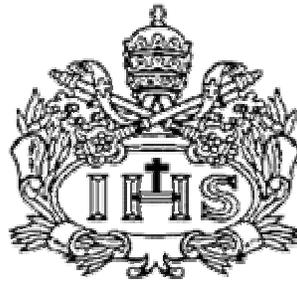


**APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS PARA MEJORAR
LA CALIDAD DEL PROCESO DE MEZCLA DE EMPAQUES DE
CAUCHO PARA TUBERÍA EN LA EMPRESA ETERNA S.A**



**LIZETTE CATALINA ZAMUDIO PIÑEROS
JULIÁN CAMILO HERNÁNDEZ**

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
BOGOTA, D.C.**

2004

**APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS PARA MEJORAR
LA CALIDAD DEL PROCESO DE MEZCLA DE EMPAQUES DE
CAUCHO PARA TUBERÍA EN LA EMPRESA ETERNA S.A**

**LIZETTE CATALINA ZAMUDIO PIÑEROS
JULIÁN CAMILO HERNÁNDEZ**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL**

**DIRECTOR
ROSA PATRICIA DORADO PONDUELA
INGENIERA INDUSTRIAL**

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
BOGOTÁ, D.C.**

2004

TABLA DE CONTENIDO

	Pág
Introducción	
1. Objetivos	1
1.1. Objetivo General	1
1.2. Objetivos Específicos	1
2. Justificación del problema	3
3. Marco Teórico	5
3.1. Reseña histórica de la empresa	5
3.2. Variabilidad en los procesos	7
3.3. Descripción general del proceso de mezcla	20
3.4. Glosario	24
4. Llegada de materia prima y análisis de laboratorio	35
4.1. Objetivo	35
4.2. Descripción	35
4.3. Variables	36
4.4. Maquinas y herramientas	37
5. Dosificado	38
5.1. Objetivo	38
5.2. Descripción	38
5.3. Variables	39
5.4. Maquinas y herramientas	40
6. Mezclado	42
6.1. Objetivo	42
6.2. Descripción	42
6.3. Variables	44
6.4. Maquinas y herramientas	44
7. Extrusión	46
7.1. Objetivo	46
7.2. Descripción	46
7.3. Variables	47
7.4. Maquinas y herramientas	47

8. Vulcanización	48
8.1. Objetivo	48
8.2. Descripción	48
8.3. Variables	49
8.4. Maquinas y herramientas	49
9. Herramientas estadísticas aplicadas	50
9.1. Histograma	50
9.2. Diagrama causa-efecto	52
9.3. Diagrama de pareto	53
9.4. Gráficas de control	54
9.5. Plantillas de recolección de datos	54
9.6. Capacidad del proceso	55
9.7. Variables criticas	57
10. Análisis de resultados	74
10.1. Pruebas de hipótesis	74
10.2. Gráficas de control	79
11. Análisis financiero	90
11.1. Costos de reproceso	90
12. Conclusiones	92
13. Recomendaciones	94
Bibliografía	96
Anexos	

LISTA DE ANEXOS

	Pág
ANEXO 1 Libro de formulas	97
ANEXO 2 Ciclo de mezclado	98
ANEXO 3 Rangos de dureza, tensión y elongación	99
ANEXO 4 Diagrama causa-efecto	100
ANEXO 5 Factores para el cálculo de las líneas centrales y límites de control de 3σ de las graficas \bar{X} , s y R.	101
ANEXO 6 Estimativos de las probabilidades	102
ANEXO 7 Tabla de la distribución normal estándar	103
ANEXO 8 Máquinas de Eterna S.A.	104

LISTA DE TABLAS

	Pág
TABLA 1 Causas de la variabilidad en los procesos	19
TABLA 2 Máquinas y herramientas del laboratorio	37
TABLA 3 Características de la balanza digital	40
TABLA 4 Características de la báscula mecánica	41
TABLA 5 Características de los molinos y banbury	45
TABLA 6 Características de las extrusoras	47
TABLA 7 Características de los túneles de vulcanización	49
TABLA 8 Clases de precisión de las máquinas	62
TABLA 9 Clasificación de los instrumentos	62
TABLA 10 División de escala de verificación	65
TABLA 11 Errores máximos tolerados	66
TABLA 12 Resultado de la prueba de hipótesis	76
TABLA 13 Parámetros de las variables dureza, tensión y elongación	76
TABLA 14 Capacidad e índice de capacidad	89
TABLA 15 Matriz de evaluación de los costos de reproceso	91

LISTA DE GRAFICAS

	Pág
GRAFICA 1 Comportamiento de la dureza y curva normal Correspondiente	77
GRAFICA 2 Comportamiento de la tensión y curva normal Correspondiente	77
GRAFICA 3 Comportamiento de la elongación y curva normal correspondiente	78
GRAFICA 4 Gráfica \bar{X} para la dureza	79
GRAFICA 5 Gráfica R para la dureza	79
GRAFICA 6 Gráfica \bar{X} para la tensión	81
GRAFICA 7 Gráfica R para la tensión	83
GRAFICA 8 Gráfica \bar{X} para la elongación	84
GRAFICA 9 Gráfica R para la elongación	85
GRAFICA 10 Comportamiento de la dureza y los limites de Especificación	87
GRAFICA 11 Comportamiento de la tensión y los limites de Especificación	88
GRAFICA 12 Comportamiento de la elongación y el limite inferior de especificación	88

INTRODUCCIÓN

En la mayoría de las empresas colombianas es muy común encontrar que en los procesos productivos se obtienen una gran cantidad de productos defectuosos que se deben desechar o en el mejor de los casos hacerles un reproceso para que cumplan con las especificaciones. Esto genera a las empresas pérdidas sustanciales de dinero que bien podría ser invertido en investigación, maquinaria, capacitación, entre otras.

Se producen artículos defectuosos debido a que se presentan variaciones en el proceso de producción, dichas variaciones tienen causas que son asignables o se pueden atribuir bien sea a la materia prima, operario, mantenimiento, etc. El control estadístico busca detectar las causas asignables y eliminarlas para que de esta forma se reduzca la variabilidad en el proceso y por consiguiente los artículos defectuosos. La forma de lograrlo es mediante el análisis del proceso y la aplicación de las diferentes herramientas estadísticas tales como: diagramas de causa-efecto, histogramas, diagramas de Pareto, gráficas de control, hojas de recolección de datos entre otras.

Un proceso bajo control estadístico es más fácil de vigilar y de encontrarle anomalías además que se puede determinar hasta donde el proceso es capaz de producir artículos que cumplan con las especificaciones establecidas ya sea por el cliente o por la misma empresa.

Con base a lo expuesto anteriormente se pretende realizar este tipo de análisis en ETERNA S.A. con el fin de mejorar el proceso de mezcla que se lleva a cabo en la fabricación del compuesto B-01400.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Aplicar herramientas estadísticas para estudiar el proceso de mezcla en la fabricación de empaques de caucho para tubería con el fin de controlar el proceso y reducir pérdidas de material.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1.2.1 Conocer el proceso de mezcla teniendo en cuenta descripción, características, variables involucradas, equipos, métodos y tecnologías utilizadas en Eterna S.A.

1.2.2 Identificar los problemas críticos en el proceso de mezcla

1.2.3 Determinar las herramientas estadísticas más adecuadas para analizar controlar el proceso.

1.2.4 Definir los criterios para realizar el análisis de los datos.

1.2.5 Determinar las causas de la variabilidad del proceso

1.2.6 Estimar los costos de reprocesamiento causados por mezclas no conformes resultantes del proceso y el costo-beneficio de la propuesta.

1.2.7 Diseñar una aplicación en Excel que facilite el análisis resultados y toma de decisiones basadas en el control estadístico.

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Eterna S.A. es una empresa manufacturera que produce artículos en caucho y látex, la mayor parte de las ventas provienen del área de extrusión donde se producen todo tipo de empaques para tubería e industria automotriz. De estos empaques los que más se fabrican son los utilizados en las tuberías de agua los cuales están hechos a base del compuesto B-01400.

A menudo se encuentra en el área de extrusión que los empaques que se están siendo extruidos no cumplen con las características de textura y/o dimensión lo que indica la necesidad de examinar el lote de mezcla que se esta usando y en la mayoría de las ocasiones se debe reprocesar todo el lote para que cumpla con las especificaciones deseadas. Esto genera perdidas sustanciales de tiempo en el área de molinos y de extrusión así como más consumo de mano de obra, materia prima, energía eléctrica y afecta la productividad e imagen de la empresa ya que debido a esto los pedidos no se pueden entregar en la fecha en que se estableció o existen devoluciones por parte de los clientes.

Dichos problemas también influyen en el clima organizacional ya que el área de ventas presiona al área de extrusión y esta al área de molinos lo que afecta de cierta manera las relaciones internas dentro de la compañía, esto sumado a que existe una fuerte competencia por parte de Extrusoras de Medellín y el mercado esta cada vez mas competitivo debido a que los clientes se están informando mucho mejor y por ende exigen productos de mejor calidad, tolerancias mas bajas, precios razonables etc.

Para Eterna S.A. es importante entonces lograr reducir los problemas que se presentan con las mezclas para poder dedicar este tiempo y recursos no a los reprocesamientos sino a actividades productivas que generen una mayor cantidad de productos y beneficios para la compañía como lo expreso el gerente de producción y el químico de la empresa.

Para nosotros es también de gran importancia la realización de este proyecto ya que en el se ponen en practica los conocimientos adquiridos en diferentes asignaturas cursadas además de que se adquieren muchos otros de gran valor y utilidad, quedando la satisfacción de que se colaboró a una empresa pionera en la industria del caucho como lo es Eterna S.A. con la solución a uno de sus problemas más críticos.

3. MARCO TEORICO

3.1. RESEÑA HISTÓRICA

Eterna S.A. tiene su origen a mediados del siglo anterior, exactamente en el año de 1953, cuando un grupo de empresarios fundaron en la ciudad de Bogotá una fábrica para la elaboración de productos de caucho.

Las actividades se iniciaron con la fabricación de pelotas de caucho para vender en la época navideña de ese año. Por ese entonces la empresa contaba con una planta de personal de ocho obreros, un supervisor, una secretaria y un gerente.

