas de Aero, las cuales tienen que pasar un tratamiento químico. Estas son las máquinas que forman esa línea de ataque para llevar a cabo el tratamiento.

- **Rectificado NGV:**

Descripción: El proyecto de NGVs es de gran importancia dentro de la división de Aero. La parte más laboriosa de dicho proyecto es el rectificado

de los perfiles de las piezas. Existen cuatro rectificadoras (Alzmetal GS1200) que llevan a cabo este proceso.

- **Electroerosión NGV:**

Descripción: dentro del taller aislado del proyecto de NGVs existen tres máquinas idénticas de electroerosión. Las tres están situadas en la misma zona y reciben las piezas después de haber pasado el proceso de rectificado. Estas máquinas tratan de hacer agujeros pasantes a los NGV mediante descargas eléctricas.

- **Línea líquidos NGV:** todo el proceso de inspección visual de las piezas.

Descripción: La verificación y calidad de las piezas de NGV se lleva a cabo mediante una inspección visual, que ocurre en esta ubicación del taller. Durante este proceso, una serie de líquidos fluorescentes se aplican por la pieza, dejando a la luz las porosidades y/o fallos en la pieza.

En el apartado de beneficios aportados a la empresa, se ha hablado de la clasificación de la maquinaria en base a su ubicación y división. Se debe destacar que dicha clasificación es conocida por los componentes de los equipos de trabajo de la empresa, pero hasta la fecha no estaba reflejada en ningún documento. Esta ha sido una de las primeras aportaciones organizativas realizadas exclusivamente durante el desarrollo del proyecto.

6.1.2- Inventario

Algunos de los centros de coste, están claramente vinculadas a una división, ya que sus máquinas mecanizan piezas para una sola división, la cual trabaja con clientes con necesidades concretas. En estos casos, los equipos ya están diferenciados por secciones, por lo que generar su trazabilidad no será complicado; los equipos trabajarán únicamente con las referencias con las que trabaje dicha máquina.

En cambio, como se podrá ver, otros centros de coste no están vinculados a ninguna división concreta, ya que se tratan de útiles de uso compartido entre diferentes centros de coste e incluso divisiones. Se refiere, por ejemplo, a las centenas de equipos almacenados en los armarios de taller 1, 2, 3 y 4. Estos cuatro armarios son compartidos entre las divisiones EAS (Egile Aero System) y EAT (Egile Aero Transmission), por lo que en la siguiente fase del proyecto se estudiará como generar la trazabilidad de estos equipos, vinculándolos con las diferentes referencias con las que trabajan.

“Estudio sobre la reducción y optimización de los equipos de medida en el sector aeronáutico”

La principal función del inventario es confirmar que los equipos registrados en el sistema se encuentran en Egile Mechanics. Para la realización del inventario se llevarán a cabo las siguientes tareas:

1. Confirmación de las pertenencias de los propios operarios relacionados con máquinas concretas y, por lo tanto, centros de coste.
2. Rastrear las ubicaciones de departamentos de calidad y los armarios de taller y cinemática.
3. Inspección de los almacenes de montaje y expedición.

Una vez conseguidos los resultados de dicho inventario, se han clasificado los equipos respecto los siguientes grupos:

1. OK: Ubicados correctamente, donde indica Calibrator.
2. Faltan: Equipos no localizados correctamente, donde indica Calibrator.
 - a) Encontrados en otra ubicación.
 - b) No encontrados en ninguna ubicación.
3. Nuevas: Encontrados en ubicaciones donde NO indica Calibrator.
 - a) Ausentes en la ubicación donde indica Calibrator.
 - b) Registrados como “Fuera de Uso”.

*Durante el proyecto se tomarán decisiones sobre estos equipos.

4. Proveedor: No son propiedad de Egile.
 - a) Equipos prestados por cliente, siguen en la empresa.
 - b) Equipos ya devueltos a proveedor, no siguen en la empresa.

EAS				
LOCALIZACION	C03	C05	C06-2	C07
MÁQUINA	SPINNER TM	CENTRO MORI-SEIKI	FMS KONDIA EROWA	CENTRO MATSUURA
EQUIPO	ME-1188	AL-63	LLD-1188	ME-0311
	ME-1189	AP-1144	LLD-1189	PR-1260
	PR-1251	LLD-1196	LLD-1203	RC-1306
	RC-1304 F.USO	LLD-1207	ME-1227	TR-1674
		ME-1067	PR-1133	TR-1687

Tabla 1. Ejemplo de inventario, por estado y ubicación

6.1.3- Recuento de equipos y conclusiones obtenidas por división

EAS (Egile Aero System):

EAS	Puestos de trabajo	Calidad	Armarios forea	SUMA
OK	335	266	31	632
Faltan	10	35	15	60
Nuevas	26	16	11	53
Proveedor	19	13		32
Total existentes (OK+Nuevas)	361	282	42	685

Gráfico 1. Recuento de equipos en la división EAS.

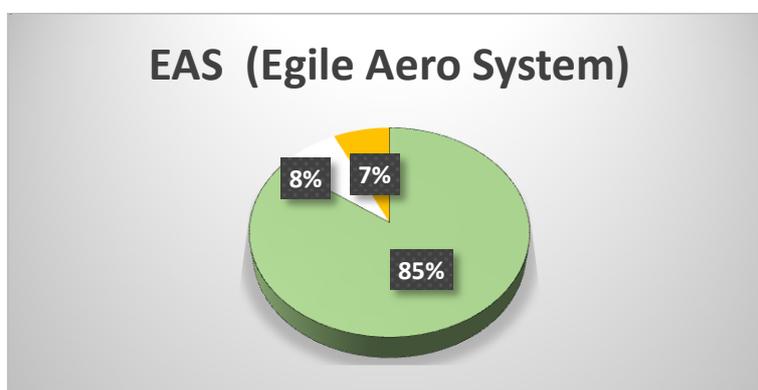


Tabla 2. Recuento de equipos en la división EAS.

Conclusiones de la situación inicial respecto a los equipos de control de la sección EAS:

- Los equipos ubicados en esta sección que a su vez aparecían registrados correctamente como localizables en la misma, suman un 85%.
- Los equipos que inicialmente aparecían registrados como localizables en esta sección pero que no se hallan en la misma, suman un 8%.
- Los equipos localizados en esta sección y que según el sistema pertenecen a otra o incluso están registrados como fuera de uso, suman un 7%.
- Se comprueba, como ya se intuía, que es la sección de la empresa que más equipos de control suma.
- Se debe destacar, que a estos se les sumará una cantidad elevada que están ubicados en los armarios de taller. Estos armarios contienen equipos de las divisiones EAS y EAT.
- Se observa que la gran mayoría de equipos se encuentran en su ubicación correcta, mientras que unos pocos no están localizados.
- Equipos **fuera de uso (12)**: RC-1304, RC-1536, RC-1508, RC-1302, RC-1536, PR-1186, PR-1112, AE-1194, TR-1770, NB-1, RC-1170 y MI-0011.

- Equipos **fuera de uso estanterías (4)**: TR-1287, TR-1065, TR-1064 y TR-1279.

EAT (Egile Aero Transmission):

EAT	Puestos de trabajo	Gleason	Studer/Kellennber	Cinemática	SUMA
OK	21	41	14	112	188
Faltan	2	7	2	6	17
Nuevas	3	9	6	7	25
Proveedor	0	0	0	20	20
Total existentes (OK+Nuevas)	24	50	13	119	213

Tabla 3. Recuento de equipos en la división EAT.

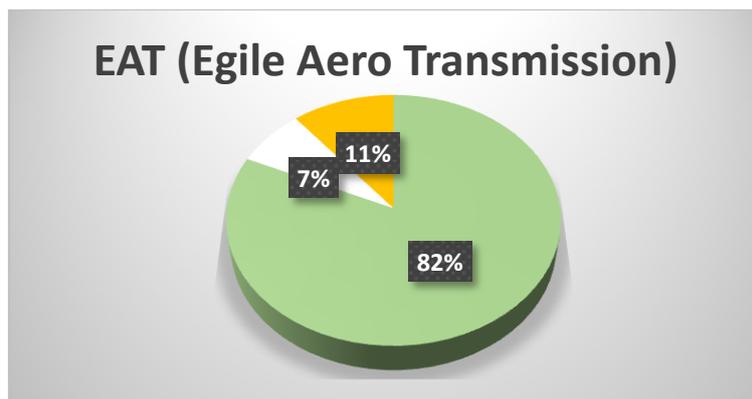


Gráfico 2. Recuento de equipos en la división EAT.

Conclusiones de la situación inicial respecto a los equipos de control de la sección EAT:

- Los equipos ubicados en esta sección que a su vez aparecían registrados correctamente como localizables en la misma, suman un 82%.
- Los equipos que ‘a priori’ aparecían registrados como localizables en esta sección pero que no se hallan en la misma, suman un 7%.
- Los equipos localizados en esta sección y que según el sistema pertenecen a otra o incluso están registrados como fuera de uso, suman un 11%.
- Como se ha mencionado, a estos equipos se deben sumar los equipos compartidos con EAS de armarios de taller.
- Se observa que poco más de la mitad de los equipos se sitúan donde se ubican en el sistema, mientras que muchos otros están ausentes o en ubicaciones diferentes a las registradas. Esto se debe a que la sección de Transmission tiene muchos equipos compartidos entre máquinas cercanas.

- En el armario de la zona Gleason, se ubicarán dos equipos que en el sistema salen registrados como “en fabricación”.
- Equipos **fuera de uso (4)**: RC-1304, AR-1206, TE-1239 y RC-1560.

Armarios taller (1, 2, 3 y 4):

	Armarios taller
OK	948
Faltan	52
Nuevas	45
Proveedor	25
Total existentes (OK+Nuevas)	993

Tabla 4. Recuento de equipos en los armarios de taller.



Gráfico 3. Recuento de equipos en los armarios de taller.

Conclusiones de la situación inicial respecto a los equipos de control de los armarios de taller:

- Esta gestión es básicamente el núcleo del proyecto, ya que en estos armarios se encuentra una cantidad muy elevada de los equipos con los cuales se tomarán decisiones a la hora de redistribuir el material.
- Un 91% de los equipos se encuentra dónde está registrado, en su ubicación correcta.
- Un 5% de los equipos que se deberían encontrar aquí no están localizados.
- Solo un 4% de los equipos que forman esta ubicación se han localizado aquí, cuando no debería ser así.
- Recordar que este recuento no pertenece a una división concreta, sino que sus equipos serán repartidos entre EAS y EAT, dependiendo de las necesidades de producción de cada uno de ellos.

“Estudio sobre la reducción y optimización de los equipos de medida en el sector aeronáutico”

- Equipos **fuera de uso ARMARIOS (12)**: AR-1571, UVER-1239, UVER-1297, UVER-1061, UVER-950, UVER-1354, UVER-276, UVER-446, RC-1496, AR-1295, AR-1209 Y AE-1280.

ECT (Egile CanTooling):

ECT	Puestos de trabajo	Mecanizado o ZEHATZ	Coordenadas	Planeadora	Cilíndricas	Electroerosión	Calidad ZEHATZ	SUMA
OK	19	35	25	35	97	13	36	260
Faltan	2	6	8	5	19	5	3	48
Nuevas	2	2	23	2	11	4	5	49
Proveedor	0	0	0		0	0	0	0
Total existentes (OK+Nuevas)	21	37	48	37	108	17	41	309

Tabla 5. Recuento de equipos en la división ECT.

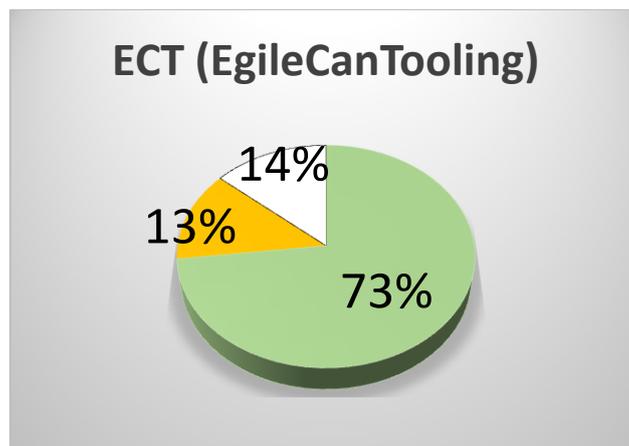


Gráfico 4. Recuento de equipos en la división ECT.

Conclusiones de la situación inicial respecto a los equipos de control de la sección ECT:

- Los equipos ubicados en esta sección que a su vez aparecían registrados correctamente como localizables en la misma, suman un 73%.
- Los equipos que inicialmente aparecían registrados como localizables en esta sección pero que no se hallan en la misma, suman un 14%.
- Los equipos localizados en esta sección y que según el sistema pertenecen a otra o incluso están registrados como fuera de uso, suman un 13%.
- Los datos son similares a los de la sección anterior; poco más de la mitad de los equipos registrados en el sistema en esta ubicación se sitúan realmente aquí.

En cambio, más equipos se encuentran aquí cuando deberían estar en otras ubicaciones y menos equipos están ausentes.

- Se puede asumir que ocurre algo similar que en la sección EAT, en la cual muchos de los equipos son compartidos entre máquinas cercanas y operarios.
- Equipos **fuera de uso (10)**: RC-0004, RC-1307, PR-0034, RC-1488, ME-0049, PR-0030, RC-0049, RC-0047, RC-1432 y RC-1330.

EAE (Egile Aero Engines):

EAS	Electroerosión FOREA	Línea de ataque FOREA	Electroerosión NGV	Rectificado NGV	Líquidos NGV	SUMA
OK	2	45	21	35	56	159
Faltan	0	2	0	3	1	6
Nuevas	1	0	0	1	0	2
Proveedor	0	0	0	0	0	0
Total existentes (OK+Nuevas)	3	45	21	36	56	161

Tabla 6. Recuento de equipos en la división EAE

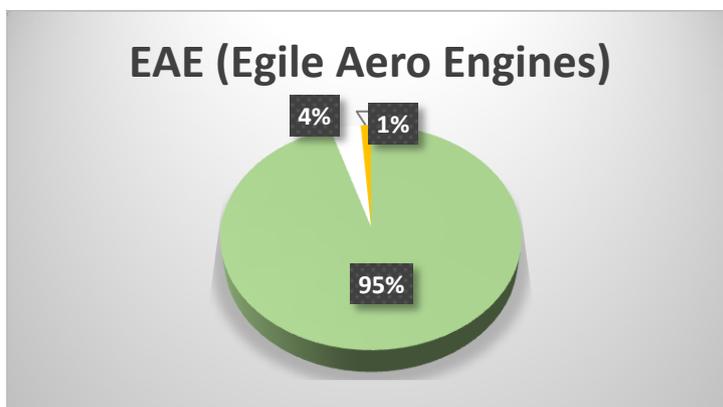


Gráfico 5. Recuento de equipos en la división EAE.

Conclusiones de la situación inicial respecto a los equipos de control de la sección EEP:

- La gran mayoría de los equipos ubicados en esta sección, aparecían registrados correctamente como localizables en la misma, y suman un 95%.
- Los equipos que inicialmente aparecían registrados como localizables en esta sección pero que no se hallan en la misma, suman un 4%.
- Los equipos localizados en esta sección y que según el sistema pertenecen a otra o incluso están registrados como fuera de uso, suman solo un 1%.

- Esta sección de la empresa ocupa un lugar apartado del resto de talleres, por lo que lo que tienen en sus dominios lo tienen bastante controlado. Se observa que no cuenta con muchos equipos y que muchos de ellos se utilizan ahí específicamente, por ejemplo, los equipos de las líneas de líquidos y lacado. Su foto inicial es muy positiva; la gran mayoría se ubica correctamente en esta sección.
- No existen equipos en esta división que estén fuera de uso.

EEP (Egile Extreme Pression):

EAS	UP01	G02-05	SUMA
OK	15	2	17
Faltan	1	0	1
Nuevas	1	1	2
Proveedor	0	0	0
Total existentes (OK+Nuevas)	16	3	19

Tabla 7. Recuento de equipos en la división EEP.

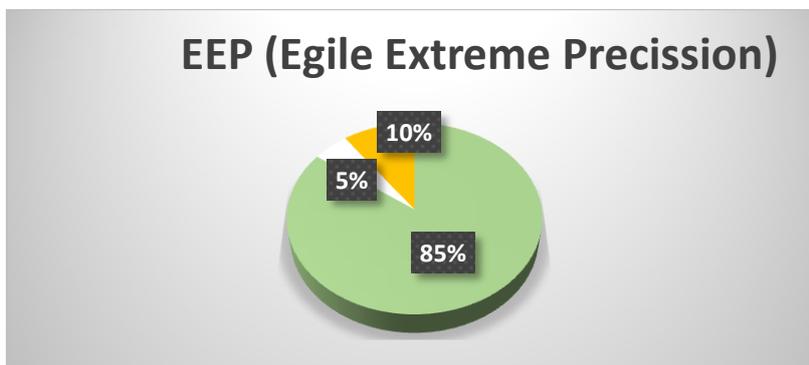


Gráfico 6. Recuento de equipos en la división EEP.

Conclusiones de la situación inicial respecto a los equipos de control de la sección

EEP:

- Los equipos ubicados en esta sección que a su vez aparecían registrados correctamente como localizables en la misma, suman un 85%.
- Los equipos que inicialmente aparecían registrados como localizables en esta sección pero que no se hallan en la misma, suman un 5%.
- Los equipos localizados en esta sección y que según el sistema pertenecen a otra o incluso están registrados como fuera de uso, suman un 10%.
- Esta sección de la empresa ocupa un lugar muy reducido y concreto. Cuenta con muy pocos equipos y que su foto inicial es muy similar a las anteriores; aproximadamente la mitad se ubica correctamente en esta sección.
- No hay equipos que se encuentren en fuera de uso.

6.1.4- Elementos nos registrados en el sistema

Durante el proceso del inventario se han clasificado equipos que no aparecen en el volcado realizado desde Calibrator, lo cual quiere decir que están registrados como FUERA DE USO. Estos equipos están dados de baja por diferentes razones:

- 1- Debido a que en anteriores situaciones **no se localizaron**.
 - 2- Debido a que **no estén en condiciones** de realizar sus funciones con exactitud.
 - 3- Debido a que estén **fuera de calibración** (lo cual está relacionado con el anterior caso).
- Los dos últimos puntos, pueden deberse a que sean equipos de uso personal de los diferentes operarios. Por ejemplo: que tengan un Calibre Pie de Rey, el cual está registrado como fuera de uso, pero que un operario concreto lo utilice para medir el diámetro de un tampón roscado. Esta medida no tiene por qué ser muy precisa, ya que los diámetros están normalizados y una medida aproximada sirve como orientación.

6.1.5- Foto global de la situación inicial

A continuación, se analizará la situación con la que se partirá. Se podrá valorar si las suposiciones previas al proyecto eran correctas o no.

SUMA DE EQUIPOS TOTAL (LOCALIZADOS+NO LOCALIZADOS)	TOTAL
1. ENVIADOS A PROVEEDOR	83
2. OK - CORRECTAMENTE UBICADAS	2258
3. FALTAN - NO SE LOCALIZAN EN SU UBICACIÓN	184
3.1. DE LAS CUALES ENCONTRADOS EN OTRA UBICACIÓN	70
3.2. DE LAS CUALES SIGUEN SIN ENCONTRARSE	114
4. NUEVAS - EN UBICACIÓN INCORRECTA	176
5. DE LAS CUALES F.USO	42
TOTAL	2659

Tabla 8. Resumen de la situación inicial global.

Los equipos que están registrados en el sistema, pero a su vez están enviados a su proveedor, suman un total de 83 equipos. Este grupo estará formado por instrumentos

de control que se hayan enviado a su proveedor por diferentes motivos, como: propiedad de proveedor, propiedad de Egile pero se cede a proveedor, etc.

En segundo lugar, se observa que la cantidad más abundante está formada por el grupo de equipos correctamente ubicados, sumando un total de 2258 equipos de medida. Estos equipos forman un 86% de la suma total de equipos, por lo que se aproxima mucho a la predicción inicial de 80% e incluso la mejora.

Se identifica un nuevo grupo de equipos, los instrumentos de control que están ausentes, sumando 184 equipos. A este grupo se le debe restar los equipos que finalmente se encontraron fuera de su posición, obteniendo como resultado 114 equipos ausentes. Este grupo forma un 4% de los equipos totales, siendo ligeramente superior que la estimación inicial realizada 3%.

Por último, cabe destacar que hemos diferenciado un nuevo grupo de instrumentos con el que no se contaba en el inicio del proyecto. Se trata de todos aquellos que se han localizado en ubicaciones diferentes a la registrada en Calibrator. Este grupo suma un total de 176 equipos y forma el 7% de los equipos totales.

Se han trazado un total de 2659 equipos. Teniendo en cuenta que en el sistema existen registros de 3226 equipos de medida y que se han encontrado con 42 instrumentos, los cuales no aparecen en el sistema ya que están registrados como fuera de uso, se comprueba que existen 609 equipos sin trazar.

$$3226 - 2659 + 42 = 609$$

Estos equipos se deben a que se han dejado una serie de ubicaciones sin rastrear, ya que se tratan de equipos controlados, como es el caso del material que se ubica en las oficinas de ingeniería, o equipos situados en cartonera. Esta última ubicación se trata de un espacio reservado a aquellos equipos a los cuales se les ha alargado el periodo de calibraciones en varias ocasiones por no haberse usado, por lo que se intuye que son equipos no utilizados en el proceso de industrialización. A pesar de tener control sobre estos equipos, posteriormente se decidirán las decisiones a tomar respecto esta gran cantidad de códigos.

6.2- Fase 2. Trazabilidad entre equipos de control y referencias

6.2.1- Descripción del procedimiento

Esta es una de las partes más laboriosas del proyecto, ya que como se ha mencionado anteriormente, muchos equipos son de uso compartido entre divisiones, lo cual supondrá un problema en el futuro, cuando las divisiones EAT y ECT se muevan a Itziar.

La fase dos consiste en generar la trazabilidad de cada equipo. Es decir, identificar para qué cotas y, sobre todo, para qué piezas se utiliza cada equipo de control. Dependiendo de la cantidad de equipos que compartan unas mismas características y

la cantidad de referencias con las que esté vinculado cada uno de ellos, posteriormente se realizará una toma de decisiones.

La tarea se centrará en los armarios de taller; ARMARIO TALLER-1, ARMARIO TALLER-2, ARMARIO TALLER-3 y ARMARIO TALLER-4. Estos armarios contienen equipos compartidos entre las dos divisiones Aero principales, por lo que supondrá identificar claramente que equipo corresponde a cada división.

Los equipos están distribuidos por los cuatro armarios, en función de la familia a la que pertenecen.

- Armario taller-1: Anillo estriado (AE-XXXX), anillo roscado (AR-XXXX), anillo liso (AL-XXXX).
- Armario taller-2: Micrómetro exterior (ME-XXXX), micrómetro interior (MI-XXXX).
- Armario taller-3: Micrómetro exterior (ME-XXXX), útiles de verificación (UVER-XXXX), Alexómetro (AL-XXXX).
- Armario taller-4: Tampón estriado (TE-XXXX), tampón roscado (TR-XXXX), tampón liso (TL-XXXX), Interapid (IN-XXXX).

Después de los armarios de taller, el proyecto se centrará en el armario que pertenece a la subsección de cinemática. Pese que ya se conoce que este armario pertenece a la división de EAT (Egile Aero Transmission), al tratarse de un armario compartido, el material es compartido entre varias máquinas de dicha división. En concreto, los equipos de control situado en esta ubicación pueden ser utilizados entre: las máquinas Gleason (275G, P400G y GP300), la Studer RE02-2 y la Kellenber RE02.

El proceso para generar la trazabilidad de cada equipo es el siguiente:

Como ya se ha mencionado, Calibrator facilita una serie de información a la hora de identificar el producto, por ejemplo; el rango de trabajo, la métrica de una rosca, el diámetro de un tampón, las características de un PASA /NO PASA, etc.

Además, se cuenta con una tabla en la que están registradas las referencias vinculadas a todos los quipos de control, pero sin ningún tipo de orden. En dicha tabla, al lado del número de referencia, aparece la denominación de cada útil. Esta será de gran apoyo para poder relacionar las referencias y los equipos. La compañía registra todos los datos en varias fuentes informáticas. Estas bases de datos son la siguientes: PAC, Consultar PDF y Team Center.

Para hacer el reparto de referencias por cada equipo al completo se deberá hacer uso de todas esas bases de datos. Es decir; la empresa evoluciona, por lo que los soportes informáticos internos diseñados para clasificar todos los datos de la empresa han ido

“Estudio sobre la reducción y optimización de los equipos de medida en el sector aeronáutico”

quedándose obsoletos. A medida que se han necesitado bases con mayor potencial, la empresa ha evolucionado. Por ello, hoy en día existen referencias registradas en ambas bases de datos. Con fin de simplificar la tarea, el proyecto se centrará en las referencias registradas en una única base de datos denominada PAC. Esta fuente de datos es la más antigua, por lo que facilitará la limpieza de todos esos equipos que solo tengan vinculaciones a referencias muy antiguas y que en algún caso puedan estar fuera de fabricación.