Ya en el siguiente año la empresa comenzó a diversificarse en mercados relacionados con la industria del caucho. Fue así como se fueron integrando los rubros de fabricación de material para reencauche de llantas y fabricación de suelas y láminas para la industria de calzado.

En los años siguientes se desarrolló un proyecto para el montaje de una planta dirigida a la fabricación de artículos basados en el látex de caucho natural, entre los cuales se destacaban los guantes para uso en el hogar y los guantes para cirugía.

Posteriormente se iniciaron investigaciones en el campo de los adhesivos, en particular dirigidas a encontrar un producto adecuado para su utilización en la industria del calzado, complementando así la línea de suelas y las láminas. En

1957 se obtuvo el primer pegante comercial que fue el único que se produjo en el país hasta 1961 y que inició lo que fue la principal línea en las ventas de la compañía durante muchos años.

Hacia mediados de la década de los años 60, la empresa quiso desarrollarse en nuevos campos y montó su primera línea de productos extruidos para fabricar perfiles y mangueras de caucho con un promisorio potencial de utilización en las industrias automotriz, de ensamblaje, de autobuses y en la construcción principalmente.

En 1963 la empresa dio sus primeros pasos hacia la internacionalización y comenzó a exportar hacia el Perú y Ecuador.

Hacia el año de 1987 inició el desarrollo de una línea de productos infantiles, la cual ya no estaba fundamentada en el caucho sino en los plásticos. Esta nueva línea experimentando un desarrollo vertiginoso la colocó en poco tiempo como líder en el mercado nacional de los productos de su categoría.

Eterna es hoy en día reconocida por su decidida orientación hacia el servicio y la satisfacción de las necesidades y expectativas de sus clientes en todos los mercados en que actúa.

En el mes de diciembre de 2003 después de 14 meses de implementación de la norma ISO 9001, el Sistema de Gestión de Calidad de Eterna obtuvo por parte de Bureau Veritas Quality International el certificado de cumplimiento con los requisitos de la norma NTC-ISO 9001:2000.

Eterna S.A. cuenta actualmente con una planta de personal de alrededor de 420 empleados, unas instalaciones que ocupan un área de aproximadamente 15.000 metros cuadrados, seis líneas de producción independientes y más de 2000 referencias de productos que se distribuyen a escala nacional e internacional.

3.2. VARIABILIDAD EN LOS PROCESOS

La variación es algo inherente a todo proceso, debido al efecto conjunto de equipo, materiales, entorno y operario.

La primera causa de variación es el equipo. En esta se tiene en cuenta aspectos tales como: el desgaste de la herramienta, las vibraciones de la maquina, el equipo de sujeción de trabajo y del posicionamiento de dispositivos así como las fluctuaciones hidráulicas y eléctricas. Cuando se conjuntan todas estas variaciones, el equipo operará dentro de cierta capacidad o precisión. Incluso se afirma que máquinas idénticas tienen capacidades diferentes, algo muy importante que se debe tomar en cuenta cuando se programe la fabricación de piezas importantes.¹

La segunda causa de variación es debido al material; puesto que se producen variaciones de producto terminado, también deben estar presentes en la materia prima (a su vez, otro producto terminado). Los materiales deben cumplir con los requisitos de calidad exigidos por la empresa. Se pueden dar dos casos para el control de los materiales:

- Control de los materiales y partes recibidas de afuera
- Control de los materiales y partes procesadas por otras plantas de la misma compañía u otros departamentos de la empresa.

Las técnicas utilizadas en el control de los materiales incluyen la evaluación de la capacidad de los vendedores, las especificaciones, la inspección total o parcial (por muestreo), el análisis de los vendedores, el equipo de medición que se va a utilizar para las mediciones y el almacenamiento.

¹ DALE H.Besterfield. Control de calidad. México : Prentice Hall, 1994. p.104.

De la calidad de los materiales a utilizar en la fabricación depende la calidad final a ofrecer al cliente, nada se gana si los diseños son los mejores, si las máquinas son las más costosas y la mano de obra es la más especializada si la materia prima que se utiliza es de baja calidad; por otra parte el trato que se da a los materiales y su almacenamiento tienen que ser los adecuados ya que un mal manejo o almacenamiento conllevan al deterioro o pérdidas de las propiedades intrínsecas de los mismos.²

Características relacionadas con la calidad como la resistencia a la tensión, ductilidad, grosor, porosidad y contenido de humedad, es de esperar que contribuyan a la variación total del producto final.

Una tercera causa de variación es el entorno. La temperatura, la luz, la radiación, el tamaño de las partículas, la presión y la humedad contribuyen todas a las variaciones en el producto. Para tener bajo control estos factores, a veces se fabrican los productos en habitaciones blancas; hay experimentos que se realizan en el espacio exterior a fin de allegarse mayor información sobre el efecto del entorno en las variaciones del producto.

Una cuarta causa de variación es el operario; en esta causa figura también el método que emplea el operario para realizar determinada operación. El bienestar emocional y físico del operario también contribuye en la variación. Un dedo cortado, un tobillo torcido, un problema personal o un dolor de cabeza pueden ser motivo de la alteración en la eficiencia en un operario. La falta de comprensión de un operario sobre las variaciones del equipo y del material debido a una falta de capacitación hará necesario efectuar continuos ajustes de máquina, con lo que la variabilidad se hace más compleja; además conforme el equipo es más automatizado, el efecto del operario en la variación habrá disminuido.

² FERNANDO R Orozco, Control de calidad. Bogotá: Universidad tecnológica de Pereira. 1980. p.

No todos los errores son iguales, varían en la frecuencia, la causa y la consecuencia; por ejemplo hay errores que pueden o no producir consecuencias en la calidad y la consecuencia puede ser grave o leve. Un error humano puede cometerse en cualquier fase del proceso de fabricación, dicho error puede deberse a diversas causas por ejemplo, dibujos o especificaciones incorrectos o incomprensibles, herramientas inadecuadas, ambiente de trabajo incomodo, mal diseño del puesto de trabajo, etc.

Para lograr entender los errores humanos es necesario percatarse primero de la variabilidad del ser humano, ya que el error es función de esta variabilidad. No hay nada más variable que el ser humano, nadie hace una tarea dos veces de la misma forma, de ahí que en cada ocasión es posible cometer errores.

La variabilidad aleatoria, se caracteriza por un patrón de dispersión en torno de una norma deseada, estos errores al azar son en gran parte el resultado de la variabilidad natural del ser humano y pueden ser controlados mediante la selección, capacitación y supervisión del personal.

La variabilidad sistemática, se caracteriza porque la dispersión general es pequeña, pero algún factor esta interfiriendo, una vez identificado el factor, el error es corregido.

Los errores humanos se clasifican en:

- Olvidos: Algunas veces olvidamos cosas cuando no estamos atentos. Por ejemplo, el jefe de estación olvida hacer descender la barrera del cruce. Se puede corregir alertando a los operarios con anticipación o chequeando a intervalos regulares.
- Errores debidos a desconocimiento: algunas veces se cometen equivocaciones cuando se llegan a conclusiones erróneas antes de familiarizarse con la situación. Por ejemplo, una persona que no ha

utilizado un coche con transmisión automática, pisa en el freno pensando que es el embrague. Se puede corregir con entrenamiento, verificación anticipada, estandarización de los procedimientos de trabajo.

- Errores de identificación: algunas veces se juzga mal una situación porque se revisa demasiado rápidamente, o demasiado alejada para verla bien., por ejemplo, confundir el valor de dos billetes, se puede corregir con entrenamiento, atención o vigilancia.
- Errores de inexperiencia: son errores que se deben a la falta de experiencia. Por ejemplo un nuevo trabajador no conoce la operación o justo acaba de familiarizarse con ella. Se corrigen mediante entrenamiento y estandarización del trabajo.
- Errores voluntarios: Son los que ocurren cuando se decide ignorar las reglas bajo ciertas circunstancias. Por ejemplo, cruzar la calle con el semáforo en rojo porque no hay carros a la vista en ese momento. Se puede corregir mediante educación básica y experiencia.
- Errores por inadvertencia: a veces estamos distraídos y cometemos equivocaciones sin darnos cuenta de lo que ocurre. Por ejemplo, alguien perdido en su propio pensamiento intenta cruzar la calle sin advertir que el semáforo esta en rojo. Se corrige mediante atención, disciplina, estandarización del trabajo.
- Errores debidos a lentitud: se cometen cuando las operaciones se paralizan por retrasos en el juicio. Por ejemplo un persona que esta aprendiendo conducir es lenta en pisar el freno. Se corrigen mediante entrenamiento y estandarización del trabajo.

- Errores debidos a la falta de estándares: ocurren cuando no hay instrucciones apropiadas o estándares de trabajo. Por ejemplo, una medición puede dejarse a la discreción particular del trabajador. Se corrigen mediante estandarización del trabajo e instrucciones de trabajo.
- Errores por sorpresa: ocurren cuando un equipo opera de forma diferente a lo que se espera. Por ejemplo, una maquina puede funcionar defectuosamente sin dar muestras de anomalías. Se pueden corregir mediante mantenimiento preventivo y estandarización del trabajo.
- Errores intencionales: son los cometidos por algunas personas deliberadamente. Ejemplos son los sabotajes y crímenes. Se corrigen mediante educación fundamental, disciplina.³

Si se comete un error porque el trabajador no es apto para tal trabajo, es porque el proceso de selección o la capacitación esta mal diseñada, lo que conlleva a un nuevo error humano de la parte administrativa de la empresa. Es por esto que hay que tener en cuenta que el operario o trabajador es solo una parte del sistema de producción y que quienes diseñaron dicho sistema son los responsables de sus deficiencias.

Siempre que estas fuentes de variación fluctúan de manera natural o prevista, se producirá un patrón estable de diversas causas fortuitas (causas aleatorias) de la variación. No es posible eliminar las causas fortuitas de la variación, debido a que son muchas y cada una de ellas por separado reviste poca importancia, es difícil detectarlas y/o descubrirlas. Aquellas causas de la variación cuya magnitud es grande, gracias a lo cual se les puede identificar fácilmente, se les clasifica como causas atribuibles. Cuando en un proceso solo están presentes causas fortuitas, se considera que se encuentra en estado de

³ NIKKAN Kogyo, Poka-yoke mejorando la calidad del producto evitando los defectos. Cambridge: Factory Magazine, 1988. p.10-11.

control estadístico lo cual significa que es estable y predecible. Sin embargo, si también existen causas atribuibles de variación, esta resultara excesiva y al proceso se le clasifica como fuera de control, o que esta mas allá de la variación natural esperada.

Factores que determinan el rendimiento del trabajador

- Ambiente de trabajo (temperatura, ruido, iluminación, etc)
- Horas de trabajo y descansos
- Reconocimientos, beneficios
- Complejidad de la tarea
- Frecuencia y repetitividad de la tarea
- Monotonía
- Fatiga, dolor, incomodidad
- Hambre, sed

La falta de control ocurre cuando hay cambios significativos en la población (proceso), estos cambios se pueden agrupar así:

- Cambios en el proceso solamente
- Cambios en la dispersión solamente
- Cambios tanto en el promedio como en la dispersión.

Los cambios en el promedio del proceso los podemos detectar en la gráfica \bar{X} y los cambios en la dispersión se detectan en la gráfica R.

Una vez se detecta cualquier cambio ya sea en el promedio, la dispersión, o en ambos, se toman las medidas correctivas necesarias, con el fin de eliminar el problema.

Objetivos e interpretación de las gráficas de control

Las gráficas para controlar variables son útiles para cada uno de los siguientes casos:

1. Mejorar la calidad

Las gráficas de control son una técnica excelente para lograr mejorar la calidad.

2. Definir la capacidad del proceso

La verdadera capacidad del proceso se logra después de alcanzar una mejora en la calidad.

3. Especificaciones del producto

Cuando se obtiene la capacidad del proceso podemos proceder a calcular las especificaciones correspondientes.

4. Tomar decisiones de los productos elaborados

Se analiza la gráfica de control para decidir si el un producto puede pasar a la siguiente fase de la secuencia o debe ser reparado o separado.

Proceso bajo control y fuera de control

Todo punto que aparezca fuera de los límites de control está indicando la aparición de una causa asignable que afecta el proceso. Esta causa tiene que ser descubierta y eliminada inmediatamente.

No es natural que siete o más puntos consecutivos estén por arriba o por debajo de la línea central, así mismo cuando 10 de 11 puntos o 12 de 14 puntos se encuentran a un lado de la línea central, existe una condición no

natural; otra situación similar ocurre cuando se encuentra que 6 puntos aumentan o disminuyen continuamente o cuando 2 de 3 puntos seguidos están muy cerca del límite superior o inferior y cuando 4 de 5 puntos seguidos están entre el límite superior / inferior y la media.⁴

La práctica demuestra que la gráfica \bar{X} y R son las que permiten descubrir e identificar causas de variación. Primero se lee la gráfica R, ella muestra las variaciones posibles del proceso respecto de su dispersión. Luego se lee la gráfica \bar{X} , la cual muestra las causas posibles de variación del proceso respecto de su centramiento.

Aunque un proceso se encuentre en estado de control, el proceso podría producir productos defectuosos y viceversa. Los límites de control se hacen para proporcionar un juicio sobre si el proceso está en el estado de control o no, mientras que los límites de las especificaciones se hace para proporcionar un juicio sobre si cada producto es defectuoso o no.

El estado de control es un estado en el cual las causas asignables se eliminan y la variación del proceso se debe solo al azar.

Causas que afectan el centramiento de un proceso (gráfica \bar{X})

El centramiento de un proceso, puede verse afectado cuando se producen cambios en los siguientes factores:

- Materias primas o materiales
- Operario
- Inspector
- Graduación de la maquina

⁴ DALE H.Besterfield. Control de calidad. México : Prentice Hall, 1994. p.133

- Temperatura
- Tiempo
- Desgaste en las herramientas
- Dimensión de los moldes
- Dureza
- Calibración de un instrumento
- Ajuste de la máquina
- Envejecimiento
- Humedad, presión, voltaje, etc.

Causas que afectan la dispersión de un proceso (gráfica R)

La gráfica R mide la forma como están agrupados los valores alrededor de su valor central, es decir miden la uniformidad, consistencia o precisión de un proceso.

La dispersión de un proceso puede variar por una de las siguientes causas:

- Nuevo operario
- Falta de entrenamiento
- Dispositivos flojos
- Máquina desajustada
- Controles automáticos dañados
- Manejo inadecuado
- Mezclas de diferentes lotes
- Mantenimiento inadecuado
- Problemas humanos

Análisis de las gráficas fuera de control

Para determinar si un proceso se encuentra bajo o fuera de control estadístico se deben analizar los ciclos y el comportamiento de la secuencia de puntos que simulan el comportamiento del proceso, para ello se tienen en cuenta los siguientes

- Uno o más puntos fuera de los límites de control
- Uno o más puntos en la proximidad del límite de aviso, esto sugiere la necesidad de tomar inmediatamente nuevos datos para comprobar que se encuentra fuera de control.
- Una tanda de siete o más puntos hacia arriba o hacia abajo, por encima o por debajo de la línea central del diagrama.
- Ciclos u otras disposiciones no aleatorias en los datos.
- Una tanda de 2 o 3 punto por fuera de los límites de 2 sigma
- Una tanda de 4 o 5 puntos por fuera de los límites de 1 sigma⁵

Luego de analizar las tendencias que presentan la secuencia de puntos en las gráficas se debe determinar la causa de que haya puntos por fuera de los límites establecidos para las gráficas de \bar{X} y R.

De acuerdo al comportamiento se determinaron unos patrones que ayudan a determinar la causa atribuible que está afectando el desarrollo normal del proceso, podemos encontrar cinco patrones:

⁵PRAT BARTES, Albert. Métodos estadísticos: control y mejora de la calidad. Mexico. Alfaomega. 2000. p. 252-253.

- *Cambio o salto de nivel*

Esto se refiere a un cambio repentino de nivel en la gráfica \bar{X} o R, en el caso de la gráfica \bar{X} puede ser por:

- a. Una modificación intencional del proceso
- b. Un operario nuevo que se encuentra sin experiencia
- c. Una materia prima distinta.
- d. Una avería o daño de la máquina

En el caso de la gráfica R:

- a. Falta de experiencia del operario
- b. Variación en el material que entra

De acuerdo a esta información puede tratarse de varias causa atribuibles que deben ser analizadas una por una.

- *Tendencia o cambio permanente de nivel*

Se presenta cuando se ilustra una tendencia ascendente o descendente de la muestra de puntos tomados en la gráfica de control.

- *Ciclos recurrentes*

Se presenta cuando los puntos de las gráficas \bar{X} y R muestran una onda o periodicidad, presentan puntos altos y bajos

- *Dos poblaciones(mezcla)*

Cuando se encuentran muchos puntos cerca o fuera de la gráfica de control, se presentan dos poblaciones.

- *Errores*
 - a. Equipo de medición descalibrado
 - b. Errores cometidos al hacer los cálculos
 - c. Errores cometidos al usar el equipo
 - d. Toma de muestras de poblaciones distintas

De acuerdo a estos precedentes generalizados de análisis de gráficas de control se puede tener una visualización más enfocada para determinar con exactitud la o las causas atribuibles que están afectando el proceso.

Para ayudar el proceso de análisis de las causas se realiza una lluvia de ideas, con el diagrama de causa y efecto de la espina de pescado y con el análisis de proceso por operaciones.

Tabla 1. Causas de la variabilidad en los procesos

CAUSAS COMUNES	CAUSAS ASIGNABLES
<ul style="list-style-type: none"> • Suelen ser muchas y cada una produce pequeñas variaciones • Son parte permanente del proceso. Su suma determina la capacidad del proceso. • Son difíciles de eliminar. Forman parte del sistema. • Afectan el conjunto de máquinas, operarios, etc. • La variabilidad debido a estas causas admite la representación estadística (densidad de probabilidad) 	<ul style="list-style-type: none"> • Suelen ser pocas pero de efectos importantes. • Aparecen esporádicamente en el proceso. Este hecho facilita su identificación y su eliminación (gráficos de control). • Son relativamente fáciles de eliminar por parte de operarios y/o técnicos. • Afectan específicamente a una máquina, operario <p>No admite representación estadística.</p>

Fuente: PRAT Albert, Métodos estadísticos: Control y mejora de la calidad

3.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO DE MEZCLA

A continuación se describe de una manera muy general el proceso para la fabricación del empaque para tubería TITAN de 14mm, el cual es uno de los muchos empaques que se realizan con la mezcla o compuesto B-01400.

Para la elaboración de los productos extruidos de caucho que se utilizan en tubería se llevan acabo una serie de tareas u operaciones de las cuales depende la calidad final del producto y por ende la satisfacción del cliente

El proceso comienza con la recepción de la materia prima por parte del encargado de la bodega, allí se verifica la factura con el pedido, luego la materia prima es llevada a la bodega donde se almacena en estantes y cuya ubicación depende de la rotación interna de dicha materia prima. Allí en la bodega se tiene un libro en el que se indica la fecha de llegada y el número del lote proveedor, al igual que el número de lote interno de Eterna S.A. en el cual se comenzó a utilizar esta materia prima para la realización de los diferentes tipos de mezclas.

El encargado de la bodega debe llevar un informe al laboratorio donde indique la materia prima que se recibió, para que el jefe de laboratorio expida la orden en el caso de que se requiera una inspección de acuerdo con la confiabilidad que se le tenga al proveedor.

Una vez que el laboratorio aprueba la materia prima se puede disponer de dicho material para realizar las mezclas de caucho.

Parte de esta materia prima es llevada desde la bodega hasta el área de dosificado, lugar en donde se pesan los *químicos* y los *acelerantes* de acuerdo con un libro de formulas (ver anexo 1) en el cual se encuentra el nombre de la materia prima y la cantidad de kilogramos necesaria para preparar una mezcla, en esta área se tiene un estante con varias cajas las cuales contienen

diferentes materias primas, una balanza digital y bolsas en las cuales se deposita lo que se ha pesado. Luego de tener los químicos y los acelerantes pesados, se llevan los primeros al área de mezclado donde esta el banbury y los segundos al área de acelerado que corresponde al molino 3.

Otra parte de la materia prima (cargas, plastificantes y cauchos) se lleva hacia el área del banbury, donde se dosifican de acuerdo con el libro de formulas (Ver anexo 1).