Se debe tener en cuenta que solo se hará la vinculación de una parte de los equipos, los que se supone que mayor optimización podrían aportar. La optimización se basa en obtener el mayor rendimiento al menor coste, es decir, mejores resultados con un

COD_M_INSTRUMENTRO_CONTROL_CAL	REF_PIEZA	COD_RUTA	NUM_OPERACION
HOMMELWERKE	0265100240	DR01910D	290
	0283100340	DR01926C	210
(MP-401) MICROMETRO DE PUNTAS ESPECIALES 0-25	98.A.003.30	DR00019D	40
			60
(MP-401) MICROMETRO DE PUNTAS ESPECIALES 0-25MM	D0080261-001	DR01155D	172
	D0080271-003	DR01590B	40

Tabla 9. Referencia/denominación.

menos coste. Dicho coste puede ser tanto económico como de esfuerzo. Por ello, se ha decidido vincular solo las referencias del PAC, ya que el resto de las bases no podían aportar dicha información de una manera ágil y eficiente. Más adelante hablaremos, como proyecto futuro, de las posibilidades a cerca de agilizar toda la información e incluso automatizarla.

6.2.2- Resultado final de la vinculación

Se cuenta con dos tablas; por un lado, la que clasifica cada equipo en función de su ubicación, y por otro, la que relaciona cada descripción de equipos con sus referencias. Solo queda relacionar ambas tablas y crear una en la que sea posible localizar equipos concretos ubicados en los diferentes armarios, los cuales son compartidos entre divisiones, y las referencias a las que se vinculan.

A continuación, se muestra tabla que se ha seguido para realizar la vinculación de cada equipo con las referencias con las que trabaja. Como se puede observar es una tarea muy laboriosa y poco sistematizada. Este es uno de los aspectos que destacaremos en las propuestas a futuro de este proyecto.

ARMARIO TALLER-1 ANILLO ESTRIADO Y ANILLO ROSCADO						
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CLIENTE	DIVISIÓN	REFERENCIA PIEZA	CÓDIGO DE RUTA	NÚMERO DE OPERACIÓN
AE-1257	AE 17x12x1.25 (Glissant) ST0602 P	SAFRAN POWER UNITS	EAT	308127540		
AE-1258	AE 17x12x1.25 (Glissant) ST0602 NP	SAFRAN POWER UNITS	EAT	308127540		
AE-1179	ANILLO ESTRIADO 14Z x 0.5m x 30P x 5d S/ST2514	SAFRAN HELICOPTER ENGINES	EAT	292912180	DR02045E	120
		SAFRAN HELICOPTER ENGINES	EAT			520
AE-1180	ANILLO ESTRIADO 15ZX0.5mX30PX5d S/ST2514	SAFRAN HELICOPTER ENGINES	EAT	0292900480	DR02097D	190
		SAFRAN HELICOPTER ENGINES	EAT	0292912180	DR02045E	130
		SAFRAN HELICOPTER ENGINES	EAT			520
				0292912190 (IC)	DR02151A	137
						180

Tabla 10. Vinculación código/referencia

Como en todo proceso de fabricación, cada pieza fabricada tiene un número de identificación. Depende del tipo de pieza, del cliente y de sus características, las piezas se fabrican en lotes formados por cantidades de piezas. El **número de referencia** no es más que el número con el que cada cliente llama a las diferentes piezas para las cuales cuenta con Egile Mechanics. Estos, no corresponden a cada una de las piezas de un mismo lote por separado. Es decir, todas las piezas pertenecientes a un mismo lote e incluso a un mismo plano de fabricación corresponderán al mismo número de referencia.

Como se podrá observar en la tabla anterior, tenemos información más allá del número de referencia de la pieza. El **código de ruta** hace referencia a la metodología de mecanizado que sigue el operario. Si se decide hacer algún cambio notable de dicha metodología, se deberá indicar dicho cambio cambiando el código de ruta, concretamente la última letra del código.

Por último, el **número de operación**. Este número hace referencia a la operación que se está realizando. Comúnmente, cada pieza será trabajada en más de una operación, por lo que es muy probable que para una misma pieza e incluso un mismo código de ruta existan varios números de operación. En cada número de operación, localizable en la ficha de fabricación de toda pieza, se identifican todo tipo de instrumentos utilizados para su producción, tanto utillajes como equipos de control. La base con la que se trabaja vuelca todos los equipos encontrados en estas fichas de fabricación, rellenas por cada operario.

Se recuerda que no se vincularán todas las referencias existentes, solo las archivadas en la base de datos PAC.

6.2.3- Asignación de referencias a cada división

Hecha la asignación anterior, quedará saber a qué división pertenece cada referencia, para poder asignar una división a dichos equipos compartidos. Para ello, será necesaria información externa. Esta información se obtendrá gracias al departamento de Ingeniería, el cual vinculará el número de referencia con la Unidad a la que pertenece.

Una vez que, por su descripción, los equipos ya están asignados a las referencias con las que es posible que trabajen, se debe acceder al cartel de compras y relacionar cada referencia a su cliente.

Como ya se ha mencionado, las referencias son el número con el que los clientes llaman a las piezas que se van a producir, es decir, el producto final de cada cliente. Por ello, cada referencia estará vinculada a un cliente concreto. De hecho, dependiendo del cliente al que pertenezcan las referencias siguen un patrón en su denominación, agilizando de esta manera la vinculación de cada una de ellas.

“Estudio sobre la reducción y optimización de los equipos de medida en el sector aeronáutico”

Por último, como se ha explicado en la introducción al proyecto, las divisiones de la compañía fueron creadas para poder responder de una manera organizada a las necesidades de cada cliente. Por lo tanto, cada cliente está asociado a una división, no pudiendo ser compartida por otras. De esta manera se podrá realizar la tarea, vinculando cada equipo a la división a la que pertenece.

Además, se podrán identificar aquellos equipos que trabajen para referencias de ambas divisiones. En estos casos se deberá valorar el porcentaje de uso de cada una de ellas y vincularlas a una solo, analizando, en cualquier caso, las necesidades de compra para poder llevar a cabo el control en la otra división.

6.3- Asignación de equipos a piezas, en función de las necesidades. Análisis MSA

6.3.1- Measurement System Analysis

Propósito:

Determinar la aptitud de un sistema de medición. Los casos trabajados, se basarán en dicho sistema para analizar el alcance de la calidad de las piezas que se están fabricando. A continuación, se profundizará en el tema e incluso se analizarán varios casos prácticos.

Este procedimiento será aplicable en los procesos de industrialización de productos del sector aeronáutico.

Las divisiones de Egile Mechanics donde aplica este documento son EAE, EAT y EAS.

Definiciones (Estudio MSA, 2019):

- MSA: Análisis de los sistemas de medición para determinar las variables que intervienen en la incertidumbre, repetividad y reproducibilidad durante el proceso de medición. Es un estudio esencial para conocer la aptitud del sistema de medida empleado en el Plan de Control.
Un sistema de medida es la combinación de personal, materiales, métodos, entorno, análisis y decisión realizados en el resultado medido. Todo sistema de medida tiene una incertidumbre debido a la variación de estos factores. El MSA es el método para identificar el grado de incertidumbre del sistema completo, para poder determinar si el método de medida es adecuado para el uso. Controlando este factor podremos asegurar la exactitud y la repetibilidad de las medidas (Estudio MSA, 2019).

- Medición: Asignación de valores a objetos (piezas mecanizadas en este caso) para representar la relación entre ellos con respecto a cierta propiedad en particular.
- Característica crítica (KC): aquellas características que tienen un impacto significativo en la producción, montaje y servicio del producto.
- Production Part Approval Process (PPAP): aprobación del proceso de producción de la pieza.
- Statistic Process Control (SPC): Control estadístico de proceso.
- Failure Mode Analysis and Effects (FMEA): Análisis modal de fallos y efectos.
- Gauge R&R: Estudio para determinar la variabilidad introducida en el Sistema de medida por combinaciones de variaciones del equipo y del sistema. Se estudia la reproducibilidad y la repetibilidad, ambos conceptos explicados a continuación.
- Plan de control: Documento en el que se detallan las etapas productivas y las actividades de inspección.
- Estándar:
 1. Base aceptada para la comparación.
 2. Criterio de aceptación.
 3. Valor de referencia.
 4. Valor conocido aceptado como valor verdadero, bajo límites de incertidumbre establecidos.
- Variable: valor que puede cambiar, por lo tanto, no es fijo. Los datos variables o continuos pueden tomar cualquier valor dentro de un intervalo finito o infinito, dependiendo de la resolución del sistema de medición utilizado para capturar este valor.
- Resolución: La unidad más pequeña legible. La escala más pequeña del instrumento.
- Atributo: Una medida cualitativa de una propiedad que es de nuestro interés. Esta matriz puede ser binaria (pasa/no pasa, buena/mala, etc) u ordinal si el valor se puede clasificar (bajo/medio/alto)

- Cota crítica (Critical Feature): Aquellas características de un producto que si fueran NO-conformes, puede resultar en condiciones peligrosas o inseguras para el personal o que pueda afectar seriamente la calidad de la operación o la función del producto.
- Cota mayor (Major Feature): aquellas características de un producto que si fueran NO-conformes pueden resultar en un fallo operacional o funcional, o que reducen la capacidad de uso o la durabilidad del producto para su propósito.
- Cota menor (Minor Feature): aquellas características de un producto que si fueran NO-conformes no reduzca materialmente la facilidad de uso o la durabilidad del producto.
- Valor referencia: Valor aceptado de un instrumento.
- Valor verdadero: Es desconocido y no se puede conocer.
- Exactitud: Cercanía a un valor de referencia aceptado.
- Incertidumbre: Duda acerca de la veracidad del resultado, una vez que se hayan analizado todas las posibles fuentes de error y que se hayan realizado las correcciones necesarias. Que no exista error no quiere decir que no exista incertidumbre.
- Bias: Diferencia entre el promedio de mediciones analizado y el valor de referencia admitido. Es un componente del error sistemático del sistema analizado.
- Estabilidad. Cambio de Bias a través del tiempo.
- Precisión: Cercanía entre lecturas repetidas.
- Repetibilidad: Variación en las mediciones obtenidas por un mismo medidor, usando un mismo instrumento de control y midiendo la misma característica en la misma pieza.
- Reproducibilidad: Variación en el promedio de mediciones hechas por diferentes evaluadores, usando el mismo instrumento y midiendo la misma característica de la misma pieza. El error puede provenir del evaluador, del medio ambiente o del método.

- Sensibilidad: La entrada más pequeña que resulta en una señal de salida detectable. Respuesta del sistema de medición a los cambios en la característica medida.
- Uniformidad: Cambio de la repetibilidad sobre el rango normal de operación. Homogeneidad de la repetibilidad.

Requisitos:

Organización:

Este procedimiento es aplicable en todas las divisiones Aero de la empresa, es decir; EAS, EAT y EAE. En todas ellas habrá que definir los siguientes puestos para la aplicación del procedimiento (Egile, 2019):

- Coordinador MSA: Responsable de supervisar el correcto procedimiento.
- Líder MSA: Responsable de la planificación, seguimiento y análisis del estudio.
- Inspector: Personal encargado de hacer las mediciones dentro del estudio MSA.

Ámbito de aplicación:

El MSA se debe realizar en el proceso PPAP para confirmar la validez de los procesos de medida, antes de ser empleados en los procesos de producción. Situaciones en las cuales este proceso debe repetirse:

1. Cambios de diseño en el instrumento de medida.
2. Cambios de requisito de plano en característica requerida.

Cotas aplicables:

Las cotas para las cuales se deberá aplicar el estudio MSA se deben acordar con el cliente durante el PPAP. Como norma general:

- KC (Características críticas); aplica MSA
- Resto de cotas: No aplica MSA, excepto si lo pide el cliente.

Descripción del proceso:

El proceso está formado por tres partes claramente identificadas:

1. Planificación
2. Ejecución
3. Análisis de los resultados

* En este último punto, es recomendable hacer uso de algún Software estadístico para planificar y analizar los resultados obtenidos. En este caso, se hará uso de MINITAB.

Planificación:

En función del tipo de medidas a analizar se seleccionará el tipo de análisis. Estas medidas podrán ser variables o atributos.

Mediante el Software MINITAB, se obtendrá una matriz que nos indique la cantidad de mediciones a realizar y los parámetros a utilizar en cada una de ellas.

El sistema de medida será completamente evaluado para identificar cualquier elemento que pueda provocar alteraciones en la variabilidad e introducir estos factores en el estudio.

Factores que evaluar:

- Entorno: temperatura, humedad, contaminación, vibraciones, radicación, etc.
- Localización: misma línea, mismo edificio y misma planta.
- Variaciones en la pieza que puedan afectar la medida: rugosidad, forma, tamaño, etc.
- Personal: turno y nivel de experiencia.
- Proceso: Utillajes y accesorios.

Ejecución del estudio:

Una vez creada la matriz de las mediciones que se van a realizar, se deberá seguir el orden de mediciones según lo planificado y siguiendo los siguientes requisitos (Egile, 2019):

- Los instrumentos de control deben estar calibrados y tener trazabilidad con un patrón nacional o internacional.
- Se deben utilizar piezas de producción para realizar el estudio, cubriendo el rango completo de tolerancia. El uso de piezas con desviaciones menores (fuera de límites) es beneficioso para el estudio.
- Las piezas deben estar limpias y sin rebabas, en estado de la producción.
- Los inspectores involucrados en el método, además de estar cualificados para ello, deben ser representativos de los usuarios del método.
- El entorno donde se lleve a cabo el MSA debe ser representativo del entorno de producción.
- El método de medida debe ser representativo de producción (alineamiento, utillajes, amarre, etc).
- La pieza debe ser removida y cargada de nuevo entre cada medición del análisis.
- Importante: Durante la realización de las mediciones del estudio, el personal no debe tener en ningún caso visibilidad ni contacto con los resultados previamente obtenidos.

Análisis de los resultados:

Una vez terminadas todas las mediciones y obtenidos los resultados de la matriz, se debe analizar los resultados. Esta parte es una de las más importantes del proceso, ya que de estas conclusiones se dará el veredicto y se considerará válido el análisis.

Durante esta etapa, también se registrarán los datos del equipo utilizado, así como; la familia, la resolución de este, etc.

De cara a analizar la validez del sistema de medida en el proceso PPAP, el estudio se centrará en evaluar la capacidad de “diferenciar piezas aceptables de las defectuosas”, analizando la variación del sistema de medida respecto la tolerancia de plano.

Como resultado se obtendrá un valor para el estudio R&R, estudio de reproducibilidad y repetibilidad. Este valor será un número generalmente menor que 1. Es decir, $R\&R \leq 1$. Para la posterior evaluación, se calculará el resultado del estudio en función del porcentaje de tolerancia admisible, siguiendo la siguiente fórmula:

$$\text{Resultado del estudio MSA} = \frac{R\&R}{T} \cdot 100$$

Fórmula 1. Resultado del estudio MSA

Siendo:

- R&R: el valor numérico del resultado MSA
- Tolerancia admisible

Recordar que en el próximo estudio MSA se obtendrán los resultados mediante un programa estadístico, por lo que el resultado que indique ya estará calculado respecto el porcentaje de tolerancia en cada cota analizada. No será necesario hacer uso de la fórmula indicada anteriormente.

Los resultados se interpretarán basándose en la norma AS13003, Measurement Systems Analysis Requirements for the Aero Engine Supply Chain, resumida en la siguiente tabla:

Método	Categoría de cota			Comentarios
	Crítica	Mayor	Menor	
Resolución	$\leq 10\%$ de tolerancia total			Basado en tolerancia total
Ratio de precisión	10:1		4:1	Valore mayores de 4:1, aceptables en base a cliente

Error de precisión	$\leq 10\%$ de tolerancia total			Puede variar en base a cliente
Repetibilidad	$\leq 10\%$ de tolerancia total	$\leq 20\%$ de tolerancia total	$\leq 30\%$ de tolerancia total	Puede variar en base a cliente
Gauge R&R	$\leq 10\%$ de tolerancia total	$\leq 20\%$ de tolerancia total	$\leq 30\%$ de tolerancia total	Puede variar en base a cliente
Correlación del sistema de mediciones por ordenador	$\leq 10\%$ de tolerancia total			Puede variar en base a cliente
Linealidad	$\leq 10\%$ de tolerancia total		-	
Estudio atributos pasa/No pasa	$Kappa \geq 0.8$		-	Válido para interpretación del operador
Estudio atributos: ordinal	$ICC \geq 0.75$		-	Válido para interpretación del operador

Tabla 11. Criterios de aceptación mínimos según norma AS13003.

La norma AS13003 refleja los criterios y requisitos mínimos para la aceptación de los resultados del análisis MSA, para la fabricación de piezas en el sector de la aeronáutica.

La clasificación de cotas (Crítico, mayor o menor), se reflejará siempre en el plano del cliente. En el caso práctico se estudiarán todas estas variables.

Finalmente, el soporte informático MINITAB, facilitará la dispersión de las medidas obtenidas, en base a todos los parámetros analizados en el estudio. Esta información es muy útil para mejorar el sistema de medida, en caso de que el resultado no sea positivo (Minitab, 2019).

*Estudios cruzados:

En casos concretos se puede usar el siguiente método: “Read Across”. Este no es más que realizar el estudio en base a otros previos similares, en vez de ejecutar un nuevo MSA completo. La aceptación del “Read Across” se debe documentar y debe estar siempre probada por el cliente (Egile, 2019).

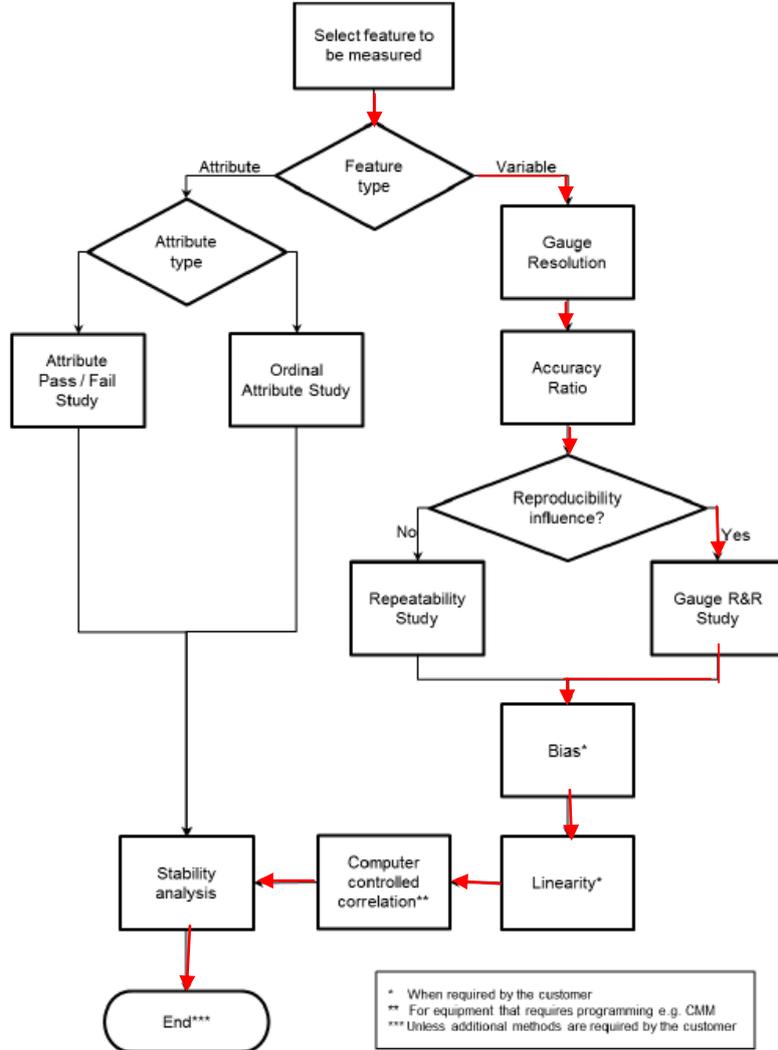
6.3.2- Estudio realizado

A continuación, se llevará a cabo el estudio de dos referencias mecanizadas en Egile Mechanics, S.L. Se hará un análisis independiente en cada referencia, analizando dos cotas diferentes en cada una de ellas. Es decir, como resultado se obtendrán cuatro valores independientes, con sus respectivas gráficas y valoraciones.

Por último, se analizarán los resultados obtenidos y se determinará en cada caso si el sistema de mediciones es correcto. Como se ha mencionado anteriormente, los planos

de las piezas con las que se llevarán a cabo los estudios MSA son propiedad de ambos clientes, es decir, completamente ajenos al desarrollo de este proyecto.

Para los cuatro estudios MSA que se van a llevar a cabo este será el diagrama que se seguirá a la hora de diseñar el proceso, diseñado por la norma AS13003 (Egile, 2019):



En la tabla 12 se mostrará, de forma resumida, las características de los cuatro estudios MSA que se llevarán a cabo.

PIEZA	MEDICIÓN	VALOR NOMINAL (mm)	ELEMENTO DE CONTROL
1-Pieza Safran Helicopter Engines	Medición 1 (a) = P40.10	24.075 ± 0.05	Mesa de Alturas
	Medición 2 (b) = P40.7	7.3 ± 0.04	Calibre Analógico
2-Pieza CESA	Medición 1 (c) = diámetro	25.17 ^{-0.020} _{-0.041}	Micrómetro de Exteriores
	Medición 2 (d) = largura	89.6 ± 0.1	Calibre Digital

Tabla 12. Clasificación de los estudios realizados.

1- Pieza de SAFRAN helicopter engines (EAT)

La primera pieza la cual se va a estudiar es una pieza del cliente SAFRAN Helicopter Engines, del cual se encarga la división EAT (Egile Aero Transmission). Esta pieza, forma parte de la transmisión del motor de los helicópteros SAFRAN.

Información adicional de la pieza:

- Orden de fabricación (OF): 130305
- Referencia: 0292117260
- Código de ruta: DR02244A
- Denominación: Flasque prise de mouvement

Como se puede prever, se trata de una pieza muy precisa, de tolerancias inferiores a ± 0.05 mm. En el ANEXO 4 se muestra el plano correspondiente a dicha pieza.

Las cotas en las cuales se van a realizar las mediciones son las siguientes: P40.10, el cual tiene un valor nominal de 24.075 ± 0.05 mm, y la cota P40.7, la cual tiene un valor nominal de 7.3 ± 0.04 mm. Todas las cotas se pueden observar en el plano de la pieza del ANEXO 4.

En las cotas que se van a analizar, se observa que en la nomenclatura contienen la letra P. Esto quiere decir que la pieza está en proceso de fabricación y que no está completamente terminada. Se podría realizar una predicción inicial negativa, ya que la pieza no está en su estado final.

a) Medición 1:

La primera serie de mediciones se hará mediante la columna de alturas: MA-66, la cual se muestra en la siguiente imagen.



Imagen 1. Columna de alturas, MA-66

Dicha columna, está situada en el departamento de calidad y tiene las siguientes características (Hoffmann, 2019) (Unceta, 2019):

Dimensiones (mm)	Resolución (mm)	Próxima Calibración	Estado: OK/NO OK
0-600	0.0001	01/09/2020	OK

Tabla 13. Características de MA-66

Como se ha mencionado anteriormente, la cota con la que se trabajará en este primer análisis es la P40.10, el cual tiene un valor nominal de 24.075 ± 0.05 mm. Se trata de la distancia del comienzo de la pieza hasta el siguiente cambio de diámetro interno.

Se elegirán 10 piezas teóricamente iguales, 3 operarios realizarán las mediciones y repetirán cada medición en cada pieza 3 veces. Todas ellas suman un total de 90 mediciones en dicha cota. Estas mediciones se llevarán a cabo en un orden aleatorio, el cual indicará automáticamente el programa de estadística MINITAB.

Los inspectores para realizar la primera serie de mediciones son los siguientes: 1- Asier, 2- Ane, 3- Imanol. Todos ellos pertenecen al mismo turno de trabajo, medirán bajo las mismas condiciones y con el mismo instrumento de medida, en este caso la mesa de alturas MA-66. Las piezas se deben identificar con claridad, como se observa en la siguiente imagen. La identificación permanente de las piezas es necesaria para que durante todo el proceso las piezas sean identificables.

Como se ha mencionado, MINITAB es quien indicará en qué orden se deben medir las piezas. En el ANEXO 6 se muestra el orden en el que se han llevado a cabo las mediciones, así como el valor de cada una de ellas.