Una vez el material se encuentra dosificado, se procede a mezclarlo en el banbury para lo cual se sigue las instrucciones que están dadas en el libro de tiempos de ciclo de mezclado (Ver anexo 2) y se obtiene la primera fase de la mezcla que se denomina con el nombre de master.

Este master sale del banbury en forma de bola irregular y es llevado por un pequeño carro hacia el molino 2 donde se recibe, se da la forma de tapete alargado, se recubre con caolín y se corta en tres pedazos para que otro operario los pese y los separe en grupos de 69,5Kg; posteriormente, otro operario procede a tomar una muestra aleatoria de cualquiera de cada uno de estos pesos de 69,5 kg y la acelera (añadir los acelerantes) en el molino 4, se deja reposar durante 24 horas y se lleva al laboratorio donde se realizan las pruebas de dureza, tensión y elongación que corresponden a las pruebas de calidad que se realizan al compuesto B-01400, si los resultados se encuentran dentro de los rangos establecidos (Ver anexo 3), entonces se acelera el resto del lote de donde se saco la muestra, si los resultados de laboratorio no son satisfactorios se pasa un informe al gerente técnico y este determina que componentes se deben agregar a dicha mezcla para que cumpla con las características especificadas, una vez agregados los componentes se lleva la mezcla otra vez al laboratorio para practicarle las pruebas nuevamente y así sucesivamente hasta que cumpla con las propiedades requeridas.

En algunas ocasiones no hay que agregar componentes sino que se mezcla en proporción de 50/50 con otra mezcla que si cumpla con las características.

Una vez se ha acelerado la mezcla se lleva hacia el molino 4 en donde se faja (cortar en tiras delgadas para facilitar la alimentación de la extrusora), se pesa para luego llevarla al área de extrusión por medio de un ascensor, una vez arriba se preparan los equipos para la extrusión y la vulcanización (extrusora y túnel de vulcanización respectivamente) de acuerdo a un instructivo que indica las temperaturas y velocidades respectivas según la referencia o tipo de empaque que se vaya a producir.

Para lograr la forma del empaque se utiliza un molde al cual en la empresa se le conoce con el nombre de dado, existen tantos dados como referencias de empaques. Dicho dado debe colocarse de una manera especial en la boquilla de la extrusora y de esto depende en gran parte la no deformación del empaque durante su vulcanización además de que le facilita al operario la medición de la longitud final del mismo.

Debe asegurarse que la máquina a operar se encuentre en las optimas condiciones (temperatura, refrigeración, velocidad), luego se procede a verificar el programa de producción a realizar en dicha máquina el cual indica la cantidad en metros a producir así como el tipo de mezcla o compuesto a utilizar y la cantidad de kilogramos que se requieren. Para llevar a cabo la extrusión lo primero es alimentar la extrusora con la mezcla respectiva en este caso la B-01400 que como ya viene fajada facilita la alimentación, una vez que la mezcla empieza a salir con la forma del dado que se utilizó, se mide con el calibrador para ver si cumple con las dimensiones establecidas y en el caso de que no, se le aumenta o disminuye la velocidad a la extrusora hasta obtener la medida que indica la especificación del producto.

La mezcla con las dimensiones ya calibradas se coloca sobre una banda transportadora que se encarga de introducirla a través del túnel de vulcanización. Al final de dicho túnel se encuentra otro operario cuya función

es recibir y verificar las condiciones en que llega el empaque, si el empaque llega bien procede a enrollarlo, de lo contrario informa al supervisor o a el encargado de la extrusora.

La operación siguiente para el caso del Titán 14mm, consiste en cortar el empaque a un largo determinado, para que luego cada uno de los pedazos que se cortaron se peguen en la prensa eléctrica o neumática y adquieran la forma de anillos, que son ya los empaques que se colocan en las tuberías. Otro operario realiza cierta tensión manualmente sobre los anillos recién pegados para observar la calidad del pegue, aquellos que hallan quedado bien pegados se empacan en cajas y se llevan a la bodega para su posterior distribución, los otros se despegan y se vuelven a pegar.

3.4 GLOSARIO

3.4.1 Glosario de términos químicos

ACELERADORES DE LA VULCANIZACIÓN:

Son sustancias que añadidas en cantidades pequeñas a la mezcla de caucho aumentan considerablemente la rapidez de vulcanización a la vez que mejoran notablemente la calidad del producto y disminuyen la cantidad de azufre empleada.

ACTIVADORES Y RETARDANTES:

un retardante es una sustancia que retarda el comienzo de la vulcanización, no afecta el curso subsiguiente de la vulcanización y ayuda a que los acelerantes ejerzan por completo su efecto. Un retardante verdaderamente eficaz debe aumentar el tiempo requerido para el comienzo de la vulcanización (a cualquier temperatura), pero no debe retardar la subsiguiente velocidad de vulcanización.

AGENTES VULCANIZADORES:

Un agente vulcanizador es aquel que efectúa la vulcanización después de ser expuesto a temperatura conveniente. Este agente vulcanizador debe ser soluble en el caucho o estar dividido en partículas finas para que pueda dispersarse con facilidad y uniformidad en el caucho.

ANTIOXIDANTES:

Son sustancias que retardan el deterioro del caucho natural, ya sea bruto o vulcanizado, causado por la oxidación también se conocen con el nombre de antioxidígenos.

CARGAS:

Existen dos tipos de cargas las reforzantes y las diluyentes Las cargas reforzantes se emplean por razones preferentemente técnicas (aunque con frecuencia también den lugar a un menor costo del material), para aumentar la resistencia mecánica del vulcanizado, en especial su resistencia a la abrasión y al desgarre, y en muchas ocasiones también la resistencia a la tracción. Por el contrario las cargas diluyentes se usan por razones puramente económicas, para abaratar el material, aunque a costa de un empeoramiento de las características mecánicas.

CAUCHO:

Sustancia elástica, impermeable, resistente a la abrasión y a la corriente eléctrica. Se obtiene del látex de diversas plantas y especialmente de la *Hevea brasiliensis*, de la familia euforbiáceas.

CAUCHO NATURAL:

En estado natural, el caucho aparece en forma de suspensión coloidal en el látex de plantas productoras de caucho. Una de estas plantas es el árbol de la especie *Hevea Brasiliensis*, de la familia de las Euforbiáceas, originario del Amazonas. Otra planta productora de caucho es el árbol del hule, *Castilloa elástica*, originario de México (de ahí el nombre de hule), muy utilizado desde la época prehispánica para la fabricación de pelotas, instrumento primordial del juego de pelota, deporte religioso y simbólico que practicaban los antiguos mayas. Indonesia, Malaysia, Tailandia, China y la India producen actualmente alrededor del 90% del caucho natural. El caucho en bruto obtenido de otras plantas suele estar contaminado por una mezcla de resinas que deben extraerse para que el caucho sea apto para el consumo. Entre estos cauchos se encuentran la gutapercha y la balata, que se extraen de ciertos árboles tropicales.

CAUCHO SINTÉTICO:

Puede llamarse caucho sintético a toda sustancia elaborada artificialmente que se parezca al caucho natural. Se obtiene por reacciones químicas, conocidas como condensación o polimerización, a partir de determinados hidrocarburos insaturados.

DADO:

Pieza metálica que tiene la forma de un determinado perfil y que se adhiere a la boquilla de la extrusora con el fin de darle una forma específica al compuesto de caucho.

EXTRUSORA:

Maquina de forma cilíndrica con un tornillo sin fin en su interior, que sirve para transportar y comprimir un compuesto contra una boquilla que tiene el diseño del perfil deseado.

MASTER:

Compuesto de caucho preparado en el banbury o molino, el cual carece de acelerantes.

MEZCLADOR DE CILINDROS:

También llamado mezclador abierto, consiste esencialmente en dos cilindros metálicos dispuestos paralelamente de manera que sus ejes se encuentren en el mismo plano horizontal, y que giran en sentidos opuestos y convergentes. El cilindro posterior ocupa una posición fija mientras que el anterior puede desplazarse en el plano de los ejes, para variar la separación entre ambos. Se utiliza para mezclar los ingredientes que constituyen un compuesto de caucho o para laminar un compuesto acelerado

MEZCLADOR INTERNO:

Un mezclador interno o Banbury consta de dos rotores que giran en sentidos inversos en el interior de una cámara cerrada, con sección transversal en forma de ocho.

NEGRO DE HUMO:

Es la carga por excelencia en la industria del caucho, consta de finísimas partículas de carbón, obtenidas por combustión parcial de gas natural o de aceites de petróleo gasificados.

El uso del negro de humo aumenta el poder reforzante de la mezcla y por consiguiente se pueden obtener vulcanizados con mayor resistencia a la tracción, al desgarrar y a la abrasión. También aumentan la dureza y la rigidez de las gomas, y disminuye el alargamiento en la rotura.

PLASTIFICANTES:

Son sustancias que aceleran la reducción de la viscosidad del caucho durante la masticación. Se usan principalmente con el caucho natural, el cual en estado bruto es demasiado viscoso para su empleo inmediato y requiere el reblandecimiento previo.

TUNEL DE VULCANIZACION:

Dispositivo cuya función es activar el azufre presente en la mezcla mediante calor, con el fin de que adquiera las características finales.

VULCANIZACIÓN:

Proceso mediante el cual el caucho reacciona con el azufre por medio del calor, transformándose de su estado plástico a un estado elástico.

3.4.2 Glosario de términos técnicos

BALANZA:

Equipo utilizado en el pesaje de los químicos que van en proporción baja y por tanto su precisión no debe variar en mas de un gramo.

BASCULA:

Equipo utilizado en el pesaje de materiales que sobrepasan los 5Kg y por tanto permiten una variación de 100 a 200 gr.

CALIDAD:

Es el grado en que un producto cumple el propósito para el cual ha sido diseñado y satisface a la vez la necesidad de un consumidor específico al mejor precio posible⁶.

CARGA LÍMITE:

La carga máxima que puede ser soportada por el instrumento sin alteración permanente de sus cualidades metrológicas.

CARGA MÁXIMA (MÁX):

Capacidad máxima de medición de masa, teniendo en cuenta la capacidad aditiva de tara.

CARGA MÍNIMA:

Cantidad de masa por debajo de la cuál las mediciones pueden tener un error relativo muy importante.