Imagen 2. Piezas SAFRAN preparadas para análisis MSA

b) Medición 2:

La segunda serie de mediciones se llevará a cabo mediante un calibre pie de rey analógico: PR-1271. Este calibre está situado en el departamento de Calidad, en el armario 3, el cual está diseñado para instrumentos destinados a material de repuesto. Se trata de un calibre analógico, como se puede observar en la siguiente imagen, lo cual añade un error extra a la prueba. Se trata del error de apreciación del operario. En

comparación con los equipos digitales, los cuales te dan los resultados en una pantalla, con esta serie de equipos se debe tener en cuenta el error de apreciación visual debido a la subjetividad del operario.



Imagen 3. Calibre pie de rey analógico (0-200), PR-1271

Características del equipo de control PR-1271 (Hoffmann, 2019) (Unceta, 2019):

Dimensiones (mm)	Resolución (mm)	Próxima Calibración	Estado: OK/NO OK
0-200	0.05	-	OK

Tabla 14. Características de PR-1271

Como se ha mencionado en la introducción al análisis en esta primera pieza, la segunda cota con la que trabajaremos es la P40.7, la cual tiene un valor nominal de 7.3 ± 0.04 mm. Se trata del espesor de uno de los bordes de unión de la pieza.

Se elegirán 10 piezas teóricamente iguales, 3 operarios realizarán las mediciones y repetirán cada medición en cada pieza 3 veces. Todas ellas suman un total de 90 mediciones en dicha cota. Estas mediciones se llevarán a cabo en un orden aleatorio, el cual indicará automáticamente el programa de estadística MINITAB.

Los inspectores para realizar la primera serie de mediciones son los siguientes: 1- Asier, 2- Ane, 3- Imanol. Todos ellos pertenecen al mismo turno de trabajo, medirán en las mismas condiciones y con el mismo instrumento de medidas, en este caso el pie de rey PR-1271. Las piezas se deben identificar con claridad, al igual que en la primera medición, como se observa en la imagen 2. La identificación permanente de las piezas es necesaria para que durante todo el proceso las piezas sean identificables.

En el ANEXO 6 se muestra una tabla indicando el orden en el que se han llevado a cabo las mediciones. También se indica el valor de cada una de ellas.

Sobre esta segunda medición, cabe destacar que en la producción de dicha pieza se lleva a cabo mediante un micrómetro de exteriores milesimal. Este equipo es infinitamente más preciso que un calibre analógico. Por lo tanto, se sabe que, realizando el sistema de mediciones de dicha manera, el resultado será positivo, pero lo que se pretende mediante este estudio es comprobar si con este instrumento el resultado también es positivo y, si no lo es, analizar los resultados y obtener las conclusiones pertinentes.

Resultados de las mediciones:

Mediante el estudio MSA se analizará la reproducibilidad y la repetibilidad del sistema de mediciones. En definitiva, se determinará si el sistema es apto o no. Forman parte del sistema de mediciones: piezas, instrumento de control, operarios y entorno de las mediciones.

- a) En la imagen 4 se puede observar los resultados obtenidos de la primera medición (a), la realizada mediante la columna de alturas MA-66 (Estudio MSA, 2019) (Minitab, 2019):

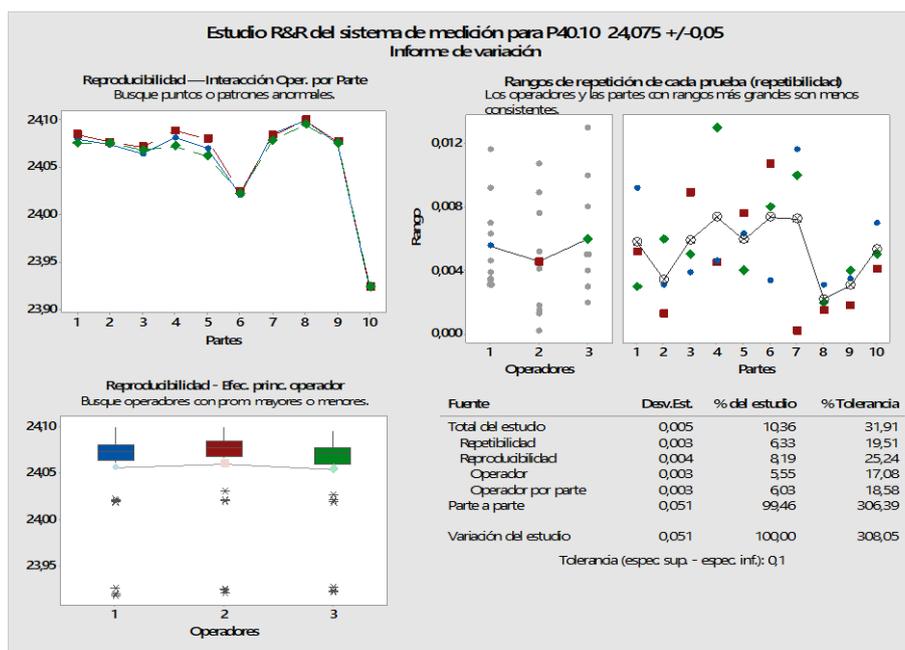


Imagen 4. Resultados MSA primera medición

Las primeras gráficas representan el informe de variación. Los valores representados en dichas curvas reflejan la variación de los resultados en cuanto al porcentaje del estudio realizado.

En primer lugar, se observa que los tres inspectores han obtenido resultados muy similares entre ellos, ya que las curvas del gráfico de los tres operarios tienen la misma tendencia en cada pieza.

En segundo lugar, cabe destacar que la media de valores en cada pieza tiene una variación en el rango de poco más de $4 \mu\text{m}$. Lo cual quiere decir, que los valores obtenidos en la mesa de alturas no se distancian mucho unos de otros.

Analizando los valores de repetibilidad y de reproducibilidad se obtienen las siguientes conclusiones:

En cuanto a la repetibilidad del MSA, se observa que representa un 6.33% del estudio y un 19.51% de la tolerancia. Centrándonos en este segundo valor, el cual tiene más relevancia en el estudio, se puede considerar aceptable, estando ligeramente por debajo del 20% de la tolerancia total.

“Estudio sobre la reducción y optimización de los equipos de medida en el sector aeronáutico”

Respecto a la reproducibilidad del análisis, suma el 8.19% del estudio y un 25.24% de la tolerancia. El análisis se centrará, de nuevo, en el segundo valor, ya que es fundamental en el estudio R&R. Este valor está entre $10 \leq 25.24 \leq 30$, por lo que se puede considerar aceptable. Sin embargo, al estar cerca del 30% de la tolerancia total, se debería considerar si se trata de una cota mayor o menor.

En definitiva, analizando la repetibilidad y la reproducibilidad, se deberá tener en cuenta la importancia de la cota que se ha analizado para poder sacar una conclusión definitiva. Si dicha cota no se trata de una cota mayor o crítica, se podría decir que el sistema de medición es apto.

En la siguiente imagen se muestran los porcentajes de la variación del sistema de medición respecto la variación del proceso y respecto la tolerancia total.

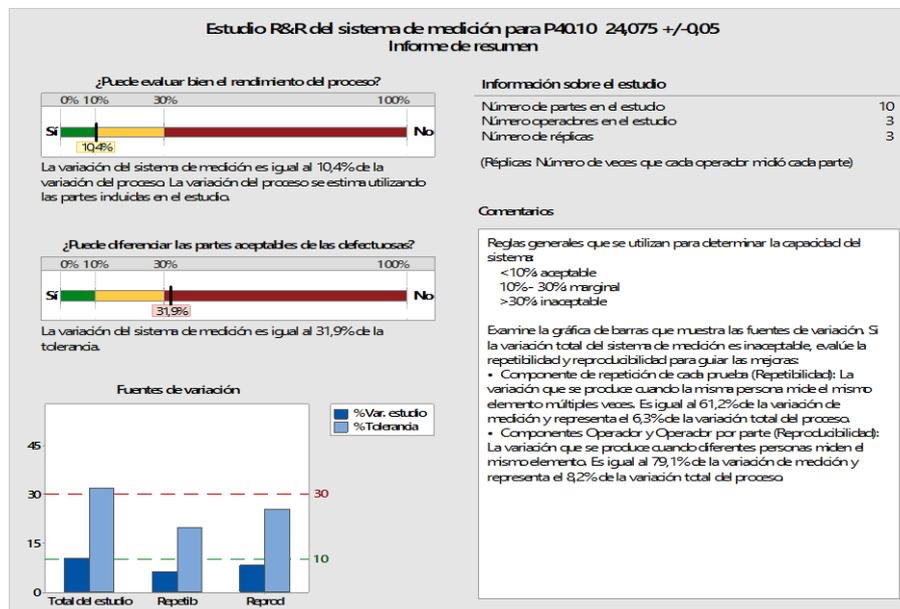


Imagen 5. Resultados MSA primera medición

Como ya se ha mencionado, en la imagen 5 se observan los valores del informe que resume el estudio MSA realizado en la pieza de SAFRAN Helicopter Engines.

En primer lugar, se debe mencionar que la variación del sistema de medición es igual al 10.4% de la variación del proceso. Esta, se estima utilizando las partes incluidas en el proceso. Es decir, representa la variación del valor obtenido de una pieza a otra. Por lo que la variación del sistema de medición, equivale al 10.4% de la variación de los valores de una pieza a otra. Lo cual se considera aceptable.

En segundo lugar, se analizará la variación del sistema de medición respecto la tolerancia total, lo cual puede considerarse una parte vital del análisis. Este valor es del 31.9%. Se observa que está ligeramente por encima del límite aceptable del 30%, por lo que podría llegar a considerarse admisible. Se debe destacar que estas piezas no están 100% acabadas, por lo que, realizando los procesos precisos de acabado, podría

entrar en el límite de tolerancia admisible. En cualquier caso, se debe tener precaución con este sistema de mediciones, ya que puede no ser el más indicado para las necesidades de esta pieza.

En el último gráfico se puede observar cómo tanto la reproducibilidad como la repetibilidad del análisis son admisibles pero el porcentaje total del estudio está ligeramente por encima del límite, lo cual ya es razón por la que catalogar el resultado como “fuera de especificación”.

Como ya se ha mencionado, pese a que la pieza no está del todo acabada, se ha obtenido un resultado más que interesante. Esto se debe a que la columna de alturas realiza mediciones muy precisas y tiene una resolución de 0.0001mm. Además, el proceso de mediciones es semiautomático. Esto quiere decir que el palpador se aproxima a la pieza y muestra el valor medido en pantalla de manera automática. La variabilidad introducir por el inspector es menor.

- b) En la imagen 6 se muestran los resultados obtenidos de la segunda medición (b), la realizada mediante el calibre pie de rey PR-1271 (Estudio MSA, 2019) (Minitab, 2019):

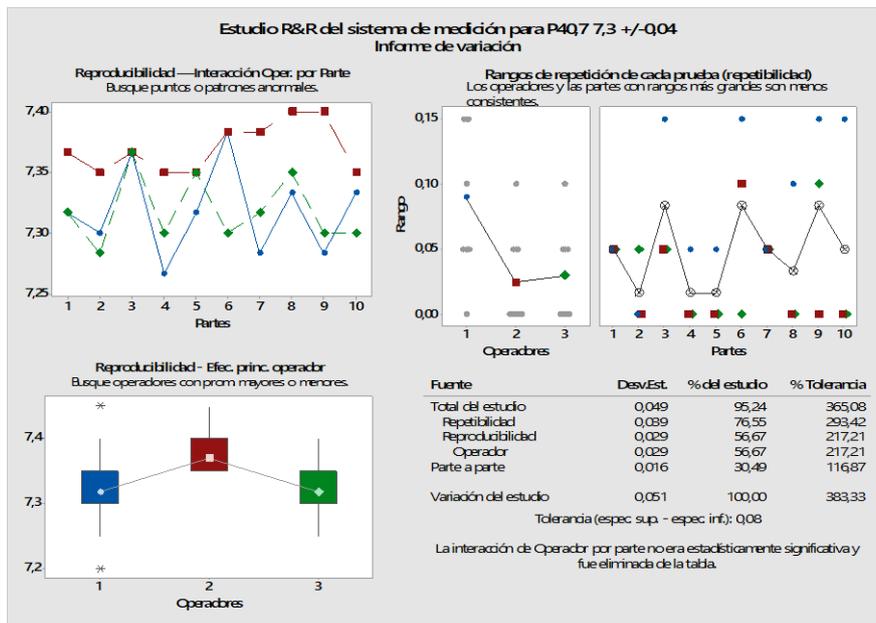


Imagen 6. Resultados MSA segunda medición

En la gráfica superior de la imagen 6, la cual representa el informe de variación de la prueba, se observa como los operarios han obtenido resultados muy diferentes entre sí. Estas curvas reflejan la variación de los resultados en cuanto al porcentaje del estudio realizado.

En la variación de los resultados por piezas y operarios, se observa que los operarios 1 y 3 han obtenido resultados más parejos, mientras que el operario dos ha medido

valores mucho más distantes. Esto se debe a la suma del error del instrumento utilizado y el error de apreciación del operador.

A continuación, se analizará el gráfico donde se representan la variación del rango de medida de las piezas. Se observa que dicho rango, varía casi una décima de milímetro de unas piezas a otras. Recordar que dichos valores son la media de las medidas realizadas por los operarios en sus tres repeticiones. Esta variación se puede considerar importante, y puede deberse a la resolución de dicho calibre. El instrumento PR-1271 no es capaz de diferenciar variaciones menores a 0.05 mm.

Analizando los valores de repetibilidad y de reproducibilidad se obtienen las siguientes conclusiones:

En cuanto a la repetibilidad del MSA, se observa que representa un 76.55% del estudio y un 293.42% de la tolerancia. Centrándose en este segundo valor, el cual tiene más relevancia en el estudio, se puede decir con rotundidad que dicho sistema de mediciones no es apto para la validez de esa cota.

Respecto a la reproducibilidad del análisis, suma el 56.67% del estudio y un 217.21% de la tolerancia. El análisis volverá a centrarse en el segundo valor, ya que como se ha mencionado es fundamental en el estudio R&R. Este valor está muy por encima del límite de aceptación, 30%. Por lo que, en cuanto a la repetibilidad del análisis, tampoco se considera aceptable.

Como conclusión, analizando la repetibilidad y la reproducibilidad, se puede reflejar la disconformidad del análisis, y dentro de él destacar el equipo de control utilizado, con las necesidades de dicha pieza y en concreto de dicha cota.

En la siguiente imagen se ven los porcentajes de la variación del sistema de medición respecto la variación del proceso y respecto la tolerancia total.

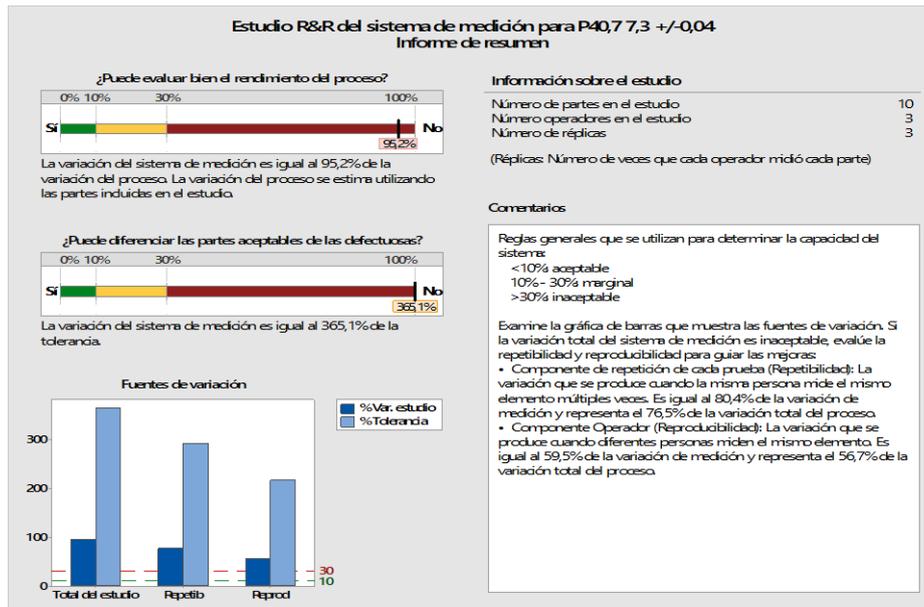


Imagen 7. Resultados MSA segunda medición

Al igual que se ha hecho en el análisis realizado para la primera serie de mediciones, a continuación, se calificarán los resultados obtenidos en cuanto a la variación del sistema de mediciones.

La variación del sistema de medición es igual al 95.2% de la variación del proceso. Como ya se ha explicado, la variación del proceso representa la variación de los valores obtenidos entre las diferentes piezas. Por lo tanto, sería aceptable decir que la variación del sistema de mediciones es casi tan elevada como la variación del proceso, cosa para nada admisible.

En segundo lugar, se analizará la variación del sistema de medición respecto a la tolerancia total. Este dato determinará definitivamente si el sistema es aceptable o no. La variación del sistema de mediciones es igual al 365.1% de la tolerancia total. Es decir, este valor triplica el valor de tolerancia en dicha cota. El valor obtenido está muy por encima del 30% de tolerancia total admisible, por lo que el sistema de medición utilizado para esta cota es completamente inaceptable.

Recordar que hacer este análisis de esta manera, con un calibre analógico en lugar de usar un micrómetro como indica la ficha de producción, no era más que un experimento para comprobar si este sistema de mediciones era apto o no. Como conclusión, se ha comprobado que el sistema es, con mucha claridad, no apto para las necesidades de esta pieza.

El calibre analógico suma una serie de errores que un micrómetro actual jamás tendría:

- La resolución del instrumento es mucho más precisa en el micrómetro que en el pie de rey utilizado.
- Los micrómetros contienen un mecanismo que ayuda a que cualquier operario ejerza la misma presión a la hora de definir el contacto entre el equipo de control y la pieza.

- Destacar la importancia del error de apreciación del operador. Esto se debe a que en una medida mediante un instrumento analógico se le debe añadir el error de lectura del inspector a la ecuación del error, mientras que en un instrumento digital dicho error de lectura es nulo.

2- Pieza de CESA (pistón) (EAS)

La segunda pieza se trata de una pieza del cliente CESA, del cual se encarga la división de la compañía EAS (Egile Aero System). Al igual que la pieza anterior, es una pieza vital en el ámbito del sector aeronáutico, al tratarse de un pistón. En el ANEXO 3 se puede analizar el plano detalladamente.

Información adicional de la pieza:

- Orden de fabricación (OF): 252163
- Referencia: CE800010-0301
- Código de ruta: DR00042I
- Denominación: PISTÓN

Al igual que en la primera pieza analizada, se estudiarán dos cotas diferentes. El pistón también se trata de una pieza de alta precisión, por lo que las tolerancias serán muy ajustadas. La primera cota con la que se trabajará será el diámetro exterior del diámetro, el cual tiene un valor de 25.17 ± 0.07 mm. Por otro lado, la segunda cota con la que se llevará a cabo el MSA será la largura total del pistón, con un valor teórico de 89.6 ± 0.1 mm.

En cuanto a los valores de dichas cotas, se debe destacar que la tolerancia del diámetro del pistón, la primera cota, se trata de un ajuste mucho más preciso que la largura total del pistón, por lo que su tolerancia también será más ajustada, lo que conlleva a una tolerancia de un valor más reducido.

c) Medición 1:

La primera medición con esta segunda pieza se llevará a cabo utilizando el micrómetro exterior milesimal (0.001), ME-1041. Esta cota requiere una precisión muy elevada, por lo que se usará un micrómetro con una resolución de 0.001 mm. Dicho instrumento de control está representado en la siguiente imagen:



Imagen 8. Micrómetro de exteriores, ME-1041

Características del equipo de control ME-1041 (Hoffmann, 2019) (Unceta, 2019):

Dimensiones (mm)	Resolución (mm)	Próxima Calibración	Estado: OK/NO OK
0-25	0.001	01/04/2021	OK

Tabla 15. Características de ME-1041

Como se ha mencionado en la introducción a este segundo análisis MSA, la primera cota con la que se trabajará es el diámetro del pistón, el cual tiene un valor de 25.17 f7 mm. Dicho ajuste, según la tabla representada en el ANEXO 5, corresponde a un valor con una tolerancia de $25.17_{-0.041}^{-0.020}$ mm.

Al igual que en el estudio anterior, elegirán 10 piezas teóricamente iguales, 3 operarios realizarán las mediciones y repetirán cada medición en cada pieza 3 veces. Es decir, nuevamente se obtendrán 90 mediciones en dicha cota. Estas mediciones se llevarán a cabo en un orden aleatorio, el cual indicará automáticamente el programa de estadística MINITAB.

Los inspectores para realizar la primera serie de mediciones en esta segunda pieza no serán los mismos que en el primer estudio, ya que, al tratarse de una pieza perteneciente a otra división, los metrólogos especializados en la misma serán diferentes. Los inspectores que llevarán a cabo las mediciones en este segundo estudio son los siguientes: 1- Asier, 2- Jokin, 3- Gotzon. Todos ellos pertenecen al mismo turno de trabajo y medirán en las mismas condiciones y con el mismo instrumento de medidas, en este caso el micrómetro de exteriores ME-1041. Las piezas se deben identificar con claridad, al igual que en el primer MSA, como se observa en la imagen 9. La identificación permanente de las piezas es necesaria para que durante todo el proceso las piezas sean identificables.

En el ANEXO 6 se muestra el orden en el que se han llevado a cabo las mediciones, así como el valor de cada una de ellas.



Imagen 9. Piezas CESA (Pistón) preparadas para análisis MSA

d) Medición 2:

Esta segunda medición de la segunda pieza, el pistón, requiere una precisión más holgada que el diámetro de la pieza, por lo que se llevará a cabo con un calibre pie de rey de resolución centesimal. Dicho calibre será digital, con código PR-1270, mostrado en la siguiente imagen:



Imagen 10. Calibre Pie de Rey (0-150), PR-1270

Características del equipo de control PR-1270 (Hoffmann, 2019) (Unceta, 2019):

Dimensiones (mm)	Resolución (mm)	Próxima Calibración	Estado: OK/NO OK
: 0-150	0.01	01/11/2020	OK

Tabla 16. Características de PR-1270

La cota con la que se trabajará en esta parte del segundo análisis MSA se trata de la largura total del pistón. Dicha cota tiene un valor nominal de 89.6 ± 0.1 mm. No es una zona tan crítica, con un valor lejos de la precisión requerida por el diámetro del pistón. Esta medición es posible llevarla a cabo con un calibre centesimal, en lugar de un instrumento milesimal.

Al igual que en las tres prácticas anteriores, se elegirán 10 piezas teóricamente iguales, 3 operarios realizarán las mediciones y repetirán cada medición en cada pieza 3 veces. Una vez más, un total de 90 valores similares, pero no iguales, para dicha cota. Estas

mediciones se llevarán a cabo en un orden aleatorio, el cual indicará automáticamente el programa de estadística MINITAB.

Los inspectores para realizar la última serie de mediciones serán los mismos que en el apartado anterior de esta pieza. Por lo que los inspectores serán los siguientes: 1- Asier, 2- Jokin, 3- Gotzon. Todos ellos pertenecen al mismo turno de trabajo y medirán en las mismas condiciones y con el mismo instrumento de medidas, en este caso el pie de rey PR-1270. Las piezas se deben identificar con claridad, al igual que en los tres análisis anteriores, como se observa en la imagen 9. La identificación permanente de las piezas es necesaria para que durante todo el proceso las piezas sean identificables.

En el ANEXO 6 se puede observar el orden en el que se han llevado a cabo las mediciones. En dicha tabla también se puede ver el valor de cada una de las mediciones realizadas.

Resultados de las mediciones:

- c) La imagen 11 muestra los resultados obtenidos de la primera medición (c), la realizada mediante el micrómetro de exteriores ME-1041 (Estudio MSA, 2019) (Minitab, 2019):

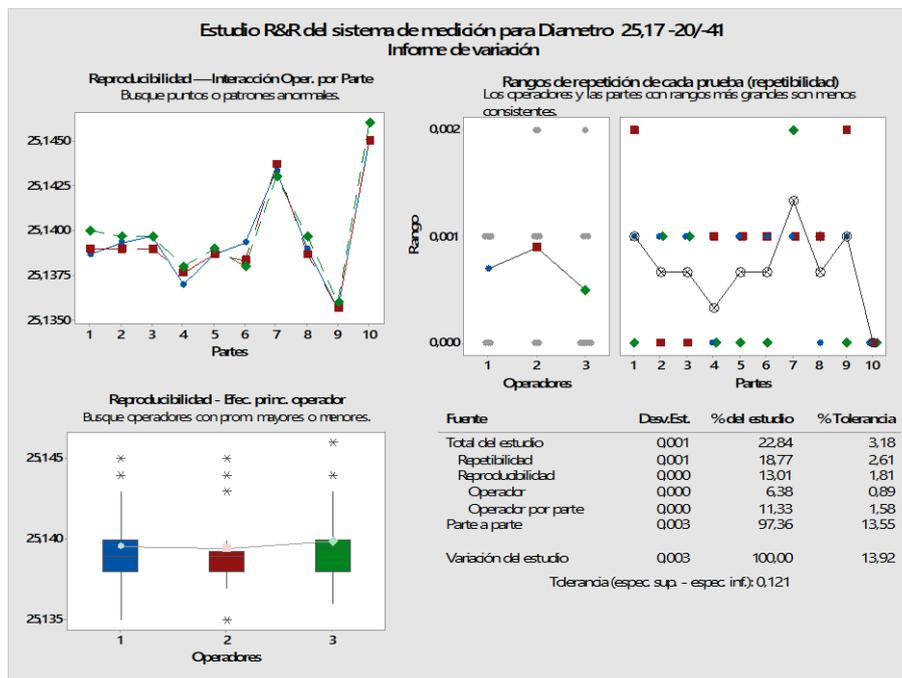


Imagen 11. Resultados MSA segunda medición

En primer lugar, se analizarán los resultados obtenidos en el informe de variación del estudio. El primer gráfico muestra como los tres inspectores que se han encargado de realizar las mediciones de manera independiente, han obtenido valores muy similares en cada una de las piezas medidas. Los tres han obtenido la misma tendencia en cada una de ellas, que es exactamente lo que refleja la primera gráfica.

“Estudio sobre la reducción y optimización de los equipos de medida en el sector aeronáutico”

En segundo lugar, el gráfico de variación del rango de valores en mínimo. Es decir, se muestra que la variación de los valores medidos en diferentes piezas es siempre inferior a la micra. Recordar que la curva reflejada en dicha gráfica representa los valores medios obtenidos por los tres operadores en las diferentes piezas.

Analizando los valores de repetibilidad y de reproducibilidad obtenemos las siguientes conclusiones:

La repetibilidad del estudio MSA es igual al 18.77% del estudio e igual al 2.61% de la tolerancia total admitida en dicha cota. Analizando ambos valores y enfatizando en el segundo valor, se puede determinar que, en cuanto a la repetibilidad del sistema de mediciones utilizado, dicho sistema es apto para las necesidades requeridas.

Por otro lado, la reproducibilidad del análisis representa un 13.01% del estudio y un 1.81% de la tolerancia total. Al igual que se ha determinado con la repetibilidad, la reproducibilidad del sistema utilizado muestra que dicho sistema es altamente admisible para las necesidades de la pieza.

Tanto la repetibilidad como la reproducibilidad muestran valores muy por debajo del límite admisible. Cabe recordar que el diámetro del pistón es la cota más crítica de la pieza, ya que su ajuste es un f7, equivalente a una tolerancia muy baja, de $25.17_{-0.041}^{-0.020}$ mm. Por lo tanto, los valores obtenidos deben estar por debajo del 10% de la tolerancia total y no del 30% utilizado en los anteriores estudios MSA.

A continuación, se muestra la imagen representativa de los valores del informe que resume el estudio realizado.

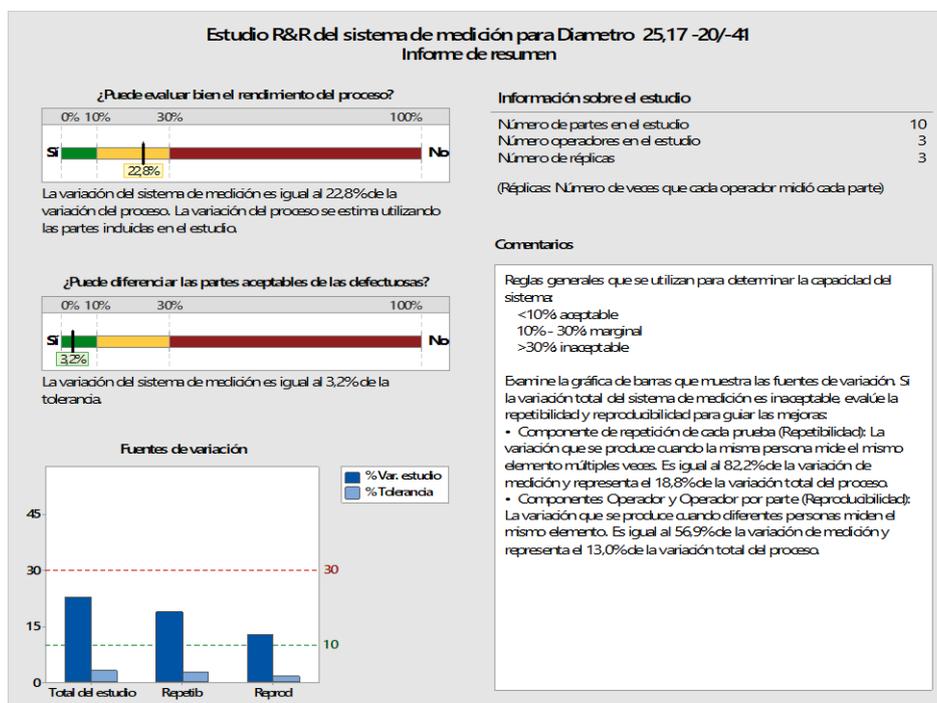


Imagen 12. Resultados MSA segunda medición

El informe resumen del sistema de mediciones realizado por el micrómetro milesimal muestra resultados muy positivos, como se podrá observar en la imagen. A continuación, se llevará a cabo el análisis pertinente de dichos resultados.

En la parte superior de la imagen se muestra como la variación de las mediciones forma un 22.8% de la variación obtenida en los resultados de las diferentes piezas. Lo cual se considera admisible por estar por debajo del límite, 30%. Además, se debe destacar que los resultados no reflejan una variación muy elevada entre las diferentes piezas, como se ha mostrado en el gráfico del rango de variación. Esto indica que la variación de las mediciones también es aún más baja.

Por otro lado, la variación de las mediciones respecto la tolerancia total, suma apenas un 3.2%. Este valor corresponde a una cota con una tolerancia muy ajustada, por lo que deberá estar por debajo del 10% para considerarse admisible. Obviamente el resultado está por debajo de dicho valor límite, por lo que el sistema de mediciones se considera apto para dichas necesidades de precisión.

Por último, en el gráfico de la Imagen 12, Fuentes de Variación, se muestra cómo tanto la reproducibilidad como la repetibilidad del sistema de mediciones están por debajo del límite admisible. Además, el porcentaje de variación total del estudio también es admisible tanto respecto la variación del estudio como la tolerancia total. Por lo tanto, se puede decir con total seguridad que el sistema utilizado en el estudio es apto para la producción de dicha pieza.

- d) En la imagen 13 se muestran los resultados obtenidos de la segunda medición (d), la realizada mediante el calibre pie de rey (digital) PR-1270 (Estudio MSA, 2019) (Minitab, 2019):

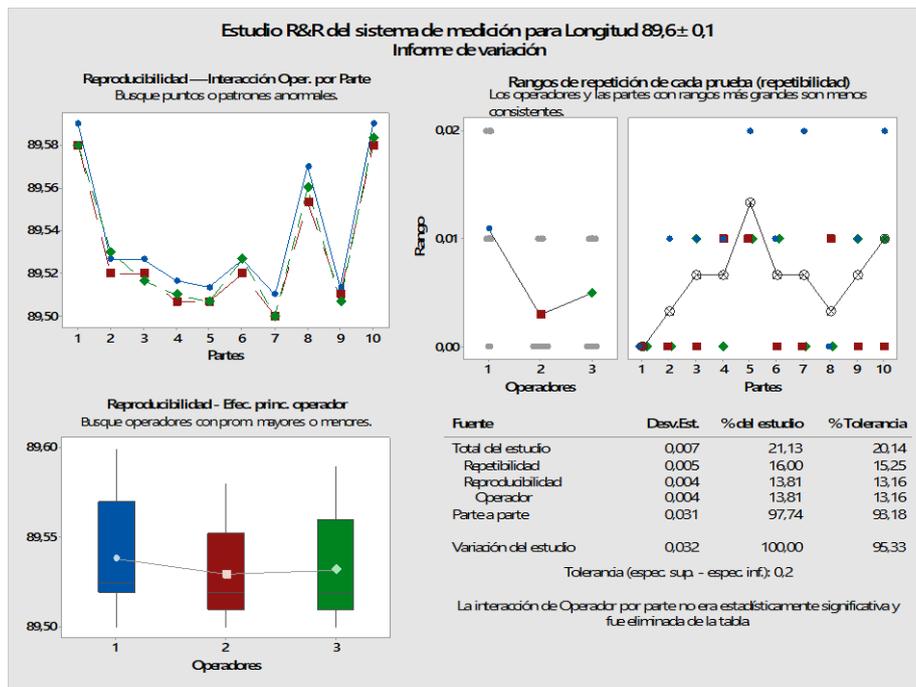


Imagen 13. Resultados MSA primera medición

“Estudio sobre la reducción y optimización de los equipos de medida en el sector aeronáutico”

El análisis de los resultados de esta parte del segundo estudio MSA comenzará con el mismo criterio que el primero. En primer lugar, se analizará el informe de variación. Recordar que las curvas de dicho informe representan la variación de los resultados en cuanto al porcentaje del estudio realizado.

En este sistema de análisis, los tres inspectores han conseguido resultados similares entre sí, para cada una de las piezas medidas. Esto quiere decir que los tres operadores han tenido la misma tendencia de valores a la hora de medir la pieza.

En segundo lugar, la variación en el rango no se distancia más de $10 \mu m$, lo cual quiere decir, para un instrumento milesimal, que los valores medios obtenidos en cada pieza nunca varían más de $10 \mu m$.

Analizando los valores de repetibilidad y de reproducibilidad se obtienen las siguientes conclusiones:

La repetibilidad de esta parte del estudio suma un 16% del estudio y un 15.25% de la tolerancia total. Como se ha realizado en los análisis anteriores, el estudio se centrará en el segundo valor para indicar su aptitud. Vemos que está dentro del rango $10 \leq 15.25 \leq 30$, por lo que se considera aceptable.

Respecto a la reproducibilidad del análisis, también se considera aceptable, ya que sus valores son del 13.81% del estudio y del 13.16% de la tolerancia total en esta cota concreta. Ambos valores están por debajo del límite del 30% de la tolerancia total.

En definitiva, analizando la repetibilidad y la reproducibilidad, también se debe tener en cuenta la importancia de la cota que se ha medido. Es decir, el valor está por debajo del límite de aceptación, por lo que se puede considerar apto, pero está por el límite de aceptación del 10% que tendría una cota con una importancia muy elevada. Dicho esto, se pueden considerar valores admisibles, ya que el cliente así lo indica.

En la siguiente imagen se ven los porcentajes de la variación del sistema de medición respecto la variación del proceso y respecto la tolerancia total.

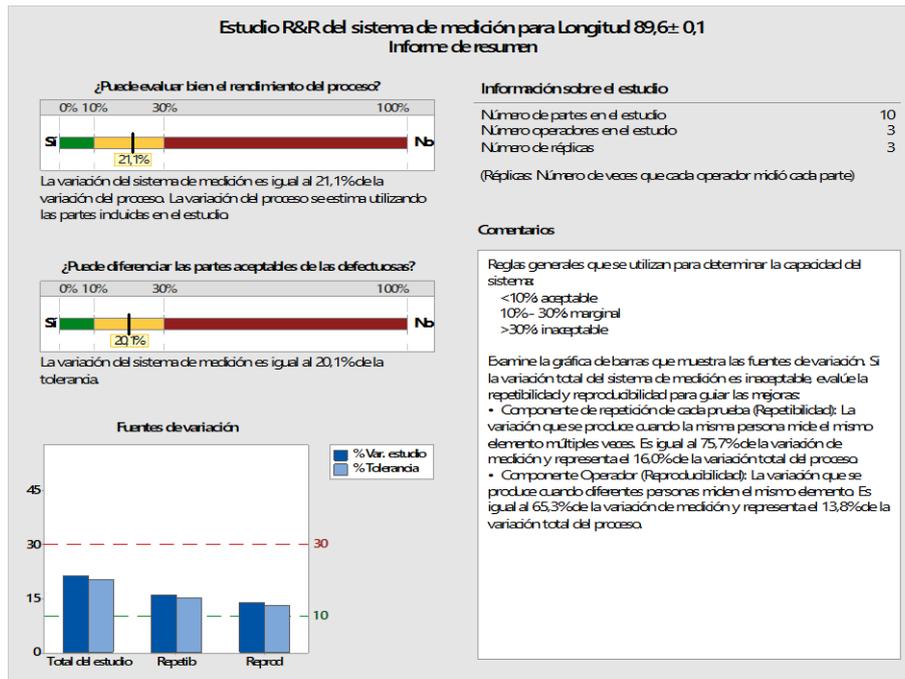


Imagen 14. Resultados MSA primera medición

En cuanto a los valores que resumen el estudio MSA, de la pieza pistón de CESA, podemos obtener las siguientes conclusiones:

La variación de la medición es igual al 21.1% de la variación del proceso. Lo cual indica, como se ha mencionado anteriormente, que la variación de la medición es igual al 21.1% de la variación de los valores obtenidos entre las 10 piezas medidas. Recordar que el rango de variación no ha sido para nada elevado, por lo que da más importancia si cabe a este resultado.

En cuanto a la variación de la medición respecto la tolerancia total, su resultado es del 20.1%. Esto quiere decir que el sistema de mediciones solo varía un 20.1% de la tolerancia total que se admite en esta cota específica, la longitud del pistón. Se recuerda que dicha tolerancia es de 0.2mm.

En el gráfico inferior se puede observar cómo tanto la reproducibilidad como la repetibilidad están por debajo del límite del 30%. Además, no solo los valores por separado, sino que el total del estudio también están por debajo de dicho límite. Estos últimos valores son exactamente los representados en el gráfico superior de la misma imagen, donde se ve claramente que están dentro del límite admisible.

Por último, la tolerancia de la cota que se está analizando no es muy ajustada, por lo que se puede decir que no se trata de una cota de una precisión extrema, por lo que estar por debajo del 30% en todos los resultados obtenidos puede considerarse admisible.

Comparativa de los diferentes estudios MSA:

Análisis MSA		Repetibilidad	Reproducibilidad	Variación- estudio	Variación- tolerancia	APTO/NO APTO
1- Pieza SAFRAN	Medición 1 (a)	19.51%	25.24%	10.4%	31.9	APTO Depende cota
	Medición 2 (b)	293.42%	217.21%	95.2%	365.1%	NO APTO
2-Pieza CESA	Medición 1 (c)	2.61%	1.81%	22.8%	3.2%	APTO
	Medición 2 (d)	15.25%	13.16%	21.1%	20.1%	APTO

Tabla 17. Resumen resultados de los estudios MSA

En la tabla 17 se muestran los resultados de los cuatros estudios MSA realizados. Las dos primeras mediciones corresponden a la pieza del motor de helicóptero SAFRAN (pieza 1) y las siguientes dos a la pieza del pistón CESA (pieza 2).

En primer lugar, se analizarán las mediciones que como resultado han dado APTO. Estas mediciones son las correspondientes a la segunda pieza analizada. En ambas ocasiones los valores que se han analizado están por debajo del límite aceptable, generalmente el 30% de la tolerancia total, y en ocasiones muy críticas, el 10% con el que se ha trabajado en las pruebas del diámetro.

Los dos estudios mencionados se han realizado mediante instrumentos de alta resolución y precisión. Esos instrumentos han sido el micrómetro milesimal y el calibre digital, por lo que como conclusión; el sistema de mediciones utilizado es correcto. Recordar que dicho sistema está formado por el instrumento, la pieza, el personal y el entorno en el que se trabaja.

Por otro lado, en la pieza de SAFRAN se ha obtenido un resultado que genera cierta duda. Esta duda se debe a que uno de los valores está ligeramente por encima del límite. Esto se puede deber a que la pieza no está completamente mecanizada, por lo que, con las operaciones restantes de acabado, podría entrar dentro del límite. Estas pruebas se han realizado con la columna, por lo que se considera que tiene una resolución muy alta, de $0.5\mu m$, y un proceso de medición semi-automático. El resultado del estudio se considera “no concluyente”, ya que se ha trabajado una cota de proceso y no una cota de producto final. Por lo tanto, como solución, se deberá repetir el ensayo MSA y comprobar si entra dentro del límite superior. En caso de seguir generando duda, se debería consultar al cliente.

Por último, el segundo análisis MSA (análisis b) de la primera pieza ha dado como resultado NO APTO. Dicho resultado no genera ninguna duda, por lo que se puede calificar inadmisibles el elemento de control seleccionado, bajo ninguna excepción.

El resultado obtenido en la prueba negativa es causado por la suma de errores de diferente origen. Como ya se ha indicado, dicha cota, en producción, se mide mediante un micrómetro de exteriores. En esta ocasión se ha querido hacer este tipo de experimento. La resolución del calibre es cincuenta veces peor que la del micrómetro, por lo que esto provoca un error muy alto. Además, se le debe añadir que el calibre utilizado es analógico, lo que produce un error de percepción del operario que en uno digital es inexistente.

Es importante recordar que el estudio MSA no indica simplemente si el equipo de control utilizado es correcto para una pieza concreta. Analiza el sistema de mediciones concreto, teniendo en cuenta; el equipo, la pieza, el nivel del personal y el entorno en el que se realizan las mediciones (Minitab, 2019).

Control estadístico del proceso:

Después de realizar los estudios MSA de las dos piezas mostradas en los ANEXOS 3 y 4, se llevará a cabo un control estadístico del proceso. Este control solo se debe hacer en los casos que como resultado del estudio MSA haya dado APTO. Por lo tanto, obtendremos un control estadístico de la medición “a”, mediante la mesa de alturas de la pieza de SAFRAN y las dos mediciones, “b” y “c”, de la pieza pistón de CESA.

Para llevar a cabo dicho control estadístico se tendrá en cuenta lo siguiente. Al dar como resultado APTO, quiere decir que cualquiera de las mediciones realizadas por cualquier operario es válida. Es decir, no se tendrán en cuenta las repeticiones en cada pieza ni las mediciones realizadas por diferentes inspectores. Por lo tanto, se estudiarán los valores medidos por un solo operario una única vez. Se tendrá en cuenta el valor obtenido en cada pieza, pero no las tres repeticiones. Para simplificar el control estadístico, se aplicará en los tres estudios APTOS, los valores obtenidos por el medidor uno; Asier. Se debe reiterar que haciendo el control con cualquiera de los tres operadores el resultado será prácticamente igual, al tratarse de un estudio MSA APTO.

Mediante este control estadístico se obtendrá como resultado; con qué nivel de aceptación, los valores obtenidos satisfacen las necesidades del cliente, siendo los datos razonablemente normales. El estudio se realiza indicando los límites inferiores y superiores de admisibilidad en cuanto a la tolerancia. Posteriormente el programa dibuja una campana basándose en el método de Montecarlo (Cadenas, 2019). Dicho método es una técnica numérica para calcular probabilidades y otras cantidades relacionadas, basándose en secuencias de números aleatorios. Este control estadístico se suele hacer con lotes de alrededor de 25 piezas, pero al haber hecho los MSA con lotes de 10 piezas, se aprovechará y se dará por buena esa cantidad.

Las siguientes imágenes muestran los resultados de los tres controles estadísticos realizados:

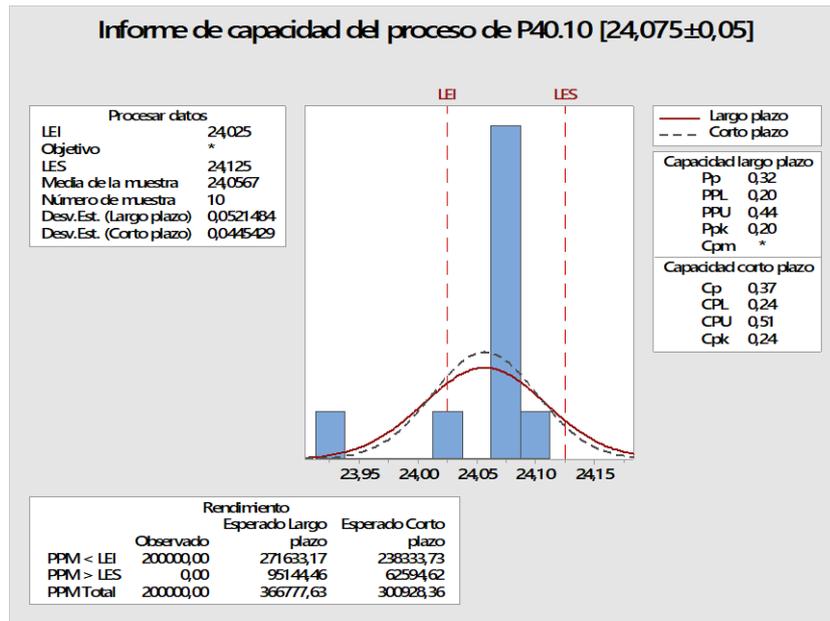


Imagen 15. Control estadístico del proceso de la cota P40.10 de la pieza SAFRAN

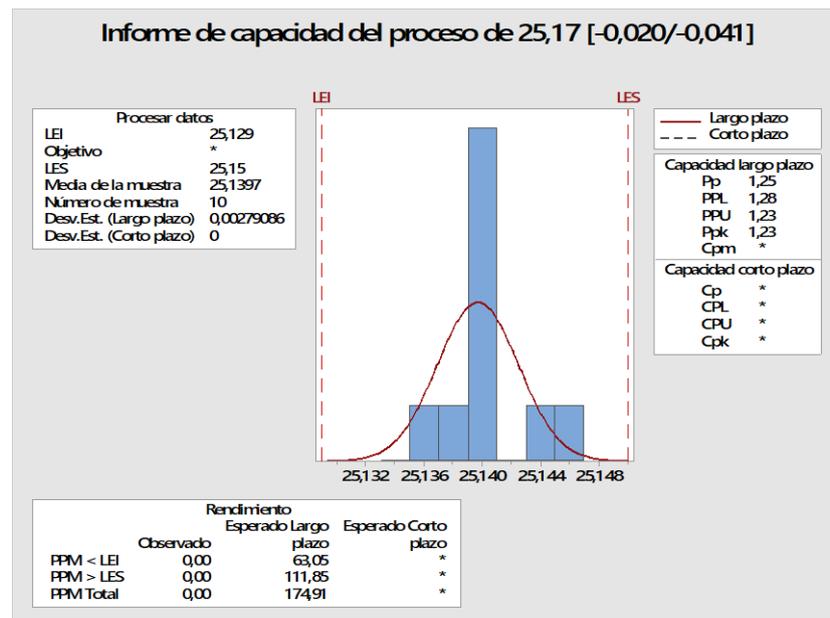


Imagen 16. Control estadístico del proceso del diámetro de la pieza CESA

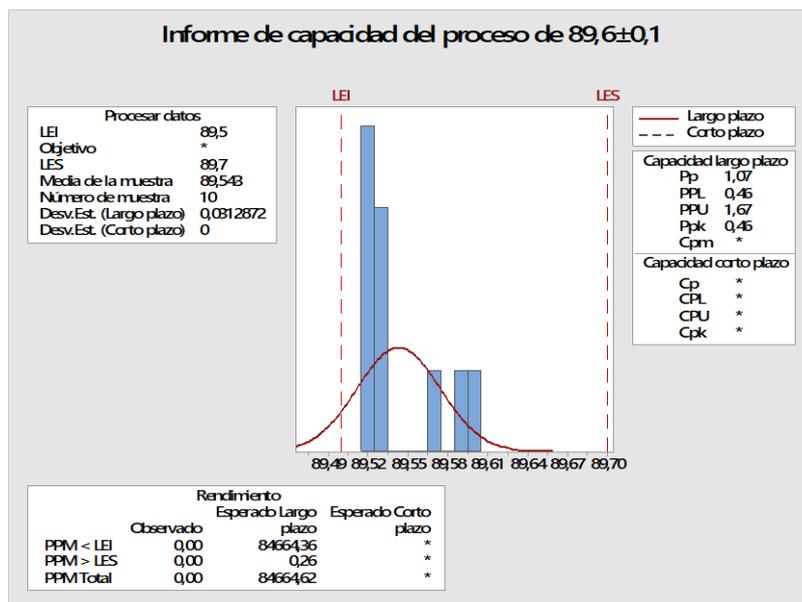


Imagen 17. Control estadístico del proceso de la longitud de la pieza CESA

Resumen de resultado del control estadístico:

Estudio MSA	Piezas por millón-por debajo de límite inferior		Piezas por millón-por encima de límite superior		Capacidad a largo plazo. P_{pk}	Capacidad a corto plazo. C_{pk}
	Largo plazo	Corto plazo	Largo plazo	Corto plazo		
a) P40.10 SAFRAN	271.633,17	238.333,73	95.144,46	62.594,62	0,20	0,24
c) Diámetro CESA	63,05	-	111,85	-	1,23	-
d) Longitud CESA	84.664,36	-	0,26	-	0,46	-

Tabla 18. Resultados del control estadístico del proceso.

A pesar de que el programa facilite muchos datos estadísticos, como la desviación estándar, en la tabla 18 se muestran los resultados más relevantes para el análisis.