CLASE DE EXACTITUD DE PESAS:

Clase de exactitud que cumple algunos requisitos petrológicos previstos para mantener los errores dentro de los límites especificados.

CONTROL DE CALIDAD⁷:

Es el conjunto de actividades que hay que realizar para alcanzar los objetivos de calidad de una empresa

COSTOS DE LA CALIDAD:

Son aquellos costos relacionados con la incapacidad para lograr la calidad de un producto o servicio tal y como fue estipulado por la compañía, es decir es el costo causado por productos o servicios malos

DUREZA:

Resistencia que presenta un material a ser penetrado por un punzón de dimensiones específicas y bajo una carga dada. La dureza de un caucho es una indicación de su rigidez frente a esfuerzos moderados.

DUREZA SHORE A:

Escala de medición de dureza más común en los cauchos, se basa en la medida de la penetración de una punta troncocónica en contra de la reacción de un resorte metálico calibrado. El aparato utilizado para esta medición se denomina durómetro, y su rango de escala es de 0 a 100. Por su simplicidad, la medida de dureza Shore A es muy utilizada como control de producción pese a su poca exactitud.

DUREZA IRHD:

Escala con la que se transforma un valor de profundidad de penetración, en un valor de dureza expresada en una escala de 0 – 100, sensiblemente coincidente con la escala de Dureza del Caucho o IRHD. Esta escala se recomienda para clasificación o para establecer especificaciones por su mayor exactitud.

⁶ control de calidad, fernando orozco, pag 4

⁷ Control de calidad, fernando orozco, pag 9

ELONGACIÓN: Es el incremento de longitud por unidad de longitud inicial expresado como % sufrido por el material que se evalúa en el punto de ruptura.

INSPECCIÓN:

Actividades de medir, examinar, probar o ensayar una o más características de calidad de un producto y comparar los resultados con los valores establecidos en la especificación o ficha técnica para determinar su estado de conformidad.

INSTRUMENTO DE PESAJE:

Instrumento de medición que sirve para determinar la masa de un cuerpo cuando actúa sobre este la acción de la gravedad. Este instrumento puede servir igualmente para determinar otras magnitudes, cantidades, atributos o características en función de la masa.

INSTRUMENTO DE PESAJE CON EQUILIBRIO AUTOMÁTICO:

Aquel en el cuál la posición de equilibrio se logra sin la intervención del operario. (I)

INSTRUMENTO DE PESAJE CON EQUILIBRIO SEMIAUTOMÁTICO:

Aquel que tiene un intervalo de medición con equilibrio automático en el cuál interviene un operario para modificar los límites de dicho intervalo. (I)

INSTRUMENTO DE PESAJE CON EQUILIBRIO NO AUTOMÁTICO:

Aquel en el cuál el operario busca por completo la posición de equilibrio.(I)

INSTRUMENTO DE PESAJE CON DIVISIONES DE ESCALA MÚLTIPLE:

Aquel donde el intervalo de pesaje está subdividido en escalas diferentes, cada intervalo parcial (índice i:1,2,3...) está definido por: (I)

- Su división de escala de verificación $e_i, e_{i+1} > e_i$
- Su larga máxima $máx_i$

- Su carga mínima $m_{X_{i-1}}$
- El número N_i de divisiones de escala para cada rango parcial es igual a a :

$$N_i = \frac{M_{aX_i}}{e_i}$$

INSTRUMENTOS DE PESAJE DE FUNCIONAMIENTO NO AUTOMÁTICO:

Necesita ser manejados por un operario durante el transcurso de la medición, por ejemplo, para colocar las cargas en el dispositivo receptor de carga o para retirarlas así como para obtener el resultado; dicho instrumento permite observar directamente el resultado de las mediciones.

INSTRUMENTO DE PESAJE NO GRADUADO:

Que no tiene escala numerada en unidades de masa (I)

INSTRUMENTO GRADUADO:

Que permite la lectura directa del resultado completo o parcial de la medición, siendo de indicación continua o discontinua.

JUEGO DE PESAS:

Serie de pesas normalmente presentada en una caja, dispuesta para hacer posible cualquier pesaje de todas las cargas entre la masa de la pesa con el menor valor nominal y la suma de las masas de todas las pesas de la serie, con una progresión en la cuál la masa de la pesa con el menor valor nominal constituye el menor paso de la serie.

MASA CONVENCIONAL:

Valor convencional del resultado del pesaje en el aire, de acuerdo con la norma OIML R33.

Para un pesaje tomado a 20 °C, la masa convencional es la masa de una pesa de referencia de una densidad de 8000Kg m⁻³ que esta equilibrada en aire a una densidad de 1.2 Kg. m⁻³

MÉTODO DE ENSAYO:

Describe las etapas lógicas a seguir en la inspección de una materia prima para determinar una característica de calidad.

PESA:

Medida material de masa, regulada en relación con sus características físicas y metrológicas: forma, dimensiones, material, calidad de la superficie, valor nominal y error máximo permisible.

RANGO DE PESAJE:

Rango comprendido entre las cargas mínima y máxima.

REOLOGÍA:

Rama de la física que se ocupa de las relaciones entre el flujo y la deformación de la materia.

REOMETRÍA:

Evaluación del comportamiento reológico de un compuesto durante la vulcanización, cuando se mantiene en una cámara regulada a temperatura y presión constante, y se somete a esfuerzos de cizallamiento alternantes de poca amplitud según un ciclo sinusoidal; se determina la resistencia ofrecida por esta frente a tales esfuerzos y su variación con respecto al tiempo de calentamiento. Del registro del torque resistente en función del tiempo de calentamiento a la temperatura elegida, conocido como reograma o carta reométrica, se puede medir una serie de parámetros útiles.

RESISTENCIA A LA TENSIÓN:

Se define como la fuerza por unidad de área de la sección transversal, necesaria para romper por estiramiento una probeta de características establecidas normativamente y que corresponde al material que se esta evaluando se mide en decaNewton (daN/cm²).

TOLERANCIA⁸:

Variación permisible en la magnitud de una determinada característica de calidad.

⁸ control de calidad,besterfield, pag7

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LOS SUBPROCESOS

A continuación se explica el proceso de una forma más detallada con el fin de obtener un conocimiento más amplio y de esta manera encontrar posibles deficiencias.

Para esto se describe el objetivo del subproceso, se indican las variables que intervienen y se listan las características principales las máquinas utilizadas.

4. LLEGADA DE MATERIA PRIMA Y ANÁLISIS DE LABORATORIO

4.1 OBJETIVO

Recibir, transportar, almacenar y evaluar la materia prima con el fin de establecer si cumple con las especificaciones establecidas.

4.2 DESCRIPCION

La materia prima es recibida por el encargado del almacén verificando por medio de la factura del proveedor la descripción del producto, la cantidad y el valor, posterior a este procedimiento y de acuerdo a la clasificación del proveedor (altamente confiable (AC), proveedor confiable (C), medianamente confiable (MC), poco confiable (PC) o proveedor especial (PE)) se ubica la materia prima en los estantes de almacenamiento o se deja en espera en una zona especial para seleccionar una muestra al azar y ser llevada al laboratorio para su posterior análisis.

Luego de ubicar la materia prima en el lugar correspondiente, se procede a ingresar los datos de facturación en el formato de Ingreso de materia prima para realizar el pago de las facturas además se realiza un registro en el libro de control que incluye la materia prima que es ingresada a la bodega detallando la fecha de recepción, la cantidad, el número de lote del proveedor y el lote de producción de mezcla con el cuál se inició a consumir el respectivo lote de materia prima.

Se diligencia el formato Recibo de materia prima para ser enviado al laboratorio y se determina de acuerdo al tipo de proveedor (AC, C, MC, PC), si la materia prima debe ser analizada para aprobar su posterior distribución y utilización, si el laboratorio requiere practicar un análisis, se le informa al almacenista de bodega y este toma una muestra de la materia prima; el auxiliar de laboratorio y/o jefe de laboratorio recibe la muestra, la registra, analiza y emite un resultado.

En caso de que la materia prima no se apruebe se le informa al área de compras para que se contacte con el proveedor y se tomen las medidas para que el incidente no se vuelva a presentar.

4.3 VARIABLES

- Condiciones ambientales del almacenaje
- Cumplimiento de especificaciones
- Calibración de los instrumentos de laboratorio

4.4 MAQUINAS Y HERRAMIENTAS

Tabla 2. Máquinas y herramientas del laboratorio

INSTRUMENTO	CODIGO	RANGO	DIVISION DE ESCALA	TOL. ±	MARCA	MODELO
Durómetro Digital	LBDU-038	0-99,5 Shore A	0,5Shore A	±5 Shore A	DUROTECH	M202
Calibrador Pie de Rey Digital	LBPR-001	0-150 mm	0,01mm	± 0,05mm	MITUTOYO	500-115
Calibrador Pie de Rey Digital	LBPR-002	0-190 mm	0,01mm	± 0,05mm	MITUTOYO	NTD 25-20
Reómetro	LBRO-001	1seg - 24 min	1 seg	± 3 seg	MONSANTO (GOMMY)	R100
Reómetro	LBRO-002	1seg - 24 min	1 seg	± 3 seg	MONSANTO (GOMMY)	R101
Tensiómetro	LBTS-038	0-1000N	0,01N	± 0,05 N	LLOYD Instrument	LS-500
Manómetro Patrón	MTMA-170	0-6000 PSI	50 PSI	± 1,6 PSI	Dt.N.D	No Aplica
Manómetro Patrón	MTMA-171	0-600 PSI	2 PSI	± 1,6 PSI	Dt.N.D	No Aplica
Masas Patrón	MTMS-001	1g - 1 Kg	No aplica	No aplica	KER & SOHN GMBH CLASE:M1	Cilíndricas
Masas Patrón	MTMS-005	5 Kg	No aplica	No aplica	CLASE:M2	OIML
Masas Patrón	MTMS-010	10 Kg	No aplica	No aplica	CLASE:M2	OIML
Masas Patrón	MTMS-020	20 Kg	No aplica	No aplica	CLASE:M2	OIML
Balanza Digital	MXBD-038	20-5000 g	1 g	No aplica	CAS	EP -15
Balanza Digital	MXBD-047	20 -5000 g	1 g	No aplica	HANNA 5000	HS600W
Abrasímetro	LBAE-001	No aplica	No aplica	No aplica	BAREISS	DIN 53-516
Durómetro Análogo	LBDU-036	0-100 Shore A	1Shore A	± 5 Shore A	HP	Dt.N.D
Durómetro Análogo	LBDU-037	0-100 Shore A	1Shore A	± 5 Shore A	HP	Dt.N.D

Fuente: Archivo Eterna S.A.