Como conclusión más obvia, se observa que, en el primer estudio considerado apto, el estudio "a", se tiene un número de piezas que, a corto plazo, quedarían por debajo del límite inferior y por encima del límite superior, si de un millón de piezas totales se tratase.

Sin embargo, en los siguientes dos estudios no existe valor para piezas que quedarían fuera del límite de tolerancia a corto plazo. Esto se debe a la campana calculada mediante el método de Montecarlo, que en el primer ejemplo muestra como los extremos de dicha campana se encuentran fuera del límite establecido. La razón de este fenómeno es; que los valores obtenidos en la primera muestra son muy cercanos al límite de tolerancia e incluso en una de las piezas se encuentra fuera de él.

Cabe destacar que el primer estudio realizado, el estudio “a”, se ha llevado a cabo sobre una cota de proceso y no sobre una cota final. Para considerar APTO este resultado se deberá volver a realizar el análisis MSA.

Por otro lado, los tres ejemplos tienen valores de piezas por millón fuera de los límites a largo plazo. Estos números también se muestran mediante las campanas, ya que indican a largo plazo el número de piezas que quedarán fuera de dicho límite. Se observa que el estudio con menor número de piezas es fuera del límite es el segundo, ya que todas las piezas medidas se encuentran más lejanas a los límites, tanto inferior como superior.

Por último, analizando los valores de P_{pk} y C_{pk} . El valor P_{pk} muestra la capacidad de la cota analizada para estar dentro de los valores límite a largo plazo, mientras que el valor C_{pk} muestra la capacidad de la cota analizada para estar dentro de los valores límite a corto plazo. En definitiva, muestra una especie de margen de seguridad, para que la pieza esté dentro de límite de seguridad.

Solo el primer estudio analizado tiene valores a corto plazo, ya que los otros dos no tendrán piezas por millón fuera de tolerancia, según lo explicado anteriormente. Sin embargo, los tres análisis tienen valores para la capacidad a largo plazo. Los valores son los siguientes: $P_{pka} = 0.20$, $P_{pkc} = 1.23$ y $P_{pkd} = 0.46$. Cuanto mayor sea este valor, mayor será el margen de seguridad, por lo que mejor se considera el resultado. Por lo tanto, el estudio con mejor resultado en cuando al control estadístico del proceso es el segundo (Minitab, 2019).

Cabe mencionar que el cliente será quien proponga los límites de capacidad tanto a largo como a corto plazo. Dichos límites están normalizados y tienen los siguientes valores: $4\sigma = 1.34$, $5\sigma = 1.67$, $6\sigma = 2$, etc.

6.3.3- Sistema de calibraciones

Trazabilidad:

ISO: Es la propiedad de una medición mediante la cual puede relacionarse con referencias, externas o internas, establecidas. Usualmente estándares nacionales o internacionales a través de una cadena ininterrumpida de comparaciones. Durante toda esta cadena se trabajará con incertidumbres establecidas.

La trazabilidad puede ligarse a valores de referencia o acordados entre el cliente y el proveedor.

No todas las organizaciones tienen laboratorios de metrología internos, por lo que dependen de laboratorios externos para servicios de calibraciones de trazabilidad. En estos casos se debe asegurar que el laboratorio externo esté acreditado. De acuerdo con ISO/IEC 17025.

Sistemas de calibración (general):

Los sistemas de calibración están formados por un conjunto de operaciones que establece la relación entre un instrumento de control y un estándar trazable de valor de referencia e incertidumbre conocidos.

Entre este conjunto de operaciones se pueden encontrar etapas para detectar y eliminar mediante ajustes cualquier alteración en la exactitud del instrumento.

Cada sistema de calibración incluye:

- Estándares
- Equipo a calibrar
- Métodos y procedimientos de calibración
- Registros
- Personal cualificado

El sistema de calibración es parte del sistema de gestión de calidad de cualquier empresa y por supuesto, de Egile Mechanics, SL también.

Sistemas de calibración (Egile Mechanics):

Periodo de calibración:

El periodo de calibración aplicado a este tipo de aparatos depende de su utilización, por norma general se aplicará el periodo estipulado para aparatos empleados en producción, que es de 12 meses; pero en casos concretos, como, por ejemplo, en elementos con poco uso se podrá prolongar la fecha de calibración en caso de que este factor no afecte a su funcionalidad. Se establece un periodo de 30 días para la recogida y envío a calibración de los equipos, comenzado a aplicarse desde la fecha de caducidad de la calibración.

Cuando se aproxima la fecha de la próxima calibración de los equipos, en el departamento de calidad y calibraciones se notificará de cada uno de ellos. Es decir, mensualmente se recibirá información donde se registran todos los equipos que cumplen ciclo de calibraciones.

Una vez calibrados los instrumentos de control, ya sea externa o internamente, se les aplica una cera o se les coloca una brida, como indicación de que ese equipo ha sido calibrado recientemente. Gracias a esta identificación, cuando dichos equipos tengan que ser calibrados de nuevo, se podrá considerar si han sido utilizados o no. Es decir, si el equipo aún conserva la cera o la brida, indicará que el instrumento no se ha utilizado, por lo que se podrá ampliar la fecha de calibración sin mandarlo a calibrar de nuevo.

6.3.4- Calibración interna/externa

Como previamente se ha mencionado, los equipos pueden calibrarse internamente, si la empresa dispone de la tecnología y las prestaciones necesarias, o externamente, siempre mediante un laboratorio cualificado.

El proceso de calibración externa puede ser sencillo. En este caso la empresa se convierte en el cliente al enviar los equipos a dichos laboratorios y esperar a que los devuelvan calibrados. Cada instrumento calibrado, llegará nuevamente a la empresa con un certificado de calibración, el cual muestra dicho resultado y se archivará en Calibrator.

Por otro lado, el proceso de calibración interna es mucho más complejo. A continuación, se mencionan las etapas más relevantes del proceso:

- Equipos empleados en la calibración
- Proceso de calibración (operaciones previas y durante la calibración)
- Asignación de corrección y de incertidumbre
- Presentación de los resultados

Todas las operaciones de calibración deben estar formadas por las fases anteriores. Sin embargo, no todas las etapas serán iguales en todas las calibraciones. Es decir, dependiendo de las familias a las que pertenezcan cada instrumento y las características de estos, se procederá a calibrar de diferente manera.

Como ejemplo de ello explicaremos el proceso de calibración de dos familias de instrumentos de control, Micrómetro de Exteriores y Calibre Pie de Rey.

Micrómetro de exteriores:

Equipos empleados en la Calibración:

Bloques patrón de grado “00, 0 y 1”, mesas de planitud, calibradas en un laboratorio superior que aporta trazabilidad. La trazabilidad es la propiedad del resultado de una medición, por la cual este resultado se puede relacionar y/o referir a los patrones de referencias del más alto nivel, y a través de estos a las unidades fundamentales, por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones.

Proceso de calibración:

Operaciones previas:

1. Todos los medios de calibración deben estar durante 24 horas en un local acondicionado a 20°C. Así se homogenizará su temperatura.
2. La temperatura de calibración es de $20^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$, y la humedad relativa del aire de un $60\% \pm 10\%$.

3. Limpiar todos los elementos que componen en micrómetro, especialmente los contactos de medida y la escala.
4. Inspección visual.
5. Comprobar el correcto funcionamiento del equipo. Para ello, hacer un desplazamiento suave a lo largo de todo el recorrido, observando si en algún punto existe alguna alteración.
6. Comprobar la puesta a cero del equipo, tomando una medida en su campo mínimo y proceder al ajuste del tambor si es necesario.

Operaciones de calibración:

La calibración se realiza en cuatro puntos de la escala, que dividen el campo de medida en 3 intervalos aproximadamente iguales, repitiendo cinco medidas en cada punto. A continuación, se relacionan los puntos de calibración y los bloques patrón a emplear.

Asignación y corrección de la incertidumbre:

Los datos obtenidos en los puntos de medición correspondientes se introducirán en Calibrator, programa descrito previamente.

Para el cálculo de la corrección y la incertidumbre de los ECME's (Equipments de Contôle, de Mesures et d'Essais), Calibrator ha sido diseñado para obtener dichos cálculos de manera automática, partiendo de los datos obtenidos en la medición. La realización de la calibración se lleva a cabo con la intervención de varios aparatos, siendo uno de ellos un patrón. Esto conduce a que las fórmulas de cálculo incluyan tanto las incertidumbres como las correcciones.

A continuación, se muestran las fórmulas empleadas:

$$C = (\bar{X} - P) + \sum C_{ap}$$

Fórmula 2. Corrección ECME

Siendo:

\bar{X} = Valor media aritmética de los valores medidos.

P = Valor real del patrón respecto del cual se efectúa la calibración. El valor es igual al nominal del patrón más la corrección del patrón.

$\sum C_{ap}$ = Sumatorio de las correcciones de todos los ECME's que intervienen en la calibración.

$$I = \pm k \sqrt{\sum \left(\frac{I_p}{k}\right)^2 + \sum \left(\frac{I_{ap}}{k}\right)^2 + \frac{\sigma^2_{n-1}}{n} + \frac{p^2}{3} + \frac{D^2}{3}}$$

Fórmula 3. Cálculo de incertidumbre ECME

Siendo:

k = factor de cobertura

I_p = incertidumbre del patrón

I_{ap} = Incertidumbre del aparato o equipo de calibración

σ_{n-1} = desviación típica de los valores de medición repetidos. Se calcula según la fórmula:

$$\sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Fórmula 4. Cálculo de desviación típica

p = Precisión del equipo (opcional). Algunos fabricantes especifican su precisión, como %. No hay que registrar la división de la escala, sino la precisión del aparato correspondiente al fondo de escala escogido.

D = División de escala (opcional). Apreciación del aparato.

La incertidumbre se calcula mediante una raíz cuadrada, por lo que se expresa con un símbolo \pm .

El valor de k solía ser constante para toda la empresa, con un valor de 2. Hoy en día, ese valor varía y es específico de cada operación de calibración. Este va a ser 2 únicamente cuando se pueda asegurar que la distribución de los resultados de medición sea normal. Lo cual requiere que el número de mediciones sea ≥ 50 , siendo esto muy poco común. Por lo tanto, Calibrator no aplica de forma general el valor $k = 2$, sino que calcula un valor específico para cada operación de calibración.

Calibre Pie de Rey

Equipos empleados en la Calibración:

Bloque patrón de grado “00,0 y 1”, anillos patrón y mármol de planitud. Todos ellos calibrados en un laboratorio superior que aporta trazabilidad, al igual que en el ejemplo anterior. Como ya se ha mencionado, la trazabilidad es la propiedad del resultado de una medición, por la cual este resultado se puede relacionar y/o referir a los patrones de referencias del más alto nivel, y a través de estos a las unidades fundamentales.

Proceso de calibración:

Operaciones previas:

1. Los pies de rey y demás instrumentos también deben estar durante 24 horas en un lugar acondicionado, a 20°C, con el fin de homogeneizar su temperatura.
2. La temperatura de calibración es de $20^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$, y la humedad relativa del aire de un $50\% \pm 15\%$.
3. Limpiar todos los elementos que componen en micrómetro, especialmente los contactos de medida y la escala.
4. Inspección visual.
5. Comprobar el correcto funcionamiento del equipo. Para ello, hacer un desplazamiento suave a lo largo de todo el recorrido, observando si en algún punto existe alguna alteración.
6. Comprobar la puesta a cero del equipo, tomando una medida en su campo mínimo y proceder al ajuste del tambor si es necesario.

Operaciones de calibración:

La calibración se realiza en:

- *Exteriores:* cuatro puntos de la escala, que dividen el campo de medida en tres intervalos iguales, reiterando cinco medidas en cada punto.
- *Interiores:* un punto de la escala, repitiendo cinco medidas en dicho punto.
- *Sonda:* un punto de la escala, repitiendo cinco medidas en dicho punto.

Asignación y corrección de la incertidumbre:

Este procedimiento es exactamente igual al que se ha seguido en el ejemplo anterior.

6.4- Fase 3. Análisis de necesidades. Equipos compartidos entre varias divisiones

Una vez explicados los procesos de asignación de referencias a equipos, se procederá a hacer una valoración del resultado obtenido. En el apartado anterior se ha explicado en base a qué se asigna una referencia a un equipo concreto. Se han llevado a cabo varios estudios para valorar la aptitud de un sistema de medición respecto unas necesidades concretas, y, por lo tanto, también la admisibilidad de un equipo.

Como se ha explicado, los estudios realizados son los resultados de sistemas de medición analizados particularmente, por lo que se deben hacer estudios similares con

todas las piezas con las que trabaja la compañía. En este aspecto, la empresa ya ha llevado a cabo muchos estudios de evaluación, por lo que internamente ya se vinculan equipos a referencias, aunque no sea de una manera organizada. Recordamos que ha sido una de las labores durante el proyecto, la asignación de las referencias trabajadas a los diferentes instrumentos de control.

Durante la vinculación se han llevado a cabo varios procesos de asignación. Por un lado, la vinculación de un número de referencia, el cual llama a una pieza de unas dimensiones y especificaciones concretas, con los códigos internos de los equipos de control de los armarios de taller. Por otro lado, la vinculación de dichos números de referencias con sus respectivos clientes. Por último, la vinculación de dichos clientes a las divisiones de la empresa, EAS y EAT.

Con el objetivo de simplificar y agilizar la vinculación de referencias a una cantidad tan grande de equipos, se recuerda que solo se ha volcado la información de una parte de las bases de datos de la compañía. A la hora de relacionar las referencias con sus respectivos clientes, se ha utilizado tanto la información de las carteras de compra actuales de las divisiones EAS y EAT, como las registradas anteriormente.

Uno de los resultados que se buscaba y por lo tanto se debe destacar, es que algunos de los instrumentos de control están relacionados con referencias de ambas divisiones. Valorando el porcentaje de uso de dicho equipo por cada división, se le reasignará su división definitiva, y notificaremos como necesidad de compra un equipo equivalente para la división restante.

6.4.1- Porcentaje de uso y toma de decisiones

A continuación, se presentarán los resultados del análisis de los equipos compartidos, para su posterior redistribución. Se recuerda que solo se han rastreado equipos registrados en una única base de datos, PAC. Además, se han identificado como equipos compartidos únicamente aquellos que estén en la cartera de compras. De esta manera, se despreciarán todos los equipos con referencias no vigentes, y se dará mayor importancia a los equipos con referencias actuales.

En el siguiente diagrama se muestra la distribución del uso de los equipos, clasificándolos por divisiones.

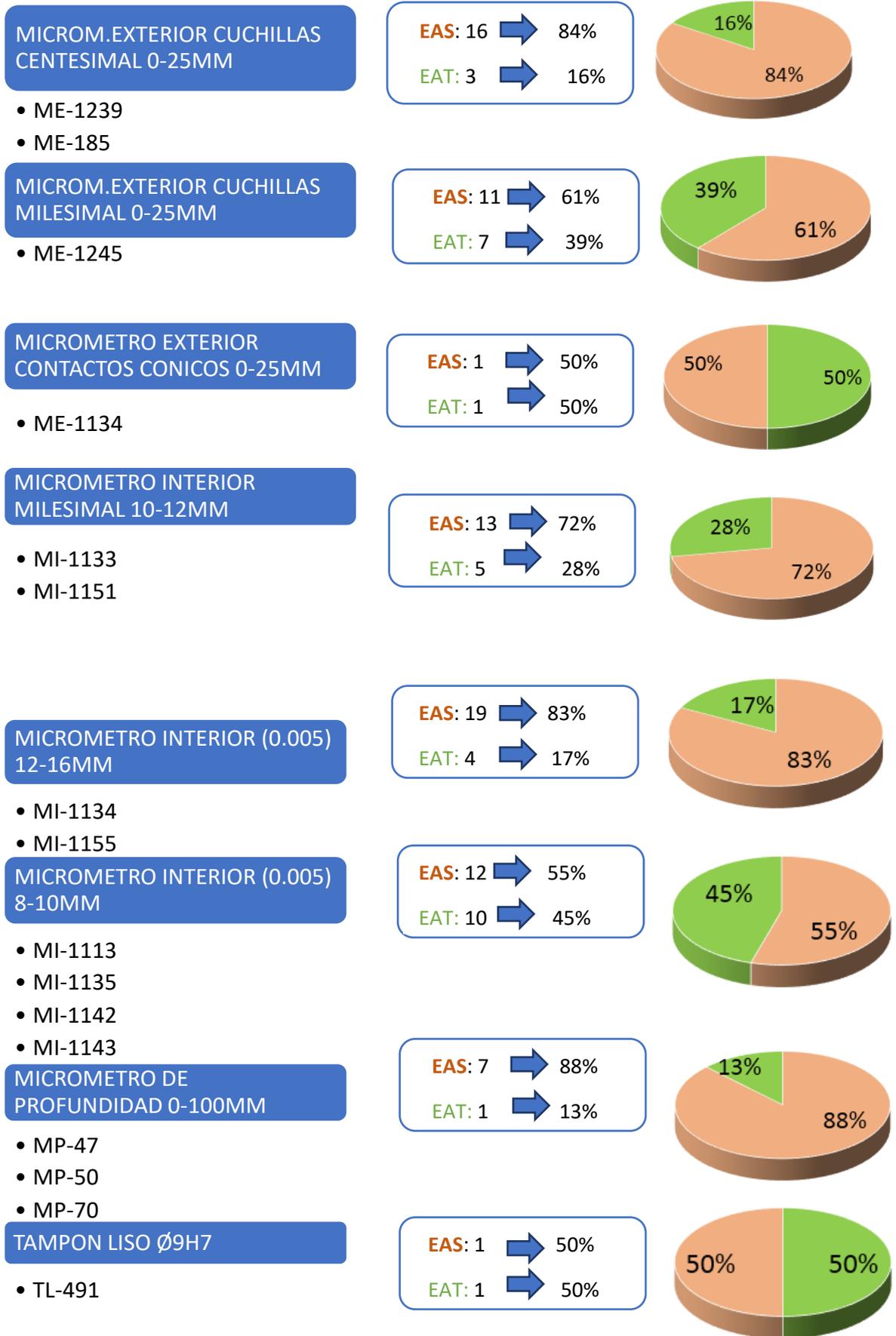


Gráfico 7. Porcentaje de uso por divisiones

El anterior diagrama muestra los resultados de la distribución de los equipos compartidos entre ambas divisiones, EAS y EAT, respecto las referencias vigentes. Los equipos están clasificados por denominación.

La sección izquierda del diagrama indica que existen varios equipos en los armarios con una misma denominación. Es decir, son equivalentes. También se indica la cantidad de referencias con la que trabaja cada denominación de equipos, y en definitiva cada equipo, ya que las referencias vinculadas a equipos equivalentes son las mismas.

Además de la cantidad de referencias, clasificadas por divisiones, se puede observar gráficamente la distribución de estas cantidades respecto las divisiones. Es decir, que porcentaje ocupan de la cantidad total de referencias vinculadas a dicho equipo.

En los siguientes apartados se estudiarán las necesidades de cada división, en base al estudio realizado en esta fase. Se analizará la cantidad de equipos que existen en Egile Mechanics, con las denominaciones indicadas en el diagrama. Finalmente, basándose en las cantidades de dicho equipos y las referencias con las que trabajan, se establecerán unas necesidades y se registrará el plan de compra.

6.5- Fase 4. Identificar equipos necesarios por división

6.5.1- Cantidad de referencias vinculadas a cada división

En este apartado se procederá a la clasificación de los clientes habituales de la compañía. El estudio se centrará en los equipos situados en los armarios de taller y cinemática, ya que se componen de equipos con alta probabilidad de ser compartidos. A continuación, se mostrarán la lista de clientes actuales, tanto de la división EAS como de la división EAT. La clasificación se simplificará a las divisiones EAS y EAT, ya que ambas son las más importantes del sector aeronáutico y comparten equipos de esta ubicación.

EAS (Egile Aero Systems):

- Safran Landing Systems (SLS)
- CESA
- Roxel France
- Fagor
- Navantia
- Alkan
- MMP
- Aubert Duval
- EADS Casa Sevilla
- Goodrich
- MBDA
- Piedrafita

- Sener Madrid
- Sevilla Control

La tabla 22 muestra de forma resumida las cantidades obtenidas de la base de datos PAC. Recordar que esta no es la única base de datos de la compañía, por lo que se considerará el estudio como un proyecto parcial y no se tratará de un resultado final.

La tabla 19 resume la cantidad de referencias a las que están vinculados los equipos de los armarios. Divididos por los diferentes armarios existentes y los clientes a los que pertenecen. Todos ellos pertenecientes a la división EAS.

ARMARIO	DIVISIÓN EAS							
	Referencias por Cliente Asociadas							
	SLS	CESA	Roxel	Fagor	Navantia	Alkan	MMP	Aubert
A.Taller-1	8	29	0	0	2	0	2	0
A.Taller-2	49	116	23	5	17	1	2	2
A.Taller-3	26	44	9	1	5	0	0	0
A.Taller-4	33	64	13	9	7	0	4	0
A.Cinemá	1	4	2	1	0	0	0	0
ARMARIO	DIVISIÓN EAS							TOTAL
	Referencias por Cliente Asociadas							
	EADS	Goodrich	MBDA	Piedraf.	Sener	Sev. Control		
A.Taller-1	0	4	0	0	1	0	36	
A.Taller-2	6	17	1	13	9	1	262	
A.Taller-3	0	2	0	1	5	1	94	
A.Taller-4	0	20	1	6	12	1	170	
A.Cinemá	0	0	0	0	0	0	8	

Tabla 19. Cantidad de referencias vinculadas a la división EAS, por armarios.

EAT (Egile Aero Transmission):

- Airbus
- Guimbal Helicopter Engines (GHE)
- Safran Helicopter Engines (SHE)
- Safran Power Units (SPU)
- Safran Transmission Units (STU)
- Aerotech
- Otros

La tabla 20 refleja la situación de las referencias pertenecientes a la división EAT. Una vez más, recordar que las referencias vinculadas a los equipos han sido únicamente las volcadas de una de las bases de datos, ya que hacerlo con las otras dos supondrá una labor mucho más laboriosa y fuera del alcance de este TFG.

“Estudio sobre la reducción y optimización de los equipos de medida en el sector aeronáutico”

En la siguiente tabla se observan las cantidades de referencias pertenecientes a clientes de la división EAT. Todas ellas están vinculadas a equipos ubicados en los armarios de taller y cinemática.

ARMARIO	DIVISIÓN EAT							
	Referencias por Cliente Asociadas							
	Airbus	GHE	SHE	SPU	STU	Aerotech	Otros	TOTAL
A.Taller-1	1	0	23	1	0	0	0	25
A.Taller-2	0	0	56	0	0	1	2	59
A.Taller-3	0	0	24	0	0	0	0	24
A.Taller-4	0	2	16	0	0	0	0	18
A.Cinemá	5	1	56	0	0	0	0	62

Tabla 20. Cantidad de referencias vinculadas a la división EAT, por armarios.

Como conclusión, se observa que la división EAS tiene una cantidad más elevada de referencias vinculadas a la misma. Sobre todo, en los equipos ubicados en los armarios de taller. Sin embargo, el armario de cinemática muestra una cantidad más elevada por parte de las referencias vinculadas a los clientes pertenecientes a EAT. Este factor es lógico, ya que este armario está situado en el área de cinemática, el cual es perteneciente a dicha división, EAT. Aun así, se observa que existen una cantidad de referencias, por muy reducida que sea, que pertenecen a la división EAS. Esto muestra la importancia que tiene llevar a cabo este TFG, ya que incluso en este armario existen equipos compartidos.

Por otro lado, se deben analizar ambas tablas con precaución, ya que no es posible sumar todas las cantidades de referencias para obtener un valor total, ya que existe la posibilidad que las referencias con las que trabaja un equipo situado en el armario de taller-1, también estén vinculadas a los equipos ubicados en cualquiera de los demás armarios. Por ello, como resultado general se tomará lo mostrado en la siguiente tabla.

DIVISIÓN EAS								
Referencias por Cliente Asociadas								
SLS	CESA	Roxel	Fagor	Navantia	Alkan	MMP	Aubert	TOTAL
78	165	29	9	23			2	377
EADS	Goodrich	MBDA	Piedraf.	Sener	Sev. Control			
6	27	1	15	20	2			
DIVISIÓN EAT								
Referencias por Cliente Asociadas								
Airbus	GHE	SHE	SPU	Aerotech	STU	Otro	TOTAL	
6	3	112	1	2	0	2	126	

Tabla 21. Resumen de cantidades de referencias vinculadas a cada división

Como muestra la tabla anterior, EAS es la división con mayor número de referencias vinculadas a la misma, de la compañía. Además, dicha división también es la que más maquinaria contiene y, en definitiva, la que más beneficios aporta al grupo.

Como conclusión anticipada, observando los resultados de la tabla anterior y asumiendo que la mayoría de las referencias pertenecen a clientes vinculados con la división Egile Aero Systems, se puede prever que gran parte de los equipos compartidos se asignan a esta división.

Las referencias rastreadas han sido las de una sola base de datos, pero se han vinculado tanto las que están en la cartera de compras actual como las que no. Es decir, en la tabla anterior se contabilizan todas las referencias obtenidas de dicha base de datos, aunque no se estén produciendo actualmente.

A continuación, se muestra la cantidad de equipos que se ha conseguido vincular a las diferentes referencias, clasificándolos por divisiones. Es decir, se clasifican los equipos únicamente asignados a las divisiones EAS o EAT, y los equipos vinculados a ambas divisiones.

Armarios	EAS	EAT	EAS+EAT	TOTAL	EQUIPOS EN ARMARIOS	NO VINCULADOS A REFERENCIAS
Armario taller-1	103	27	4	134	340	206
Armario taller-2	20	6	31	57	117	62
Armario taller-3	82	12	4	98	162	64
Armario taller-4	193	10	8	211	340	127
Armario cinemat.	4	38	2	44	112	68
TOTAL	402	93	47	546	1071	525

Tabla 22. Equipos asignados por divisiones

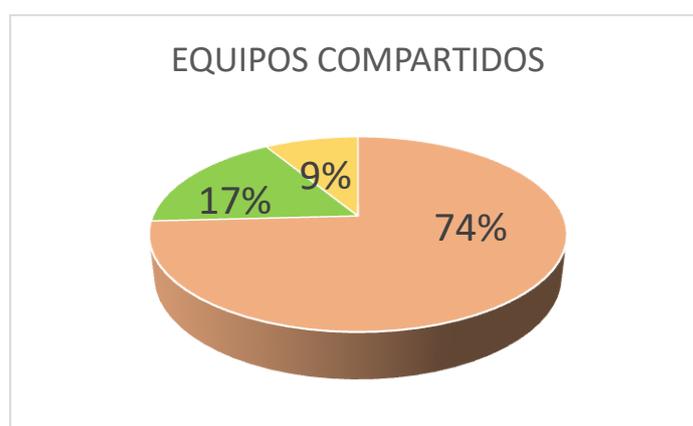


Gráfico 8. Equipos asignados por divisiones

Analizando tanto la tabla como el gráfico posterior, se observa que se han asignado divisiones para 546 equipos de los armarios de taller y cinemática. Si recordamos los

resultados del inventario, en esa ubicación existen 1071 equipos, por lo que se han asignado divisiones al 50.8% de los equipos existentes. Esto se debe a que se ha volcado información de una única base de datos, cómo se ha explicado previamente.

La división con mayor cantidad de equipos asignados, como ya se podría intuir es EAS (Egile Aero Systems), con 402 equipos y formando el 74% de los equipos estudiados. En segundo lugar, la división EAT (Egile Aero Transmissions), está vinculada a 93 equipos, formando el 17% de los equipos relacionados. Por último, se han detectado un total de 47 equipos, que forman el 9% de los equipos, que tienen referencias vinculadas a ambas divisiones.

6.5.2- Necesidades en función de cantidad de referencias. Necesidades de compra

A continuación, se analizarán las necesidades de compra de equipos nuevos. Para la clasificación y evaluación de necesidades se seguirán los siguientes pasos.

1. Clasificación de equipos compartidos, en base a sus características.
2. Cantidad de equipos “equivalentes” en los armarios de taller.
3. Cantidad de referencias vinculadas a cada equipo compartido. Clasificados por divisiones.
4. Cantidad de equipos con mismas características en toda la empresa.
5. Necesidad de compra de equipos nuevos.

En el ANEXO 7 se muestran los anteriores pasos, estudiando así todos los equipos compartidos entre ambas divisiones.

Analizando la tabla mostrada en dicho ANEXO, se obtendrán las siguientes conclusiones:

- Para la toma de decisiones respecto a las necesidades de compra de nuevos equipos se seguirán los siguientes principios:
 1. Cantidad de equipos con misma denominación en toda la empresa.
 2. Cantidad de referencias por cada división con la que se vincula ese grupo de equipos equivalentes.
 3. Cada equipo trabajará con un máximo de 5 referencias.
 4. Se decidirá si es necesaria la compra de nuevos equipos, si con los existentes no es suficiente para trabajar todas las referencias vigentes.

Siguiendo los principios mencionados, se ha decidido solicitar la compra de los siguientes equipos:

- MICROM.EXTERIOR CUCHILLAS CENTESIMAL 0-25MM X 1
- MICROM.EXTERIOR CUCHILLAS MILESIMAL 0-25MM X 1
- MICROMETRO INTERIOR MILESIMAL 10-12MM X 1
- MICROMETRO INTERIOR (0.005) 12-16MM X 2

En los próximos apartados se llevará a cabo el plan de compra para satisfacer dichas necesidades. También se mostrará el presupuesto, tanto de dicha compra como de la optimización realizada a lo largo del proyecto.

7- Descripción de los resultados

Como conclusión del proyecto, se clasificarán los resultados obtenidos en dos fases diferentes. Por un lado, se analizarán los resultados pertenecientes a la parte organizativa del proyecto. Es decir, los resultados obtenidos en cuanto al objetivo principal del mismo. Por otro lado, se resumirán y analizarán los resultados obtenidos de la fase práctica del TFG. Es decir, los resultados de los estudios MSA y análisis estadísticos posteriores.

7.1- Optimización y depuración del sistema

En la fase inicial del proyecto, en la cual se llevó a cabo un seguimiento y una posterior depuración del sistema de la compañía, se obtuvieron una serie de resultados, mostrados en la siguiente tabla:

	16/05/2019	03/06/2019	REDUCCIÓN	% DE REDUCCIÓN
EQUIPOS CALIBRATOR	3226	2700	526	16%
EQUIPOS RASTREADOS	2643	2594	49	2%
RESTAN	583	106	477	82%
CARTONERA	251	0	251	100%
EQUIPOS FUERA DE USO	42	0	42	100%

Tabla 23. Depuración del sistema

La tabla 23 muestra la comparativa entre el estado inicial y final de la empresa. Muestra las cantidades de equipos registrados, previamente clasificados, en dos fechas significativas para el proyecto. Recordar que la clasificación de los instrumentos de control también ha sido una de las tareas realizadas.

La primera columna refleja los datos registrados el 16 de mayo de 2019, fecha en la cual se dio por finalizado el inventario, después de rastrear los equipos en múltiples ocasiones. En segundo lugar, la segunda columna muestra las cantidades registradas el 3 de junio de 2019, después de haberse llevado a cabo las decisiones explicadas en el próximo apartado.

Por último, las últimas dos columnas muestran tanto la diferencia de cantidades registradas entre ambas fechas como el porcentaje de dicha diferencia. Como

resultado de la optimización, destacar que se ha limpiado el sistema en un 16% de los códigos con los que se partía inicialmente.

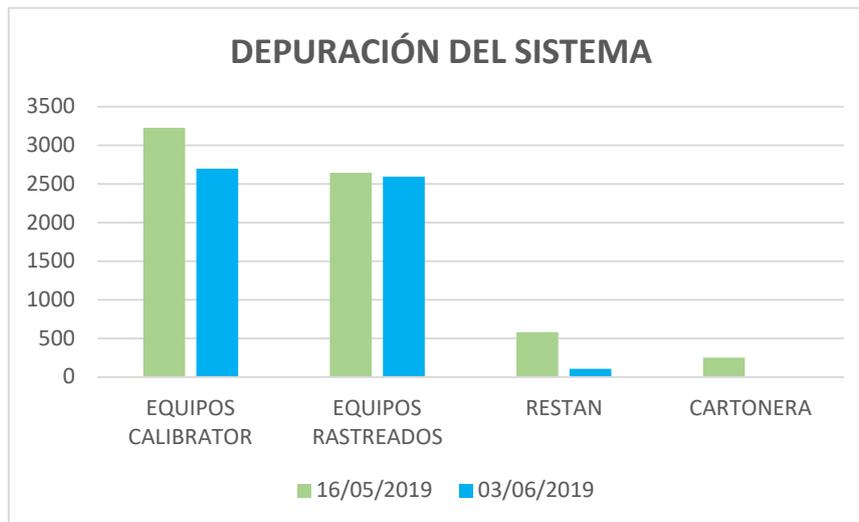


Gráfico 9. Depuración del sistema

El gráfico 9 muestra la reducción mencionada en cada una de las partes clasificadas. Se observa como el número total de código ha disminuido notablemente. Además, se observa como la localización “Cartonera” ha sido eliminada, ya que solo suponía un coste innecesario que se explicará en la parte de: Optimización en la gestión.

En cuanto a la previsión inicial, el proyecto se considera positivo, ya que se ha depurado el sistema notablemente. Además, los resultados del inventario inicial están muy próximos a los previstos al comienzo del proyecto. Aún así, se debe recordar que se ha trabajado con un 50% de los equipos registrados. Por lo tanto, el resultado no se considerará concluyente.

7.2- Análisis MSA

En cuanto a los estudios MSA llevados a cabo; se debe destacar la importancia de dichos estudios de mediciones en los sectores de fabricación, y en concreto, en el sector aeronáutico.

La fabricación de piezas de cualquier sector debe estar dentro de una tolerancia de aceptación. Dicha tolerancia varía dependiente del sector del que se trate y la precisión necesaria de dichas piezas. En el sector aeronáutico, dicha precisión debe ser tan estricta que la fase de control y calidad de las piezas es, si cabe, casi más importante que la propia fabricación.

A continuación, se muestran los pasos a seguir en la producción de piezas mecanizadas:

1. Plano: El proceso parte con la lectura del plano de diseño de la pieza, el cual muestra las cotas y tolerancias deseadas de la pieza.
2. Mecanizado: se lleva a cabo el mecanizado de la pieza, el cual intentará reproducir lo reflejado en el plano.
3. Control de calidad: después de los procesos de mecanizado, se lleva a cabo el control de aptitud de la pieza. Es decir, se analizará si la pieza entra dentro de la tolerancia aceptable.
4. Toma de decisiones: siendo la pieza no apta, se decidirá si es reparable o no.

El análisis MSA forma parte del tercer apartado del proceso. Recordar que dicho estudio no muestra si la pieza es apta o no, si no que indica si el sistema completo de mediciones es correcto. Dentro de dicho sistema se tienen en cuenta los siguientes factores:

1. Instrumento de medida.
2. Pieza.
3. Personal.
4. Entorno.

Todos los factores anteriores se deben tener en cuenta a la hora de diseñar un estudio MSA, y determinar la aptitud de este.

Durante el TFG, se han llevado a cabo 4 estudios MSA. Se ha intentado explicar, de manera práctica, la manera de asignar equipos de control a necesidades de piezas determinadas. Se ha realizado el estudio con dos referencias diferentes. Ambas referencias están en cartera actualmente.

- La primera pieza con la que se ha realizado el estudio es una pieza del cliente Safran Landing Systems, con referencia 0292117260, perteneciente a la división Egile Aero Transmission (EAT). Se han analizado dos cotas independientes, con dos equipos de control diferentes, dando como resultado: una claramente NO APTO y la otra ligeramente por encima del límite de aptitud (Estudio MSA, 2019).
- La segunda pieza estudiada es del cliente CESA, con referencia CE800010-0301, perteneciente a la división Egile Aero Systems (EAS). Nuevamente se ha llevado a cabo el estudio de dos cotas independientes mediante dos equipos de control diferentes. Como resultado, ambos estudios han sido aptos (Estudio MSA, 2019).

La pieza de CESA, la cual ha dado como resultados los dos estudios aptos, es una pieza la cual está 100% acabada, por lo que la aptitud de dichos análisis indica que el sistema completo es correcto para el control de dichas piezas.

Sin embargo, la pieza de SAFRAN, no está acabada ya que se trata de una cota de proceso, por lo que la NO APTITUD del estudio que ha dado como resultado ligeramente por encima del límite aceptable, no indica rotundamente que el sistema no sea correcto, sino que habría que llevarlo a cabo, de nuevo. Por otro lado, el

“Estudio sobre la reducción y optimización de los equipos de medida en el sector aeronáutico”

estudio realizado mediante el calibre analógico si se considera incorrecto, ya que como se muestra en el propio estudio, supera con creces el límite aceptado.

De esta manera se determina la validez de un sistema de mediciones para el control de una pieza concreta. Como se ha explicado, la empresa realiza dichos estudios antes de realizar el control de dichas piezas en producción.

8- Fase 5. Optimización en la gestión, plan de proyecto y planificación

Durante el proyecto se han encontrado con una serie de impedimentos que ralentizaban el objetivo. A continuación, se explicarán cuáles han sido estos problemas y qué decisiones se han tomado para encontrar la solución más apropiada.

En primer lugar, se analizará el siguiente dato:

Número de equipos registrados en Calibrator al inicio del proyecto: 3.226.

Número de equipos registrados en Calibrator al final del proyecto: 2.700.

Obviamente ha habido una reducción notable en el número de equipos registrado. Se observa que se han eliminado cerca de 500 códigos de equipos, lo que supone un 16.3% de los equipos totales existentes al inicio del proyecto. Uno de los objetivos del proyecto era agilizar la gestión de los equipos, por lo que se ha contribuido en dicha tarea. Esta reducción se debe a las siguientes decisiones que se han tomado a lo largo del proyecto:

En primer lugar, existían una serie de códigos creados para referencias concretas que físicamente son inexistentes. Es decir, un mismo equipo de control podía estar codificado varias veces, ya que existía su codificación física como equipo de control y también su codificación como equipo usado en una referencia concreta. Todos estos códigos, denominados dentro de la familia PAC-XXXX, han sido eliminados. De esta manera nos hemos deshecho de cerca de 100 códigos internos, los cuales no tenían ninguna utilidad.

Por otro lado, se han eliminado todos aquellos códigos relacionados con equipos que pertenecen al proveedor o al cliente y que se le ha devuelto a su respectivo propietario. Es decir, estos equipos no han sido nunca propiedad de Egile, pero por diferentes circunstancias han sido prestados tanto por los diferentes proveedores como por algunos clientes. Para estos equipos también fue necesaria su codificación para poder ser identificados internamente. De este grupo de equipos, los cuales no pertenecen a la compañía y suman un 2.5% de los equipos existentes iniciales, solo se eliminarán aquellos equipos que consta que jamás volverán al taller de Egile Mechanics, por lo que sí se dejarán los equipos que seguirán utilizándose en el futuro.

Por último, otra de las decisiones tomadas en el equipo de calidad ha sido eliminar los códigos de equipos pertenecientes a la ubicación de “cartonera”. Esta ubicación se

considera una especie de almacén para todos aquellos instrumentos a los cuales se les ha prolongado la fecha de calibración en varias ocasiones.

Como ya se ha explicado en la fase del proyecto correspondiente a calibraciones, a los equipos enviados a calibrar se les aplica cera. De tal manera que, si en su siguiente fecha de calibración el equipo mantiene la cera, se considera que ese equipo no ha sido utilizado entre ambas fechas, por lo que se le amplía la fecha de calibración. Esto supone una reducción en el coste económico de las calibraciones. Si los equipos han registrado una ampliación en su fecha en varias ocasiones, su ubicación se cambiará a la de “cartonera”, mencionada anteriormente. Se ha decidido eliminar la codificación de estos equipos, ya que se consideran de uso muy restringido y no están en absoluto accesibles al equipo de operarios de la compañía. Solo el departamento de calidad tendrá accesibilidad a estos instrumentos de control.

Decisiones respecto a los equipos encontrados y registrados “fuera de uso”

Durante la fase del inventario se localizaron aproximadamente 40 equipos que en el sistema, Calibrator, aparecían como fuera de uso. A continuación se muestran las acciones tomadas en base a esos equipos:

1. No se localizan (5): una vez realizado el recuento del inventario, a la hora de retirarlos no se han vuelto a localizar.
2. Enviados a calibrar (17): se envían a calibrar y no todos ellos reciben un resultado positivo:
 - 2.1: 15 equipos reciben un informe de calibración se volverán a dar de alta en el sistema.
 - 2.2: 2 equipos seguirán pendientes de validación, de dicha calibración.
3. Retirados de taller (16): se retiran del taller ya que están registrados como fuera de uso y se comprueba que no cambiarán su aptitud. Se retiran tanto al mencionado almacén denominado “cartonera”, como al armario 16 del departamento de calidad, reservado para equipos de uso concreto, como es el caso.

Plan de proyecto futuro:

Como se ha mencionado, el proyecto no se considera concluyente, ya que solo se han definido la mitad de los equipos registrados en el sistema. Por lo tanto, el hito más importante de llevar a cabo en el futuro próximo de la empresa es el siguiente:

- Definir el cliente y la división de los equipos restantes, para su próxima redistribución.

“Estudio sobre la reducción y optimización de los equipos de medida en el sector aeronáutico”

Para satisfacer dicha tarea, se tendrán que tomar una serie de decisiones fuera del alcance de este TFG, ya que, como se comentaba previamente, no se ha conseguido definirlos con el método seguido en el proyecto.

Por otro lado, se quiere garantizar que el proyecto sea eficiente y duradero, por lo que se proponen las siguientes tareas para un futuro proyecto de la compañía:

1. *Evitar dar de alta equipos que no tengan planos asignados:* Como se ha observado, se han eliminado una cantidad de códigos que no hacen referencia físicamente a ningún equipo. Esto crea un coste computacional y de tiempo que se podría minimizar de la siguiente forma. Únicamente se registrarán códigos que lleven asignados sus correspondientes planos de diseño y fabricación.
2. *Rentabilidad de la calibración de los equipos:* A lo largo del proyecto se ha observado que la calibración de algunos equipos se hace de manera sistemática. En concreto, existen una serie de equipos que únicamente están capacitadas para realizar dos calibraciones, dando la tercera como resultado negativo. Por lo tanto, ante estas situaciones, se considera más óptimo realizar una propuesta de compra antes de enviarlo a calibrar por tercera vez. Se refiere a equipos que tienen un coste de 90€ y cada calibración tiene un coste de 30€.
3. *Eliminar código de equipos no vigentes:* Uno de los objetivos parciales del proyecto era eliminar equipos no vigentes. En concreto, existen cerca de 100 equipos de tipo UVER-XXXX, que están vinculados a referencias que no están en cartera. Se propone eliminar el código de equipos que se encuentren en el mismo estado. Una vez se realice dicha tarea, se podrá considerar si dichos equipos son aptos para prolongar su función dentro de la compañía o si por lo contrario, deben ser eliminados por completo.

8.1- Descripción del presupuesto

Presupuesto económico:

El objetivo del proyecto trataba de optimizar y agilizar el uso de los equipos de control dentro de la empresa Egile Mechanics, S.L. Para ello, se han tomado una serie de decisiones en cuanto a la depuración del sistema, explicadas en el apartado anterior.

Además, como se indica en el apartado de necesidades de compra, se ha decidido comprar una serie de equipos nuevos. Dicha compra supone una inversión inicial, pero se considera necesaria para la posterior redistribución de la compañía. La tabla 24 muestra dicha inversión económica:

DESCRIPCIÓN	FABRICANTE	PRECIO (€)	CANTIDAD	PRECIO TOTAL (€)
MICROM.EXTERIOR CUCHILLAS CENTESIMAL 0-25MM	MITUTOYO	293	1	293
MICROM.EXTERIOR CUCHILLAS MILESIMAL 0-25MM	MITUTOYO	896	1	896
MICROMETRO INTERIOR MILESIMAL 10-12MM	MITUTOYO	318	1	318
MICROMETRO INTERIOR (0.005) 12-16MM	MITUTOYO	375	2	750
				2257€

Tabla 24. Presupuesto de compra de equipos

La tabla anterior indica que la inversión a realizar es de 2.257 €. Dicha cifra puede considerarse relativamente baja, de poca importancia (Hoffmann, 2019) (Unceta, 2019).

Se debe considerar que el estudio se ha llevado a cabo únicamente con una de las bases de datos con las que la compañía trabaja y que los equipos vinculados a referencias han sido de cerca del 50% de equipos totales registrados en los armarios. Por lo tanto, se puede prever que la inversión final estaría cerca de los 5.000 €.

Además, la tabla 24 indica la inversión a realizar por la compra de únicamente cinco instrumentos de control, lo cual refleja claramente el precio elevado de estos equipos y muestra la gran importancia del proyecto realizado.

Se considera que no ha sido un proyecto con un gran impacto económico, en cuanto a la compra de instrumentos de control. Dicha compra no ha sido la única inversión a realizar por la empresa dentro del proyecto realizado. Recordar que se han llevado a cabo una serie de estudios MSA, con sus respectivos controles estadísticos.

Los cuatro equipos utilizados en el análisis de mediciones no se consideran en el presupuesto del proyecto, ya que se trata de equipos existentes en la empresa y utilizados diariamente que únicamente han trabajado para llevar a cabo una serie de mediciones. Por otro lado, las piezas con las que se ha trabajado en dicho análisis tampoco se consideran en el balance económico, ya que se tratan de piezas que están dentro de la cadena de producción. Por lo tanto, no han sido fabricadas para llevar a cabo dicho análisis.

Sin embargo, si se debe considerar el tiempo invertido para llevar a cabo este estudio de optimización. El análisis MSA ha supuesto que seis inspectores realicen mediciones durante una hora, cada uno de ellos, lo cual supone un coste 72€.

Por otro lado, el cómputo global de horas invertidas en la realización de este TFG, en colaboración con Egile Mechanics ha sido superior a las 400 horas. Dicho tiempo de trabajo también se debe considerar a la hora de realizar un balance económico, suponiendo para la empresa una cifra cercana a los 1.500€.

Optimización de tiempo de trabajo:

Por otro lado, se ha mencionado la optimización de gestión. Los equipos dados de alta en Calibrator tienen una fecha interna de próxima calibración, la cual se le recuerda automáticamente al responsable de calibraciones de la empresa, a medida que dicha fecha se aproxima. Esta persona se encarga de las calibraciones siguiendo los siguientes pasos:

1. Recoger el instrumento de su ubicación.
2. Aportar, si es necesario, un sustituto temporal de dicho instrumento.
3. Enviar a calibrar, interna o externamente.
4. Recibir el instrumento y clasificar el informe de calibración en Calibrator.
5. Volver a dejar el instrumento en su ubicación inicial.

Se considera una tarea muy laboriosa, la cual necesita tiempo, ya que se trata de una cantidad muy elevada de equipos calibrados mensualmente.

Mediante el proyecto realizado, se considera que, además de una optimización económica, se ha conseguido también una optimización del tiempo de trabajo. La reducción del 16% de la cantidad total de equipos en Calibrator, quiere decir que exactamente esa cantidad de equipos dejarán de indicar su próxima fecha de Calibración, lo cual agilizará el tiempo de trabajo del personal de calibraciones. Además, los equipos ubicados en “Cartonera”, no volverán a indicar su fecha de próxima calibración, lo cual es muy interesante, ya que se tratan de instrumentos de control que no se han utilizado desde su anterior calibración y que se les ha prolongado la fecha en varias ocasiones.

9- Conclusiones

Debido a la implicación personal diaria en la empresa, la realización del proyecto ha supuesto una gran experiencia en cuanto a la gestión interna de la empresa, en concreto dentro del sector de calidad y calibraciones.

Las primeras fases del proyecto no han sido plenamente reflejadas en la memoria de este TFG, ya que detrás de ellas hay una gran labor de preparación y seguimiento interno para poder llevar a cabo las siguientes tareas.

A lo largo del estudio, han habido baches que han llevado al estancamiento de de las siguientes fases. Como ejemplo, mencionar que conseguir una “foto” de la situación inicial ha costado más de lo previsto, ya que cerca de 500 equipos han sido encontrados cuando la compañía ha sido rastreada por segunda vez. Además, la propuesta inicial del proyecto no contaba con que no se pudiera hacer el seguimiento de todos los equipos registrados en el sistema, pero debido a los diferentes orígenes

de la información en dicho sistema interno, solo se ha podido estudiar, aproximadamente, un 50% de la información.

Sin embargo, la realización de los diferentes estudios MSA han añadido un valor técnico al proyecto. La familiarización con los equipos de control utilizados en las mediciones han aportado una gran habilidad y destreza, tanto con el propio instrumento como con la lectura e interpretación de datos posterior.

La evolución en cuanto a la destreza a la hora de comunicarse con los trabajadores de la compañía también ha sido notable, ya que a lo largo de las diferentes fases se ha necesitado la colaboración de diferentes miembros de la compañía. Tanto la comunicación con los operarios como con los miembros del equipo de ingeniería y de calibraciones ha sido vital para llevar a cabo este TFG.

Como conclusión, mencionar que el proyecto ha sido la muestra perfecta de lo que aporta el Grado en Ingeniería Mecánica, adquiriendo destreza técnica y de interpretación de resultados y, a su vez, capacidad de gestión interna de una empresa del sector aeronáutico. Además, la redacción de la memoria aporta una serie de aptitudes no desarrolladas durante los cursos anteriores.