5. DOSIFICADO

5.1 OBJETIVO

El objetivo del proceso consiste en medir la cantidad exacta de materia prima que se requiere, para la realización de un determinado compuesto, tomando como base el libro de formulas (Ver anexo 1).

5.2 DESCRIPCIÓN

Se llevan acabo tres tipos de dosificación que son : dosificado de químicos y acelerantes, dosificado de cauchos y dosificado de cargas y plastificantes.

- Dosificado de químicos y acelerantes

Para llevar a cabo el dosificado se requiere que el área de producción suministre la programación de los productos que se van a elaborar y la cantidad, dependiendo del tipo de producto se conoce que mezcla se necesita y se hace el pedido al área de molinos donde se programa el itinerario de mezclas para ese día.

Lo primero que realiza el dosificador es revisar el programa y compararlo con el inventario que quedo del día anterior, luego examina si tiene la suficiente materia prima, si no la tiene la solicita al encargado de la bodega.

Posteriormente se recogen las bolsas de químicos y acelerantes que fueron utilizadas el día anterior y se organizan para su posterior reutilización.

Para dosificar, el operario pesa la bolsa y ajusta la balanza electrónica, de tal modo que indique cero y luego con base en el libro de formulas se agregan los diferentes componentes; se utiliza una bolsa para los químicos y otra para los acelerantes; luego se llevan las bolsas con los acelerantes a un estante ubicado cerca del molino 3 y las bolsas con los químicos al banbury.

- Dosificado de cauchos

Se realiza en el área del banbury mediante el empleo de una guillotina, sobre la cual se pone la bala o bloque de caucho y mediante fuerza neumática, esta baja y corta el caucho, una vez dicha bala se ha partido en pedazos mas pequeños se procede a pesar los pedazos y a cortarlos de nuevo si es el caso, para que pesen lo que indica la formula.

- Dosificado de cargas y plastificantes

Se realiza en el área del banbury y consiste en el pesaje de las cargas blancas y las cargas negras mediante el uso de una bascula mecánica y bolsas siguiendo lo indicado en el libro de formulas. El plastificante en este caso es el aceite naftenico y se dosifica en un balde que tiene una marca que indica el nivel que tiene que alcanzar dicho fluido.

La dosificación de este plastificante se realiza cada vez que se esta mezclando en el banbury; es decir no se dosifica con anterioridad sino solo cuando ya se requiere que se vierta en el ciclo de mezclado del banbury.

5.3 VARIABLES

- Iluminación
- Condición de almacenamiento de la materia prima
- Calibración de la balanza o bascula
- Contaminación
- Monotonía

- Esfuerzo físico

5.4 MAQUINAS Y HERRAMIENTAS

DOSIFICADO DE QUÍMICOS Y ACELERANTES

- Balanza digital CAS
 Modelo: EP-15
 Rango: 20 gr – 5 Kg
 División mínima: 1gr

Tabla 3. Características de la balanza digital

Rangos de medida		Errores permitidos
Rango bajo	0 – 500gr	± 1 gr.
Rango medio	500- 2000gr	± 2 gr.
Rango alto	2000gr – 5000gr	± 3 gr.

Fuente: Archivo Eterna S.A.

DOSIFICADO DE CAUCHOS

- Bascula mecánica
 Modelo: mxbam-006
 Carga máxima: 500Kg
 Carga de trabajo: 200Kg
 Carga mínima: 4Kg
 División mínima: 0,2Kg

Tabla 4. Características de la báscula mecánica

Rangos de medida		Errores permitidos
Rango bajo	0 - 100Kg	$\pm 0,2\text{Kg}$
Rango medio	100- 400Kg	$\pm 0,4\text{Kg}$
Rango alto	400Kg - 500Kg	$\pm 0,6\text{Kg}$

Fuente: Archivo Eterna S.A.

6. MEZCLADO

6.1 OBJETIVO

Obtener una mezcla o masa de compuesto B-01400 en la cual los ingredientes se hayan dispersado y distribuido homogéneamente para que la mezcla cumpla con los requisitos establecidos de calidad y especificaciones del mismo para garantizar desde el comienzo del proceso la obtención de un producto con estándares de calidad alta de forma que se envíe al área de extrusión sin retrabajos o reprocesos.

6.2 DESCRIPCIÓN

El compuesto B-01400⁹ se compone de caucho sólido¹⁰, cargas¹¹, plastificantes¹² y acelerantes¹³, el proceso de mezcla se lleva a cabo en el banbury¹⁴ o mezclador cerrado donde cada uno de los ingredientes se agrega a un tiempo determinado tal y como lo indica el ciclo de mezclado (Ver anexo 2).

Después de 8 minutos sale la mezcla del banbury y cae sobre un carro transportador que la conduce hacia el molino N° 2 donde se recibe por parte

⁹ Es la mezcla que se obtiene de la incorporación de químicos, cauchos, plastificantes, cargas, aceite y cargas

¹⁰ Elemento principal de toda la mezcla, debido a sus propiedades elásticas

¹¹ Es una mezcla de componentes, que tiene por objeto rendir el material resultante

¹² son los encargados de ablandar y homogeneizar la mezcla de caucho.

¹³ Son todas las materias primas que necesita un compuesto de caucho para poder ser sometido al proceso de vulcanización

¹⁴ Equipo utilizado para mezclar compuestos de caucho

del operario y se descarga sobre el mismo; el operario se dispone a laminar la mezcla haciéndola girar a través del molino por un tiempo aproximado de tres minutos para que se eliminen las burbujas de aire en la mezcla.

Posterior a esto, se procede a dejar caer sobre el suelo la mezcla y el operario dispersa caolín¹⁵ sobre toda la lámina; una vez aplicado el caolín, se realizan cortes a la mezcla laminada, dejando aproximadamente tres porciones iguales las cuales se identifican físicamente con el nombre del compuesto o tipo de mezcla.

Cuando el operario termina esta operación la ubica sobre un carro transportador, y cuando tiene aproximadamente 6 a 7 láminas las lleva al salón de mezclas, donde se pesan las porciones de masa cortadas hasta obtener bloques de 69.5Kg (equivalente a 1 ½ mezcla) y se diferencian por medio de etiquetas, con el fin de facilitar la operación de acelerado¹⁶, posterior a este procedimiento se ubican en el espacio reservado para cada tipo de compuesto.

Dentro del salón de mezclas se identifican los lotes conformes de acuerdo a los siguientes parámetros:

- Color Naranja: Pendiente por inspección
- Color Verde: Conforme
- Color Amarillo: Liberado por urgencia
- Color Rojo: No conforme

De acuerdo con los parámetros presentados se identifican las mezclas que deben ser trabajadas de nuevo, las que ya no sirven o están contaminadas.

¹⁵ Especie de talco que se utiliza para evitar que se peguen las laminas de caucho calientes

¹⁶ Operación que consiste en agregar ingredientes que facilitan la vulcanización.

Cuando se requiere acelerar el lote de producción, se realiza primero un muestreo aleatorio escogiendo del conjunto de mezclas una muestra y se acelera (proceso mediante el cual se incorporan los acelerantes a mezcla y media 1 ½ de compuesto B-1400 en el molino N°3); posteriormente se deja en reposo 24 horas y se lleva al laboratorio para realizar las pruebas de análisis de tensión, elongación y dureza (ver anexo 3); si la mezcla de compuesto B-01400 acelerada es aprobada, se entiende que el lote completo correspondiente a ese día de producción ha sido aprobado y el resto de mezcla y media que se cortaron con anterioridad pueden también ser aceleradas.

Luego se procede a acelerar las mezclas de acuerdo con los requerimientos en el área de extrusión; una vez aceleradas se realiza la operación de fajado, la cual consiste en reducir la mezcla a una faja o tira de 10 cm. de ancho y 0,5 cm. de espesor, esto con el fin de facilitar la posterior alimentación de las extrusoras. El fajado se logra por medio de un mecanismo de dos cuchillas que se añaden al molino y las cuales se encuentran dispuestas de forma paralela y graduadas de acuerdo con un molde preestablecido según el tipo de compuesto a fajar; a medida que la mezcla va saliendo fajada se le agrega caolín para evitar que la tira que esta saliendo no se adhiera al resto de tira que ya salió.

Al terminar la operación de fajado se introducen las tiras o fajas dentro de una caneca que se pesa y se envía a extrusión la cantidad solicitada.

6.3 VARIABLES

- Iluminación
- Tiempos de ciclo de mezclado y acelerado
- Calibración de la balanza o bascula

- Contaminación
- Monotonía
- Esfuerzo físico

6.4 MAQUINAS Y HERRAMIENTAS

Tabla 5. Características de los molinos y banbury

Equipo	Marca	Capacidad	Revoluciones	Potencia	Consumo
Banbury	Guix	50 litros	890 R.p.m.	150 HP	57 Kw/h
Molino 2	Cope	80 Kg.	980 R.p.m.	120 Hp	42 Kw/h
Molino 3	Jones	80 Kg.	970 R.p.m.	100 HP	42 Kw/h
Molino 4	Cope	50 Kg.	1186 R.p.m.	50 HP	31 Kw/h

Fuente: Archivo Eterna S.A.

7. EXTRUSIÓN

7.1 OBJETIVO

El objetivo del proceso consiste en obtener un perfil o empaque de una figura y dimensiones específicas mediante el empleo de un molde (*dado*) para luego ser vulcanizado.

7.2 DESCRIPCIÓN

Para realizar el proceso de extrusión lo primero que debe hacerse es revisar el programa del día y con base en este se alistan los moldes necesarios, una vez se tiene el molde de la referencia a producir se asegura en la boca de la extrusora y luego se consulta el instructivo (libro donde se indican los rangos de velocidad que debe tener la extrusora para obtener un determinado perfil).