10- Bibliografía

Cadenas, J. G. (20 de mayo de 2019). *Método Montecarlo*. Obtenido de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/measurement-system-analysis/how-to/gage-study/expanded-gage-r-r-study/interpret-the-results/key-results/>

Egile. (5 de abril de 2019). *Egile*. Obtenido de <https://www.egile.es/>

Egile. (2019). *Estudio MSA*. Mendaro.

Estudio MSA. (10 de mayo de 2019). Obtenido de <https://spcgroup.com.mx/msa/>

González, R. (10 de mayo de 2019). Obtenido de <https://www.pdcahome.com/2340/estudios-rr-evaluacion-en-la-medicion/>

Hoffmann. (27 de mayo de 2019). *Hoffmann*. Obtenido de <https://www.hoffmann-group.com/ES/es/ho>

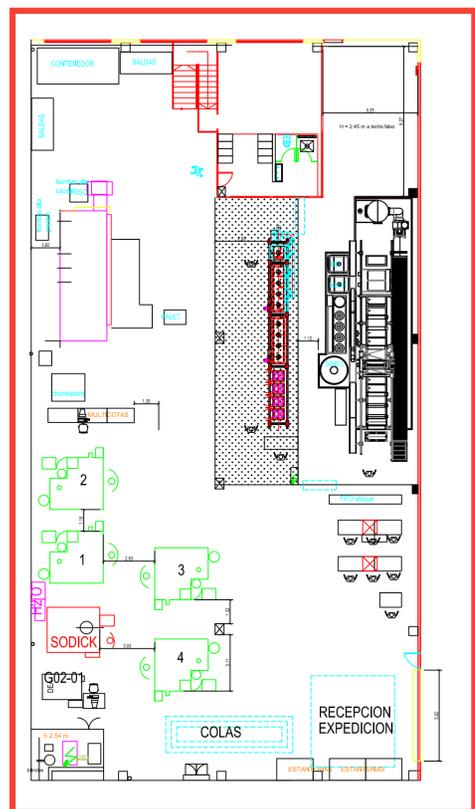
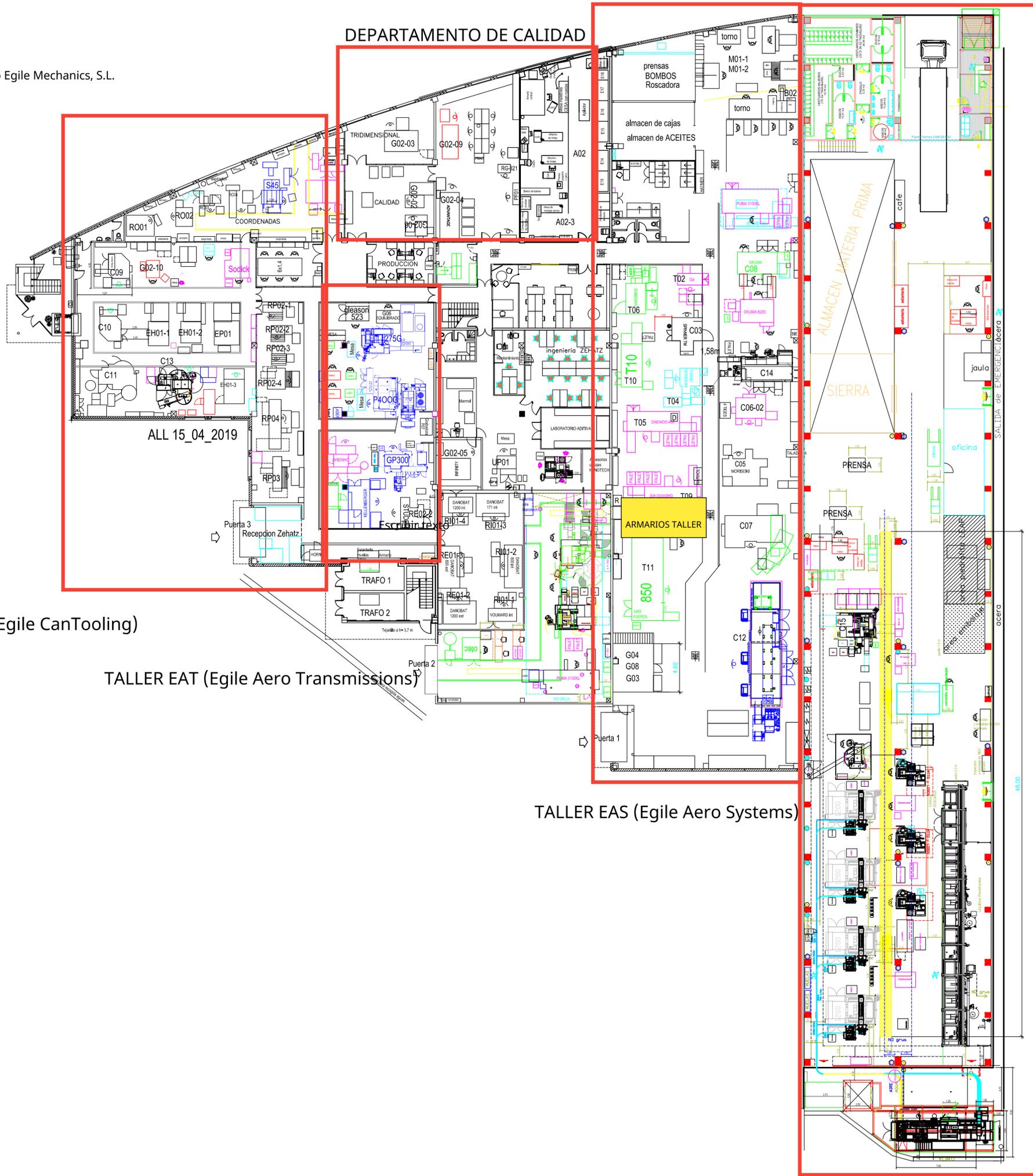
Minitab. (15 de mayo de 2019). *Interpretacion de resultados*. Obtenido de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/measurement-system-analysis/how-to/gage-study/expanded-gage-r-r-study/interpret-the-results/key-results/>

Minitab. (20 de mayo de 2019). *Minitab*. Obtenido de <https://www.minitab.com/es-mx/>

Unceta. (27 de mayo de 2019). *Unceta*. Obtenido de <https://ecommerce.unceta.es/metrologia-dimencional-y-dinamometria.html>

11- Anexos

Anexo 1. Plano Egile Mechanics, S.L.



TALLER FOREA

TALLER ECT (Egile CanTooling)

TALLER EAT (Egile Aero Transmissions)

TALLER EAS (Egile Aero Systems)

TALLER EAE (Egile Aero Engines)

ANEXO 2. Descripción de maquinaria.

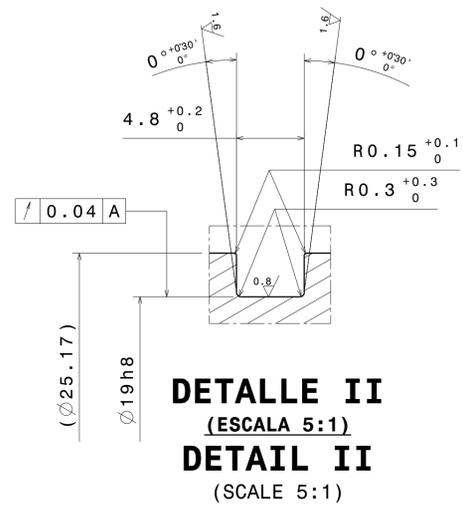
CÓDIGO	MÁQUINA	DIVISIÓN	SUBDIVISIÓN	FAMILIA/TIPO
C03	SPINNER TM	EAS	Maquinaria	Torno
C05	CENTRO MORI-SEIKI	EAS	Maquinaria	Centro mecanizado
C06-2	FMS KONDIA EROWA	EAS	Maquinaria	
C07	CENTRO MATSUURA	EAS	Maquinaria	Centro mecanizado
C14	PUMA SMX 3100S	EAS	Maquinaria	Torno
C15	ALZMETALL GS800	EAS	Maquinaria	Centro de mecanizado
C12	WFL	EAS	Maquinaria	
T02	TORNO SPINNER PD	EAS	Maquinaria	Torno
T04	TORNO MORI SEIKI	EAS	Maquinaria	Torno
T05	TORNO DAEWOO PUMA 400LM	EAS	Maquinaria	Torno
T07	TORNO DAEWOO PUMA 700L	EAS	Maquinaria	Torno
T09	TORNO DAEWOO PUMA 400LM	EAS	Maquinaria	Torno
T10	TORNO HITECH450ALYMC	EAS	Maquinaria	Torno
T11	TORNO HITECH850LYMC	EAS	Maquinaria	Torno
B03	BRUÑIDORA	EAS	Maquinaria	Bruñidora
C08	OKUMA	EAT	Maquinaria	
C08--2		EAT	Maquinaria	

T12	TORNO DOOSAN Puma 3100XLY	EAT	Maquinaria	Torno
A01	DPTO. ACABADOS	EAT	Maquinaria	
C21		EAT	Maquinaria	
P07	MARCADORA	EAT	Maquinaria	Marcadora
275G	Phoenix 275G	EAT	Gleason	Rectificadora
P400G	GLEASON P400G	EAT	Gleason	Rectificadora
GP300	GLEASON GP300 ES	EAT	Gleason	Fresadora
G02-06	GLEASON 350 GMS	EAT	Gleason	Tridimensional
523	Máquina de rodadura	EAT	Gleason	
G06		EAT	Gleason	
RE02-2		EAT	Studer	
RE02	RECTF. C.N.C. KELLENBERGER	EAT	Kellembur	Rectificadora
T06	TORNO HARDINGE	ECT	Maquinaria	Torno
C19	CENTRO MEC ALTA VELOCIDAD HERMLE C400	ECT	Maquinaria	Centro mecanizado
A01	DPTO. ACABADOS	ECT	Maquinaria	
A02	MONTAJE	ECT	Maquinaria	
C09	CENTRO HERMLE C600U	ECT	Mecanizado ZEHAZT	Centro mecanizado
C10	CENTRO HERMLE C600V	ECT	Mecanizado ZEHAZT	Centro mecanizado
C11	CENTRO MIKRON HSM 600	ECT	Mecanizado ZEHAZT	Fresadora
C13	CENTRO MIKRON HSM 400	ECT	Mecanizado ZEHAZT	Fresadora

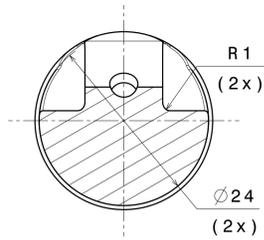
RC03	RECTF PUNTEADORA MOORE G-18	ECT	Coordenadas	Rectificadora
RC04	RECTF PUNTEADORA MOORE G-48	ECT	Coordenadas	Rectificadora
RC05	RECTF PUNTEADORA HAUSER S-35	ECT	Coordenadas	Rectificadora
RC06	RECTF PUNTEADORA HAUSER S-45	ECT	Coordenadas	Rectificadora
RO01	RECTF. PERFILES LOEWE	ECT	Coordenadas	Rectificadora
RO02	RECTF PERFILES PETEWE	ECT	Coordenadas	Rectificadora
RP01	RECTF. PUNTO MYL	ECT	Coordenadas	Rectificadora
RP02-1	PLANEADO JONES- SHIPMAN 540 X	ECT	Planeadoras	Planeadora
RP02-2		ECT	Planeadoras	Planeadora
RP02-3	PLANEADO JONES SHIPMAN 540	ECT	Planeadoras	Planeadora
RP02-4	PLANEADO BLOHM- digit	ECT	Planeadoras	Planeadora
RP03	PLANEADO GER	ECT	Planeadoras	Planeadora
RP04	PLANEADO C.N.C. BLOHM	ECT	Planeadoras	Planeadora
RE01-2	RECTF EXTERIORES DANOBAT 1200	ECT	Cilíndricas	Rectificadora
RE01-3	RECTF EXTERIORES DANOBAT 800	ECT	Cilíndricas	Rectificadora
RI01-1	RECTF. INTERIORES VOUMARD	ECT	Cilíndricas	Rectificadora
RI01-2	RECTF. INTERIORES	ECT	Cilíndricas	Rectificadora

	DANOBAT 800			
RI01-3	RECTF. INT./ EXTE. DANOBAT 171-RE	ECT	Cilíndricas	Rectificadora
RI01-4	RECTF. DANOBAT 1200	ECT	Cilíndricas	Rectificadora
EH01-1	HILO AGIECUT PROGRESS	ECT	Electroerosión	Electroerosión
EH01-2	HILO AGIECUT PROGRESS	ECT	Electroerosión	Electroerosión
EH01-3	ONA Electroerosión	ECT	Electroerosión	Electroerosión
EH01-4	AGIE CHARMILLES progress V3	ECT	Electroerosión	Electroerosión
EP01	EROSION ROBOFORM 2400	ECT	Electroerosión	Electroerosión
EP01-2	SODICK AG60L	ECT	Electroerosión	Electroerosión
EP01-3	SODICK TALADRADO	ECT	Electroerosión	Electroerosión
EP02		ECT	Electroerosión	Electroerosión
EH03-1	ELECTROEROSION HILO ONA-1	EAE	Electroerosión Forea	Electroerosión por hilo
EH03-2	ELECTROEROSION HILO ONA-2	EAE	Electroerosión Forea	Electroerosión por hilo
EH03-3	ELECTROEROSION HILO ONA-3	EAE	Electroerosión Forea	Electroerosión por hilo
EH04	ELECTROEROSION HILO ONA-4	EAE	Electroerosión Forea	Electroerosión por hilo
LA01+LL01		EAE	Línea de ataque NGV	Tratamiento químico
C16	ALZMETAL GS1200	EAE	Rectificado NGV	Rectificado
EP04	ONA ELECTRO- EROSION QX4	EAE	Electroerosión NGV	Electroerosión
LINEA LIQ. NVG		EAE	Inspección visual NGV	Inspección mediante liq. penetrantes

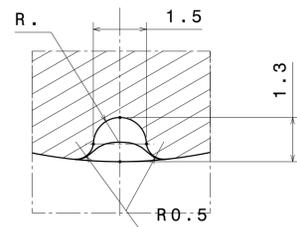
Tabla 25. Codificación y tipo de máquinas de la empresa.



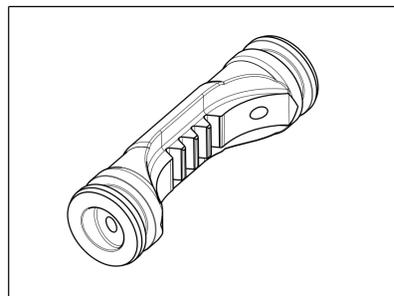
DETALLE II
(ESCALA 5:1)
DETAIL II
(SCALE 5:1)



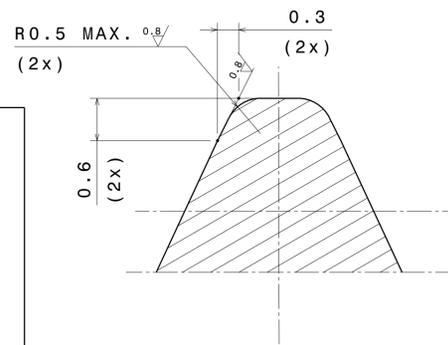
SECCION C-C
SECTION C-C



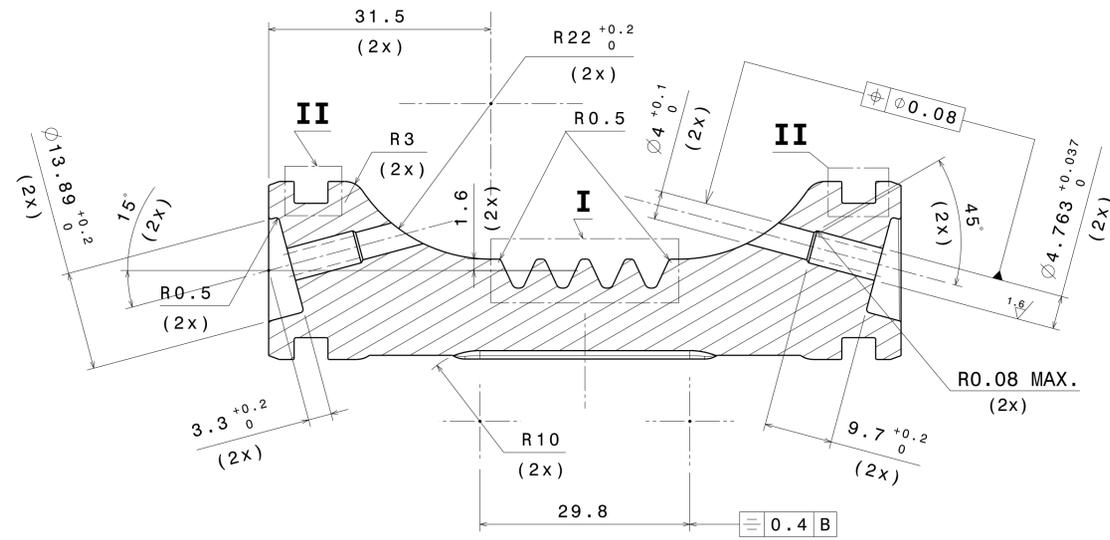
DETALLE III
(ESCALA 10:1)
DETAIL III
(SCALE 10:1)



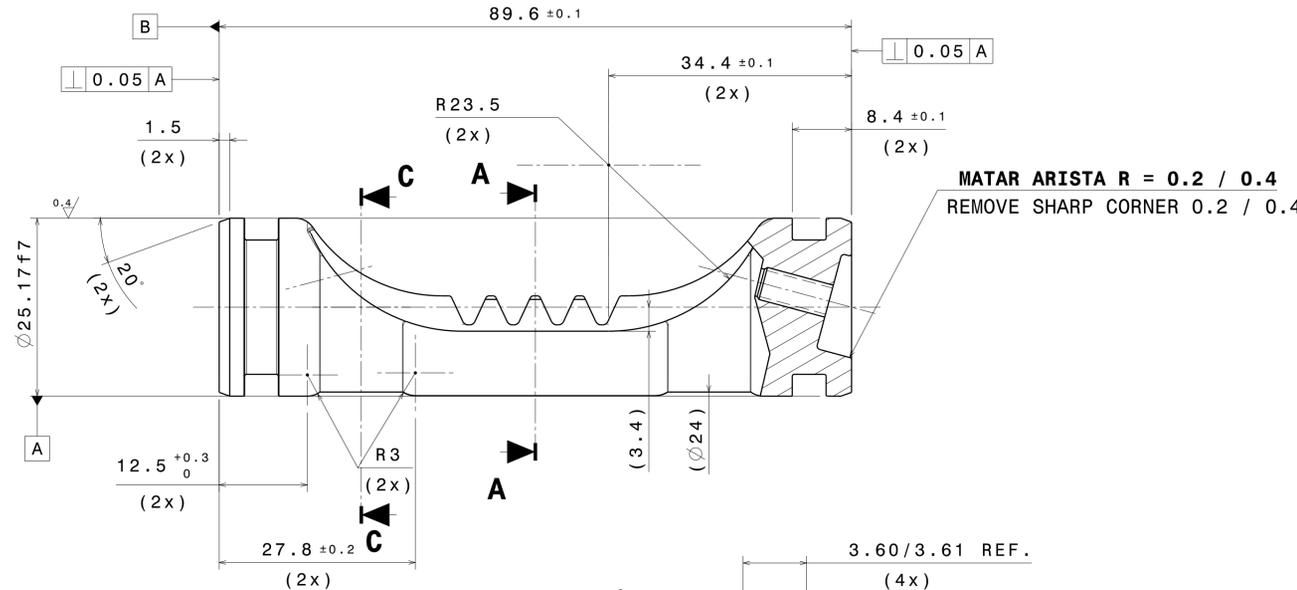
(ESCALA 1:1)
(SCALE 1:1)



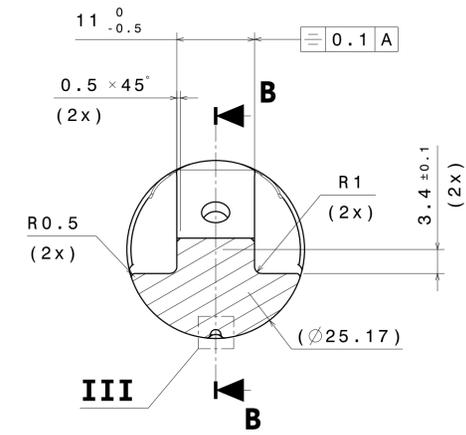
DETALLE IV
(ESCALA 20:1) (3x)
DETAIL IV
(SCALE 20:1)



SECCION B-B
SECTION B-B



MATAR ARISTA R = 0.2 / 0.4
REMOVE SHARP CORNER 0.2 / 0.4



SECCION A-A
SECTION A-A

NOTAS:

- RADIOS DE FONDO NO ACOTADOS = 0.2 / 0.4.
- REDONDEAR ARISTAS VIVAS CON R = 0.2 / 0.4.
- TOLERANCIAS DE FORMA Y POSICION SEGUN DIN 7184.
- TRATAMIENTO TERMICO "TN140" SEGUN I+D-P-225 E I+D-M-180. RESISTENCIA 1400 / 1550 MPa.
 - NITRURAR TODA LA PIEZA, EXCEPTO LA SUPERFICIE MARCADA CON "-----" SEGUN I+D-P-218, TIPO3, CLASE B, PARA CONSEGUIR UNA DUREZA SUPERFICIAL MINIMA DE 850HV. Y UN ESPESOR MINIMO DE 0.45 mm.
 - DESPUES DEL NITRURADO QUITAR CAPA BLANCA SEGUN EP-218 ANEXO II (PROCESO WP-432 DE LUCAS AEROSPACE)

NOTES:

- UNSPECIFIED RADII OF DEPTH = 0.2 / 0.4.
- REMOVE SHARP CORNERS WITH R = 0.2 / 0.4.
- GEOMETRIC AND POSITION TOLERANCES AS PER DIN 7184.
- HEAT TREATMENT "TN140" ACCORDING TO I+D-P-225 AND I+D-M-180. STRENGTH 1400 / 1550 MPa.
 - NITROGEN-HARDENING ON ALL SURFACES, EXCEPT SURFACES MARKED THUS "-----" ACCORDING TO I+D-P-218, TYPE 3, CLASS B, TO OBTAIN MINIMUM HARDENESS OF 850 Hv. AND A MINIMUM THICKNESS OF 0.45 mm.
 - AFTER NITROGEN-HARDENING REMOVE WHITE LAYER AS PER EP-218 ANNEX II (PROCESS WP-432 OF LUCAS AEROSPACE).