Con la velocidad ya especificada se comienza a alimentar la extrusora con la mezcla previamente fajada que proviene del área de molinos, para alimentar la extrusora solo basta con introducir una o dos fajas de mezcla en el tornillo sin fin y este continuara halando el resto.

Una vez la mezcla de caucho comienza a salir por la boca de la extrusora con la forma final del empaque a producir, se toman las medidas que indica la hoja de especificaciones para esa referencia, esto se realiza con el calibrador o pie de rey, si el empaque presenta dimensiones que están por encima de la medida nominal, se disminuye la velocidad a la extrusora y si presenta dimensiones que están por debajo, se aumenta la velocidad.

Una vez el empaque tiene las medidas requeridas se coloca sobre una banda transportadora la cual se encarga de conducirlo hacia el túnel donde posteriormente será vulcanizada.

7.3 VARIABLES

- Velocidad de la extrusora
- Calidad de la mezcla
- Experiencia del operario
- Condición o estado del molde o *dado*

7.4 MAQUINAS Y HERRAMIENTAS

Tabla 6. Características de las extrusoras

Equipo	Marca	Revoluciones	Potencia	Consumo
Extrusora 2	Eterna	1700 R.p.m.	37,3 HP	50 Kw/h
Extrusora 3	Eterna	1765 R.p.m.	48 HP	58 Kw/h

Fuente: Archivo Eterna S.A.

8. VULCANIZACIÓN

8.1 OBJETIVO

Lograr que el compuesto de caucho pase de un estado elástico y deformable a un estado estable a condiciones de temperatura y tiempo para que pueda ser utilizado en la industria automotriz o de construcción.

8.2 DESCRIPCIÓN

El proceso de vulcanizado se lleva a cabo en el interior de un túnel, en el cual el azufre agregado a la mezcla en el proceso de acelerado reacciona con el calor generado dentro del túnel y le confiere ciertas propiedades a la mezcla.

Para este proceso el operario debe observar en el instructivo la temperatura que debe tener el túnel, así como la velocidad de la banda transportadora que lo conduce a lo largo del túnel (25 m).

Al final del túnel se encuentra otro operario cuya función es verificar las medidas del empaque así como el estado de cocción del mismo, si se presenta alguna inconformidad avisa al operario encargado de la extrusora para que tome las respectivas medidas para corregir el defecto en caso de que el problema sea de forma o de dimensiones, si el empaque este saliendo bien se enrolla en una bandeja metálica circular y se pesa, luego se lleva al sitio donde se coloca la producción que va saliendo para que se enfríe y se pueda manipular mas fácil y continuar con las operaciones siguientes.

Para el caso de la referencia Titán 14mm que es un empaque con mezcla B-01400 utilizado para tubería, se cortan pedazos de 54cm y luego cada uno de estos pedazos se pegan en una prensa para darle la forma de anillo el cual ya es el empaque utilizado en la tubería de concreto. Un operario realiza una inspección del pegue de los anillos y aplica un poco de fuerza para ver que tan resistentes quedaron, en caso de que el pegue haya quedado mal o se note que se empieza a despegar, se pegan nuevamente los anillos en la prensa.

El paso final consiste en empacar en la caja de cartón los empaques, se marca la caja con el nombre de la referencia y el número de lote de producción y se lleva la caja a la bodega para su posterior distribución.

8.3 VARIABLES

- Temperatura del túnel
- Velocidad de la cinta de la banda transportadora
- Velocidad de la extrusora

8.4 MAQUINAS Y HERRAMIENTAS

Tabla 7. Características de los túneles de vulcanización

Equipo	Temperatura 1	Temperatura 2	Temperatura 3
Túnel 2	200 ± 15 °C	200 ± 15 °C	N.A.
Túnel 3	200 ± 15 °C	200 ± 15 °C	N.A.

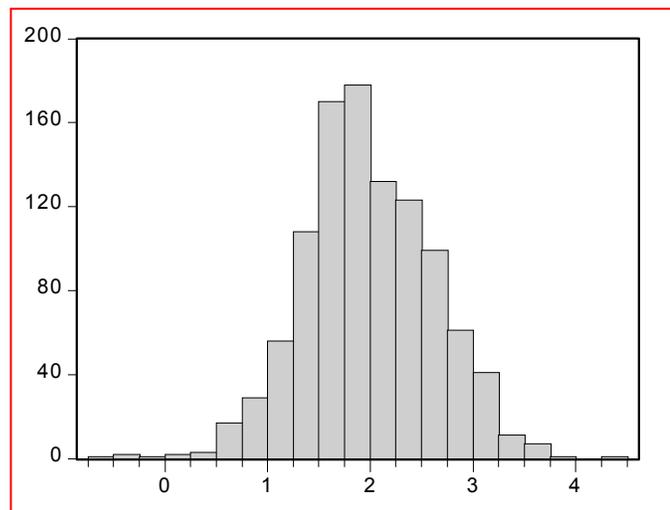
Fuente: Archivo Eterna S.A.

9. HERRAMIENTAS ESTADISTICAS APLICADAS

9.1 HISTOGRAMA

Representa gráficamente la frecuencia de cada medición dentro de un grupo de mediciones. Es una gráfica de barras que indica una distribución por frecuencia. El histograma muestra gráficamente la capacidad de un proceso al igual que da una idea de la forma de la población y si se desea puede mostrar la relación que guarda tal proceso con las especificaciones y con las normas. Su construcción ayudará a comprender la tendencia central, dispersión y frecuencias relativas de los distintos valores.

Existen diversos tipos de histogramas y cada uno presenta un análisis diferente:



➤ **Tipo Normal (simétrico o de campana)**

El valor de la media del histograma se encuentra en el centro del rango de los datos. La frecuencia máxima está en la mitad y desciende gradualmente hacia los lados. La forma es simétrica

➤ **Tipo Disparejo (o multimodal)**

Cada clase de por medio tiene frecuencia más baja, esta forma se presenta cuando el número de datos incluidos en cada clase varía de clase a clase o cuando existe una tendencia particular en la manera en que se redondean los datos.

➤ **Tipo deslizado a la derecha (deslizado a la izquierda)**

El valor de la media del histograma está localizado hacia el lado izquierdo del rango. La frecuencia disminuye abruptamente hacia la izquierda. Es asimétrico.

Esta forma ocurre cuando el límite inferior está controlado ya sea teóricamente o por el valor de una especificación. También cuando valores inferiores a otro dado no son considerados.

➤ **Tipo precipitado a la izquierda**

El valor de la media del histograma está localizado muy hacia la izquierda de la mitad del rango de los datos, esta es una forma que ocurre frecuentemente cuando se ha hecho un muestreo al 100% debido a una baja capacidad de proceso, y también cuando el deslizamiento a la derecha es mucho más extremo.

➤ **Tipo meseta**

La frecuencia en cada clase forma una meseta debido a que las clases tienen frecuencias similares excepto aquellas en los extremos, esta forma ocurre al mezclar varias distribuciones con distintos valores medios.

➤ ***Tipo Pico Gemelo (Tipo Bimodal)***

La frecuencia es baja cerca de la mitad del rango de los datos y existe un pico en cada lado, esta forma ocurre cuando dos distribuciones con valores medios, muy distintos, son mezcladas.

➤ ***Tipo Pico asilado***

Existe un pequeño pico aislado adicionado a un histograma de tipo general, esta es una forma que aparece cuando se hace una pequeña incorporación de datos con una distribución diferente, tal como el caso de anomalías en el proceso, error en las mediciones, o incluso de datos de un proceso diferente.

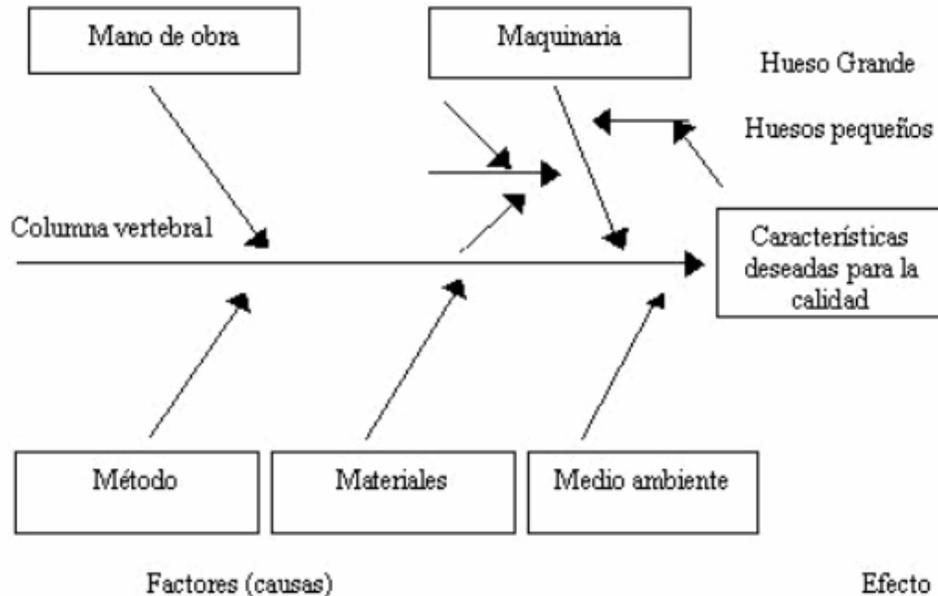
9.2 DIAGRAMA CAUSA-EFECTO.

Es un método gráfico para analizar los problemas (efectos) y las causas que contribuyan a ellos. Se busca de esta manera visualizar que efecto es "negativo" y así emprender las acciones necesarias para corregir las causas, generalmente por cada efecto hay muchas causas que contribuyen a producirlo.