4 40CDV12 T140		0.199kg	AIR9160/C	
PROJECTION	IDENTIFICATION OF THE PART (MARKING PER ISO 15780)			
TOLERANCE NOT STATED				
DIMENSION	IS02768-m-H IS01101	ISO1302	Class as per EC0044	IDENTIFY as per EC0044 (NO or BATCH or S/N)
GEOMETRIC		EDGES Round off R = 0.2 = 0.4	SURFACE ROUGHNES (Ra)	
FILLET RADIUS R = 0.2 = 0.4		3.2	1.6 0.8 0.4	03
TITLE:		(PISTON)		
		Scale 2:1 (1:1) (5:1) (10:1) (20:1)		

DFP PA

FASE 2

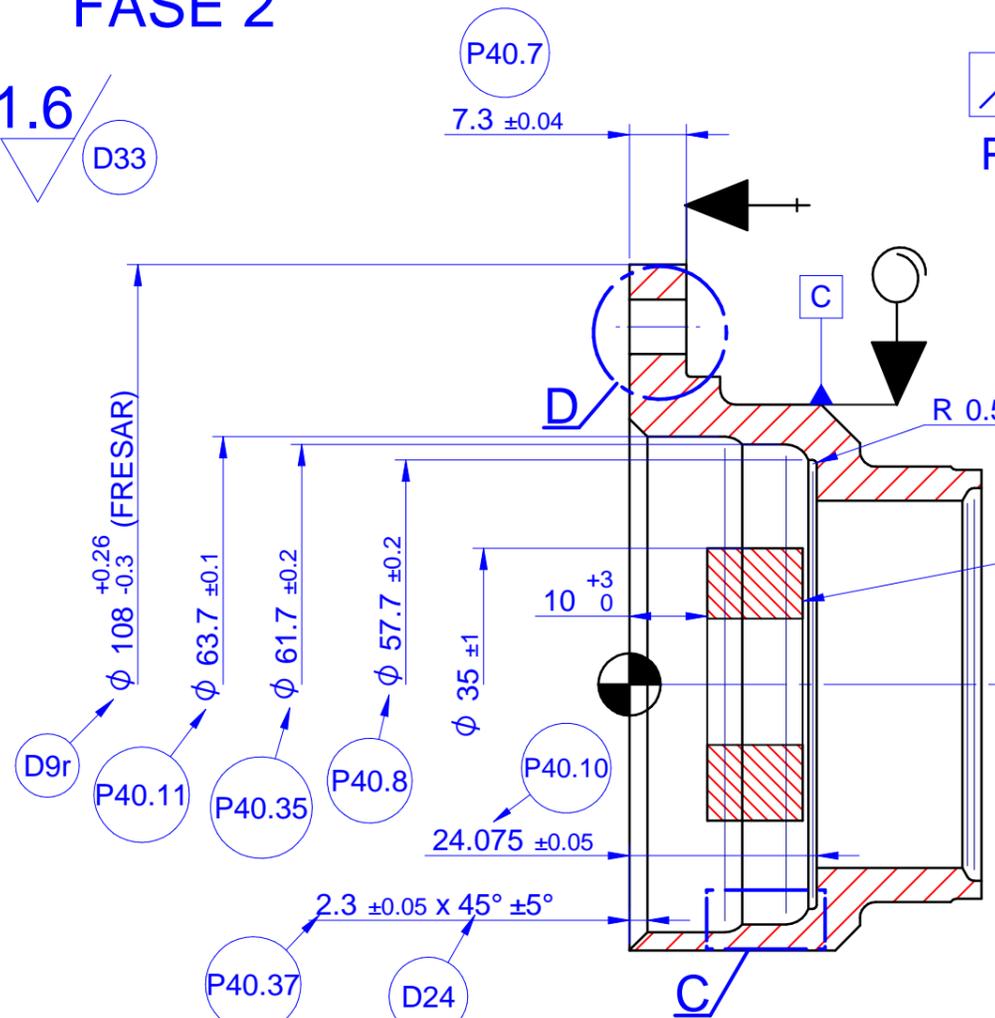
1.6 / D33

ATENCIÓN: LAS COTAS 41.2r, 42.2r, 43.2r QUE SE MIDEN EN TRIDI TOMARLAS EN DOS PUNTOS DISTINTOS PARA COMPROBAR CONICIDAD

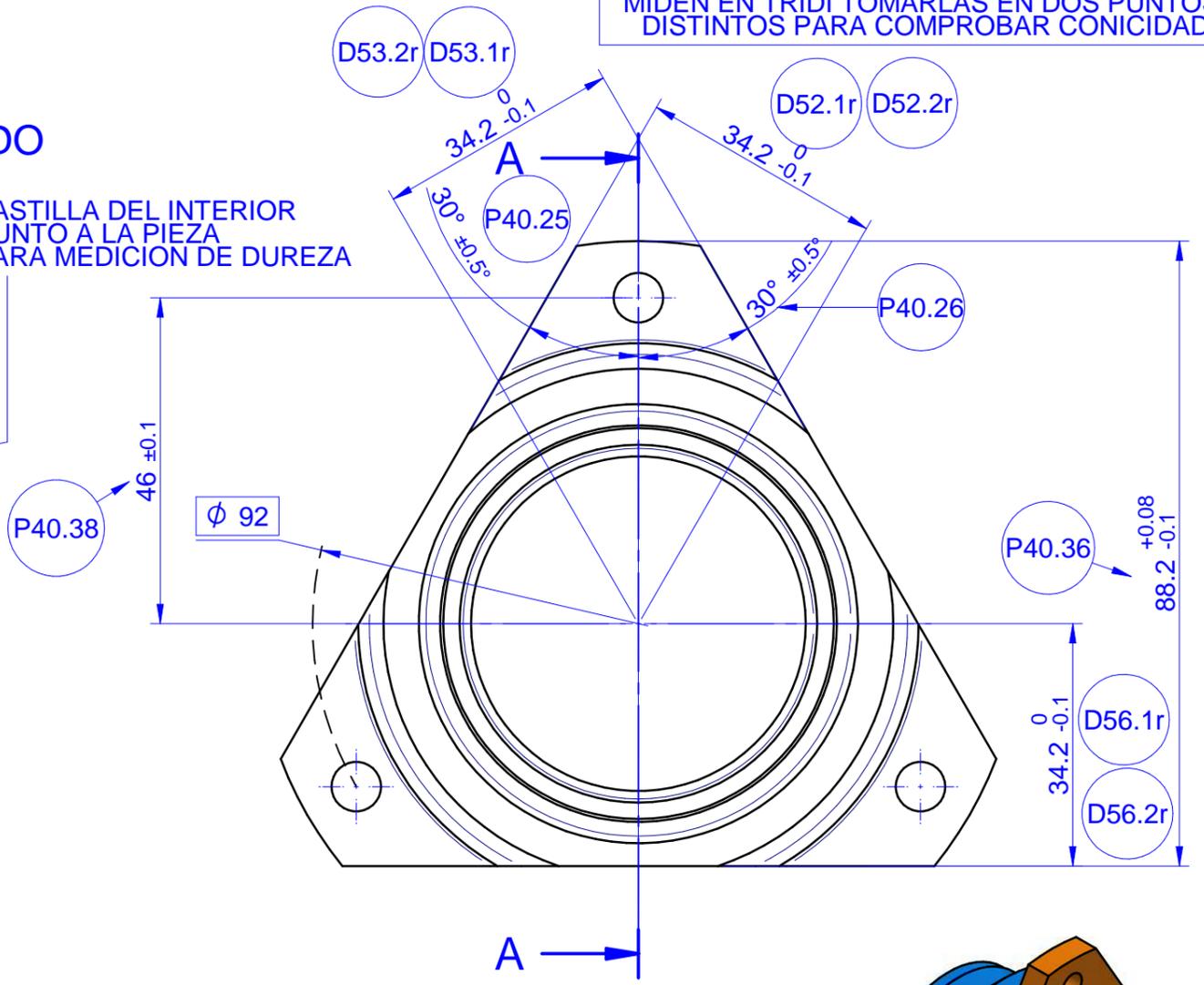
0.02 C

PERFIL MECANIZADO

ATENCIÓN: SACAR PASTILLA DEL INTERIOR Y MANTENER JUNTO A LA PIEZA DEJAR CARAS PLANAS PARA MEDICION DE DUREZA

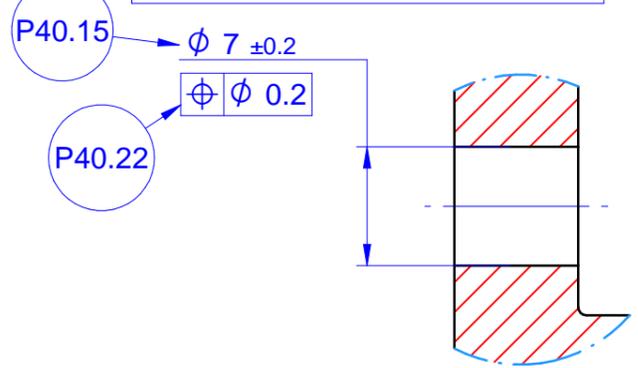


CORTE A-A

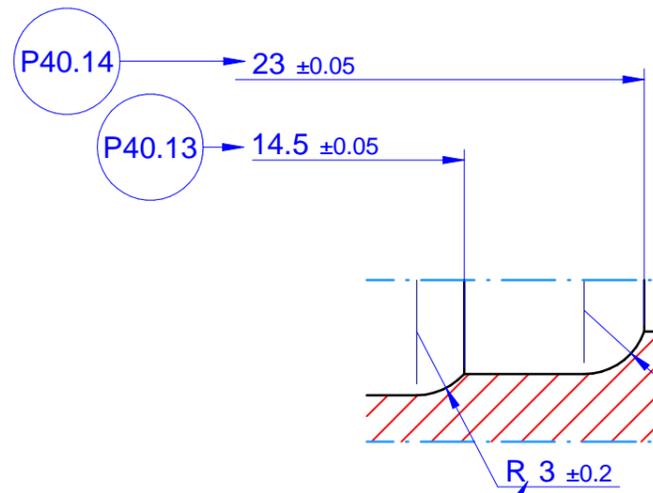


A

3 x AGUJEROS EQUIDISTANTES



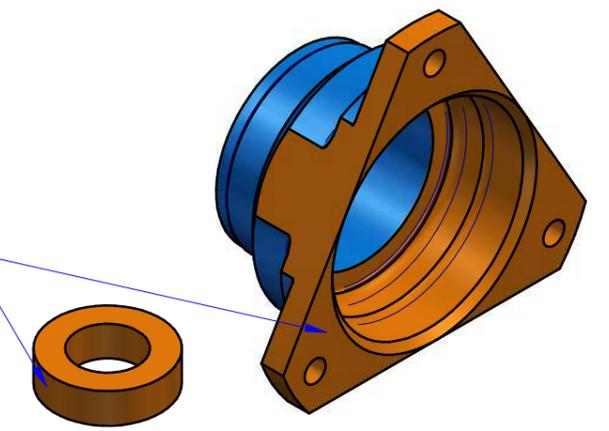
DETALLE D



DETALLE C

P40.19
 TRASLADAR N° DE SERIE DESPUES DE MECANIZAR A PASTILLA Y PIEZA

53
 MATADO DE ARISTAS: CHAFLAN O RADIO 0.2 MAX.



PRESION DE GARRAS: 15kg

Anexo 5. Relación ajuste/tolerancia.

Diferencia fundamental	Desviación superior ds												
	Posición	a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	js
Calidad	Todas las calidades												
d ≤ 3	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0	Para la posición js, di = -IT/2 y ds = IT/2	
3 < d ≤ 6	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0		
6 < d ≤ 10	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0		
10 < d ≤ 14	-290	-150	-95		-50	-32		-16		-6	0		
14 < d ≤ 18													
18 < d ≤ 24	-300	-160	-110		-65	-40		-20		-7	0		
24 < d ≤ 30													
30 < d ≤ 40	-310	-170	-120		-80	-50		-25		-9	0		
40 < d ≤ 50	-320	-180	-130										
50 < d ≤ 65	-340	-190	-140		-100	-60		-30		-10	0		
65 < d ≤ 80	-360	-200	-150										
80 < d ≤ 100	-380	-220	-170		-120	-72		-36		-12	0		
100 < d ≤ 120	-410	-240	-180										
120 < d ≤ 140	-460	-260	-200		-145	-85		-43		-14	0		
140 < d ≤ 160	-520	-280	-210										
160 < d ≤ 180	-580	-310	-230		-170	-100		-50		-15	0		
180 < d ≤ 200	-660	-340	-240										
200 < d ≤ 225	-740	-380	-260		-190	-110		-56		-17	0		
225 < d ≤ 250	-820	-420	-280										
250 < d ≤ 280	-920	-460	-300		-210	-125		-62		-18	0		
280 < d ≤ 315	-1050	-540	-330										
315 < d ≤ 355	-1200	-600	-360		-230	-135		-68		-20	0		
355 < d ≤ 400	-1350	-680	-400										
400 < d ≤ 450	1500	-760	-440		-230	-135		-68		-20	0		
450 < d ≤ 500	1650	-840	-480										

TABLA II. Diferencias fundamentales para ejes (en micras)

Diferencia fundamental	Desviación inferior di																			
	j			k		m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc	
Calidad	IT5 IT6	IT7	IT8	4≤IT≤7	IT<4 IT>7	Todas las calidades														
d ≤ 3	-2	-4	-6	0	0	+2	+4	+6	+10	+14		+18		+20		+26	+32	+40	+60	
3 < d ≤ 6	-2	-4		+1	0	+4	+8	+12	+15	+19		+23		+28		+35	+42	+50	+80	
6 < d ≤ 10	-2	-5		+1	0	+6	+10	+15	+19	+23		+28		+34		+42	+52	+67	+97	
10 < d ≤ 14	-3	-6		+1	0	+7	+12	+18	+23	+28		+33		+40		+50	+64	+90	+130	
14 < d ≤ 18														+39	+45		+60	+77	+108	+150
18 < d ≤ 24	-4	-8		+2	0	+8	+15	+22	+28	+35		+41	+47	+54	+63	+73	+98	+136	+188	
24 < d ≤ 30																				+41
30 < d ≤ 40	-5	-10		+2	0	+9	+17	+26	+34	+43		+48	+60	+68	+80	+94	+112	+148	+200	+274
40 < d ≤ 50																				
50 < d ≤ 65	-7	-12		+2	0	+11	+20	+32	+41	+53	+66	+87	+102	+122	+144	+172	+226	+300	+405	
65 < d ≤ 80																				+43
80 < d ≤ 100	-9	-15		+3	0	+13	+23	+37	+51	+71	+91	+124	+146	+178	+214	+258	+335	+445	+585	
100 < d ≤ 120																				+54
120 < d ≤ 140	-11	-18		+3	0	+15	+27	+43	+63	+92	+122	+170	+202	+248	+300	+365	+470	+620	+800	
140 < d ≤ 160									+65	+100	+134	+190	+228	+280	+340	+415	+535	+700	+900	
160 < d ≤ 180									+68	+108	+146	+210	+252	+310	+380	+465	+600	+780	+1000	
180 < d ≤ 200	-13	-21		+4	0	+17	+31	+50	+77	+122	+166	+236	+284	+350	+425	+520	+670	+880	+1150	
200 < d ≤ 225									+80	+130	+180	+258	+310	+385	+470	+575	+740	+960	+1250	
225 < d ≤ 250									+84	+140	+196	+284	+340	+425	+520	+640	+820	+1050	+1350	
250 < d ≤ 280	-16	-26		+4	0	+20	+34	+56	+94	+158	+218	+315	+385	+475	+580	+710	+920	+1200	+1550	
280 < d ≤ 315									+98	+170	+240	+350	+425	+525	+650	+790	+1000	+1300	+1700	
315 < d ≤ 355	-18	-28		+4	0	+21	+37	+62	+108	+190	+268	+390	+475	+590	+730	+900	+1150	+1500	+1900	
355 < d ≤ 400									+114	+208	+294	+435	+530	+660	+820	+1000	+1300	+1650	+2100	
400 < d ≤ 450	-20	-32		+5	0	+23	+40	+68	+126	+232	+330	+490	+595	+740	+920	+1100	+1450	+1850	+2400	
450 < d ≤ 500									+132	+252	+360	+540	+660	+820	+1000	+1250	+1600	+2100	+2600	

TABLA II. Diferencias fundamentales para ejes (en micras)

Anexo 6. Valores obtenidos en las mediciones del estudio MSA.

Pieza de Safran Helicopter Engines:

Orden	Operadores	Partes	P40.10 24,075 ±0,05	P40,7 7,3 ±0,04
1	1	6	24,0188	7,45
2	1	1	24,0744	7,35
3	1	7	24,0829	7,3
4	1	3	24,0661	7,45
5	1	10	24,9206	7,4
6	1	8	24,0991	7,4
7	1	5	24,0726	7,3
8	1	2	24,0716	7,3
9	1	4	24,0841	7,3
10	1	9	24,0768	7,35
11	2	6	24,0201	7,45
12	2	2	24,076	7,35
13	2	1	24,0865	7,35
14	2	8	24,099	7,4
15	2	7	24,0837	7,4
16	2	9	24,0758	7,4
17	2	3	24,0674	7,35
18	2	10	23,9244	7,35
19	2	5	24,0764	7,35
20	2	4	24,0862	7,35
21	3	7	24,079	7,3
22	3	6	24,019	7,3
23	3	8	24,094	7,35
24	3	4	24,073	7,3
25	3	2	24,073	7,3
26	3	9	24,074	7,35
27	3	10	23,922	7,3
28	3	3	24,07	7,35
29	3	5	24,061	7,35
30	3	1	24,073	7,3
31	1	3	24,0622	7,35
32	1	10	23,9188	7,35
33	1	5	24,0663	7,35
34	1	8	24,0982	7,3
35	1	9	24,0733	7,2
36	1	6	24,0201	7,4
37	1	4	24,0795	7,25
38	1	2	24,0746	7,3
39	1	1	24,0809	7,3
40	1	7	24,0916	7,25

41	2	5	24,084	7,35
42	2	7	24,0836	7,4
43	2	6	24,0211	7,35
44	2	8	24,0991	7,4
45	2	9	24,0776	7,4
46	2	4	24,0907	7,35
47	2	2	24,076	7,35
48	2	1	24,0858	7,35
49	2	10	23,9252	7,35
50	2	3	24,0763	7,4
51	3	9	24,075	7,3
52	3	7	24,073	7,35
53	3	5	24,06	7,35
54	3	4	24,065	7,3
55	3	10	23,927	7,3
56	3	1	24,076	7,3
57	3	3	24,068	7,35
58	3	6	24,021	7,3
59	3	2	24,075	7,3
60	3	8	24,095	7,35
61	1	2	24,0747	7,3
62	1	6	24,0222	7,3
63	1	10	23,9258	7,25
64	1	7	24,08	7,3
65	1	1	24,0836	7,3
66	1	9	24,0737	7,3
67	1	8	24,1013	7,3
68	1	5	24,071	7,3
69	1	4	24,0801	7,25
70	1	3	24,0645	7,3
71	2	2	24,0773	7,35
72	2	4	24,0887	7,35
73	2	3	24,0697	7,35
74	2	1	24,0813	7,4
75	2	8	24,1005	7,4
76	2	5	24,0789	7,35
77	2	7	24,0838	7,35
78	2	6	24,0308	7,35
79	2	9	24,0771	7,4
80	2	10	23,9211	7,35
81	3	1	24,076	7,35
82	3	6	24,027	7,3
83	3	9	24,078	7,25
84	3	10	23,923	7,3
85	3	3	24,065	7,4

86	3	8	24,096	7,35
87	3	5	24,064	7,35
88	3	7	24,083	7,3
89	3	4	24,078	7,3
90	3	2	24,079	7,25

Tabla 26. Resultados mediciones de la pieza Safran Helicopter Engines

Pieza de CESA

Orden	Operadores	Partes	Diametro 25,17 -20/-41	Longitud 89,6± 0,1
1	1	5	25,139	89,52
2	1	7	25,143	89,52
3	1	1	25,139	89,59
4	1	9	25,135	89,52
5	1	3	25,14	89,53
6	1	10	25,145	89,6
7	1	8	25,139	89,57
8	1	6	25,14	89,53
9	1	2	25,14	89,53
10	1	4	25,137	89,52
11	2	4	25,138	89,5
12	2	5	25,139	89,51
13	2	1	25,14	89,58
14	2	2	25,139	89,52
15	2	7	25,143	89,5
16	2	9	25,135	89,51
17	2	3	25,139	89,52
18	2	8	25,139	89,55
19	2	10	25,145	89,58
20	2	6	25,139	89,52
21	3	4	25,138	89,51
22	3	10	25,146	89,59
23	3	7	25,142	89,5
24	3	3	25,14	89,52
25	3	9	25,136	89,51
26	3	6	25,138	89,53
27	3	1	25,14	89,58
28	3	5	25,139	89,51
29	3	2	25,14	89,53
30	3	8	25,14	89,56
31	1	5	25,139	89,52
32	1	4	25,137	89,51
33	1	8	25,139	89,57
34	1	7	25,144	89,51
35	1	3	25,139	89,53
36	1	6	25,139	89,53

37	1	1	25,139	89,59
38	1	2	25,139	89,53
39	1	9	25,136	89,51
40	1	10	25,145	89,58
41	2	2	25,139	89,52
42	2	6	25,138	89,52
43	2	5	25,139	89,5
44	2	9	25,135	89,51
45	2	7	25,144	89,5
46	2	3	25,139	89,52
47	2	8	25,138	89,55
48	2	10	25,145	89,58
49	2	4	25,138	89,51
50	2	1	25,139	89,58
51	3	3	25,139	89,52
52	3	9	25,136	89,51
53	3	1	25,14	89,58
54	3	6	25,138	89,52
55	3	5	25,139	89,51
56	3	10	25,146	89,58
57	3	7	25,143	89,5
58	3	8	25,139	89,56
59	3	4	25,138	89,51
60	3	2	25,14	89,53
61	1	7	25,143	89,5
62	1	10	25,145	89,59
63	1	3	25,14	89,52
64	1	1	25,138	89,59
65	1	8	25,139	89,57
66	1	6	25,139	89,52
67	1	5	25,138	89,5
68	1	4	25,137	89,52
69	1	9	25,136	89,51
70	1	2	25,139	89,52
71	2	9	25,137	89,51
72	2	4	25,137	89,51
73	2	1	25,138	89,58
74	2	10	25,145	89,58
75	2	8	25,139	89,56
76	2	5	25,138	89,51
77	2	6	25,138	89,52
78	2	3	25,139	89,52
79	2	7	25,144	89,5
80	2	2	25,139	89,52
81	3	6	25,138	89,53

82	3	5	25,139	89,5
83	3	4	25,138	89,51
84	3	1	25,14	89,58
85	3	3	25,14	89,51
86	3	9	25,136	89,5
87	3	8	25,14	89,56
88	3	10	25,146	89,58
89	3	2	25,139	89,53
90	3	7	25,144	89,5

Tabla 27. Resultados mediciones de la pieza CESA

Anexo 7. Tabla de equipos compartidos

EQUIPO COMPARTIDO		DESCRIPCIÓN	EXISTENCIAS EN LA EMPRESA	CÓDIGO	DIVISIÓN	NECESIDADES
EAS (Refs)	EAT (Refs)					
ME-1239		MICROM.EXTERIOR CUCHILLAS CENTESIMAL 0- 25MM	2	ME-1239 ME-185	EAS-EAT EAS-EAT	1 EAS
16	3					
ME-185		MICROM.EXTERIOR CUCHILLAS CENTESIMAL 0- 25MM	2	ME-1239 ME-185	EAS-EAT EAS-EAT	
16	3					
ME-1245		MICROM.EXTERIOR CUCHILLAS MILESIMAL 0- 25MM	2	ME-1245 ME-0677	EAS-EAT EAS-EAT	
11	7					
ME-1134		MICROMETRO EXTERIOR CONTACTOS CONICOS 0-25MM	1	ME-1239	EAS-EAT	
1	1					
MI-1133		MICROMETRO INTERIOR MILESIMAL 10- 12MM	5	MI-1133 MI-1151 MI-1120 MI-1136 MI-1176	EAS-EAT EAS-EAT CALIDAD CALIDAD	1 EAT
13	5					
MI-1151		MICROMETRO INTERIOR MILESIMAL 10- 12MM	5	MI-1133 MI-1151 MI-1120 MI-1136 MI-1176	EAS-EAT EAS-EAT CALIDAD CALIDAD	
13	5					
MI-1134		MICROMETRO INTERIOR (0.005) 12-16MM	5	MI-1134 MI-1155 MI-0002 MI-1127 MI-647	EAS-EAT EAS-EAT ECT FOREA EAS-EAT	2 EAS
19	4					
MI-1155		MICROMETRO INTERIOR (0.005) 12-16MM	5	MI-1134 MI-1155 MI-0002 MI-1127 MI-647	EAS-EAT EAS-EAT ECT FOREA EAS-EAT	
19	4					

MI-1113		MICROMETRO INTERIOR (0.005) 8-10MM	8	MI-1113 MI-1135 MI-1142 MI-1143 MI-1119 MI-1144 MI-1146 MI-80	EAS-EAT EAS-EAT EAS-EAT EAS-EAT CALIDAD MEC.ZEHATZ CALIDAD CALIDAD	NO
12	10					
MI-1135		MICROMETRO INTERIOR (0.005) 8-10MM	8	MI-1113 MI-1135 MI-1142 MI-1143 MI-1119 MI-1144 MI-1146 MI-80	EAS-EAT EAS-EAT EAS-EAT EAS-EAT CALIDAD MEC.ZEHATZ CALIDAD CALIDAD	
12	10					
MI-1142		MICROMETRO INTERIOR MILESIMAL 8-10MM	8	MI-1113 MI-1135 MI-1142 MI-1143 MI-1119 MI-1144 MI-1146 MI-80	EAS-EAT EAS-EAT EAS-EAT EAS-EAT CALIDAD MEC.ZEHATZ CALIDAD CALIDAD	
12	10					
MI-1143		MICROMETRO INTERIOR MILESIMAL 8-10MM	8	MI-1113 MI-1135 MI-1142 MI-1143 MI-1119 MI-1144 MI-1146 MI-80	EAS-EAT EAS-EAT EAS-EAT EAS-EAT CALIDAD MEC.ZEHATZ CALIDAD CALIDAD	
12	10					
MP-47		MICROMETRO DE PROFUNDIDAD 0-100MM	6	MP-0004 MP-0012 MP-0014 MP-47 MP-50 MP-70	ECT CALIDAD ECT EAS-EAT EAS-EAT EAS-EAT	
7	1					
MP-50		MICROMETRO DE PROFUNDIDAD 0-100MM	6	MP-0004 MP-0012 MP-0014 MP-47 MP-50 MP-70	ECT CALIDAD ECT EAS-EAT EAS-EAT EAS-EAT	
7	1					
MP-70		MICROMETRO DE	6	MP-0004	ECT	

7	1	PROFUNDIDAD 0-100MM		MP-0012 MP-0014 MP-47 MP-50 MP-70	CALIDAD ECT EAS-EAT EAS-EAT EAS-EAT	
TL-491	TAMPON LISO Ø9H7	1	TL-491	EAS-EAT	NO	

Tabla 28. Tabla de equipos compartidos