Entre sus usos más importantes se encuentran:

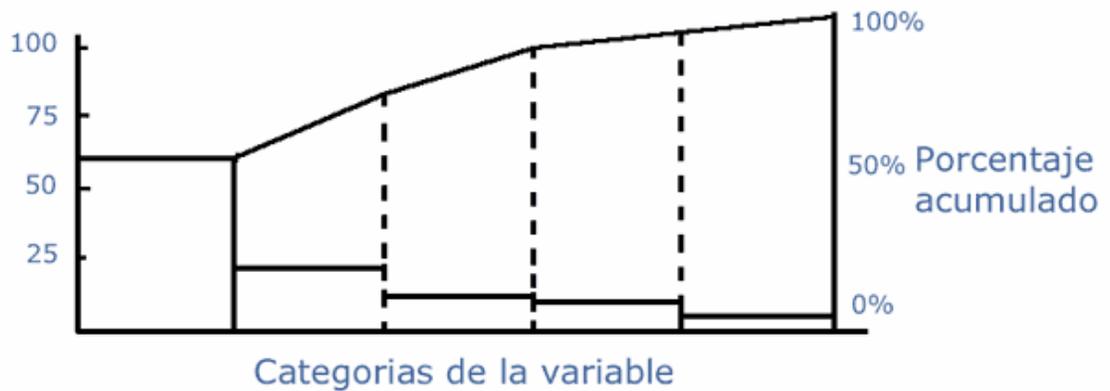
- Retroalimenta la visión de cada uno de los involucrados.
- Guía de la discusión.
- Definir diligentemente las causas y consignar los resultados.
- Reúne datos (orienta la adopción de las medidas pertinentes)
- Pone de manifiesto el nivel de tecnología (revela un conocimiento acabado del proceso de producción).
- Es aplicable a cualquier tipo de problema.

- Permite visualizar de manera profunda las relaciones del problema con sus posibles causas.



9.3 DIAGRAMA DE PARETO.

Es una gráfica en donde se organizan diversas clasificaciones de datos por orden descendente, de izquierda a derecha. Mediante un diagrama de Pareto se pueden detectar los problemas o causas que tienen más relevancia. Por lo general el 80% de los resultados totales se origina en el 20% de los elementos. La gráfica es muy útil al permitir identificar visualmente en una sola revisión tales minorías de características vitales a las que es importante prestar atención.



9.4 GRAFICAS DE CONTROL

Gráficas en las cuales se representa el comportamiento de un proceso y cuyo fin es descubrir las causas asignables de variación y mostrar las tendencias del mismo debidas a la presencia de estas.

9.5 PLANTILLAS PARA RECOLECCION DE DATOS

Su objetivo es facilitar las tareas de recolección de información a la vez que evitan la posibilidad de cometer errores permitiendo un análisis rápido de la información. Pueden tener distintas finalidades: controlar una variable de un proceso, llevar un control de productos defectuosos, estudiar la localización de los defectos, etc.

LOTE	FECHA	DIA	DUREZA	TENSION	ELONGACION
3002	02-Ene-03	Jueves	42,0	106,0	674,0
3007	07-Ene-03	Martes	41,5	104,8	658,0
3009	09-Ene-03	Jueves	39,0	101,8	685,0
3010	10-Ene-03	Viernes	41,5	116,2	720,7
3011	11-Ene-03	Sábado	39,5	98,2	678,2
3013	13-Ene-03	Lunes	38,5	79,5	702,2
3015	15-Ene-03	Miércoles	41,5	91,2	715,1

9.6 CAPACIDAD DEL PROCESO

Cuando un proceso esta bajo control, a la amplitud del intervalo de variabilidad de las observaciones individuales, se le denomina capacidad. A dicha capacidad contribuirán entre otras, las características de las maquinas, el personal, el servicio de mantenimiento del proceso, las características del material, etc.

El concepto de capacidad sugiere una idea positiva, de modo que cuanto más elevada mejor, pero como la capacidad tiene que ver con la variabilidad del proceso entonces cuanto menor sea dicha capacidad es mejor.

La capacidad es una característica innata a cada maquina o proceso e independiente de las tolerancias o especificaciones del producto que genera, es mas, la capacidad de una maquina se puede especificar incluso antes de ser vendida y, por supuesto, antes de saber las tolerancias del producto que se va a elaborar.

Los estudios de capacidad son una herramienta fundamental para la racionalización del control de calidad. Es necesario saber lo que la maquina es realmente capaz de hacer, y no solo deben saberlo las personas involucradas en la fabricación, sino también los comerciales cuando negocian con los clientes sobre las características del producto

Dado un proceso y dadas unas especificaciones se dice que un proceso es capaz, si puede producir dentro de las especificaciones exigidas, es decir, si su capacidad es menor que las tolerancias. Para poder comparar estas dos características se define el índice de capacidad, el cual es una

medida de lo que se puede conseguir con el proceso teniendo en cuenta las especificaciones.

El índice de capacidad viene definido, dependiendo de si es para una maquina (corto plazo) o para un proceso (largo plazo), de la siguiente manera:

$$C_m = \frac{\text{Tolerancia}}{8\sigma} = \frac{(LTS - LTI)}{8\sigma}$$

C_m = Índice de capacidad para una maquina

LTS = Limite superior de especificaciones

LTI = Limite inferior de especificaciones

σ = Desviación estándar

$$C_p = \frac{\text{Tolerancia}}{6\sigma} = \frac{(LTS - LTI)}{6\sigma}$$

C_p = Índice de capacidad de proceso

LTS = Limite superior de especificaciones

LTI = Limite inferior de especificaciones

σ = Desviación estándar

La diferencia de la definición estriba en que para poder conseguir que el C_p sea aceptable comparando con las especificaciones, se ha de ser mas estricto en el C_m de las maquinas que comprometen el proceso.

El valor de C_p da una idea de la variabilidad transmitida por el proceso a los productos. Si $C_p > 1$ se dice que el proceso es capaz; si por el contrario, $C_p < 1$, se dice que no es capaz. En general es preferible que el C_p sea superior a 1, ya que aquellos procesos con C_p en torno a 1 deben ser vigilados rigurosamente ya que pequeños descentramientos

respecto del valor nominal pueden ocasionar la aparición de un número elevado de productos defectuosos.¹⁷

9.7 VARIABLES CRÍTICAS

ANÁLISIS DE MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS

Para llevar a cabo el proceso de mezcla es necesaria la utilización de recursos tales como máquinas y herramientas, que de acuerdo al buen o mal uso que se les proporcione pueden presentar fallas y/o desajustes que deben ser detectados y eliminados para que las operaciones realizadas en estos se hagan de forma correcta, precisa y exacta.

De acuerdo a lo anterior lo más razonable es realizar un mantenimiento preventivo de las máquinas y herramientas para evitar futuros inconvenientes tales como: detener la producción u obtener productos defectuosos.

En Eterna S.A. se tiene un control de mantenimiento correctivo para cada una de las máquinas que intervienen en el proceso de producción de la planta, en este control se indica: el nombre de la maquina, la fecha de revisión, se especifica cada cuanto se realiza el mantenimiento y de acuerdo a lo analizado en la última revisión se determina si se amplía el tiempo de revisión o si por el contrario se disminuye, se presenta también una grafica del comportamiento histórico de la respectiva máquina en las últimas mediciones.

En cuanto a las basculas y balanzas, los limites permitidos y tolerados se encuentran determinados por el procedimiento descrito en la norma técnica colombiana NTC 2031 de *Metrología e Instrumentos de pesaje de*

¹⁷ ALBERT Bartes. Métodos estadísticos control y mejora de la calidad. México. Alfaomega. 2000, p.255-256.

funcionamiento automático y en los documentos históricos de la compañía; cuando una máquina presenta una falla antes de cumplir el tiempo determinado para la revisión se debe realizar un mantenimiento correctivo y el tiempo que se tenía establecido entre revisiones se reduce en un mes, si por el contrario se realiza la revisión programada y el equipo está en buenas condiciones se amplía en un mes más la próxima revisión hasta encontrar el punto de equilibrio y el origen de las causas del daño. Así mismo se determina cuál es el período de calibración en caso de las básculas o balanzas.

Entre los equipos más críticos para el proceso de mezcla se encuentran las básculas, las balanzas y el banbury, Todos los equipos se encuentran identificados con las indicaciones mínimas para un correcto funcionamiento, con el fin que el operario identifique fácilmente las principales características y resulte más fácil su manipulación.

De acuerdo a la lluvia de ideas con la que se realizó la espina de pescado, se determinaron los principales problemas de las máquinas y herramientas (Anexo 4).

En muchas ocasiones realizar el mantenimiento de la máquina no es suficiente, debido a que en el caso de los instrumentos de medida para que estos proporcionen mediciones precisas se deben tener unos cuidados mínimos como por ejemplo el no desplazamiento de su lugar de trabajo de las básculas porque las oscilaciones y el movimiento hacen que sus partes internas tengan vibraciones y se descalibren, colocar elementos cuyo peso sobrepase el límite permitido.

El banbury cuenta con manómetros y termómetros que no funcionan lo cual repercute en el proceso debido a que no se le puede hacer un seguimiento a estas variables que son críticas para la obtención de una buena mezcla.

Otro problema que se presenta en el banbury es que debido a que en este se realizan mezclas de diferentes compuestos algunas veces quedan residuos de las mezclas anteriores dentro de la cámara lo que hace que se contamine la mezcla y por lo tanto salga defectuosa.

El área de dosificado cuenta con una balanza digital que no tiene la precisión suficiente para hacer mediciones muy pequeñas, es decir tiene un rango de escala más grande que el requerido lo cuál se puede incurrir en mediciones mal tomadas, y donde los operarios tienen que hacer cálculos y conversiones en las cuales se corre el riesgo de que se realicen mal.

Cuando se quiere tener un proceso bajo control es necesario determinar las causas que lo afectan, entre estas se incluyen las máquinas y herramientas utilizadas, y cuando se observa que estas presentan fallas se debe analizar el funcionamiento de cada máquina determinando cuál es la más crítica para el proceso y tomar la decisión de modernizar este tipo de herramientas o máquinas, no necesariamente tiene que ser de última tecnología pero si de el tipo que permita a la compañía crecer y aumentar la capacidad instalada al mismo tiempo que se mejora la calidad.

LABORATORIO DE METROLOGIA ETERNA S.A.

Control de Básculas y Balanzas

En el laboratorio de metrología se realiza el mantenimiento de *básculas, balanzas y manómetros* de Eterna S.A., donde los equipos que se tienen en planta se evalúa conforme a la norma ICONTEC 2031 de Metrología, la cual indica el procedimiento, las pesas a utilizar para la calibración, además de las características correspondientes y formulas para realizar un excelente análisis de calibración de forma estandarizada de acuerdo a la normalización internacional.

Para comenzar se debe tener el registro de las características de las máquinas, equipos e instrumentos donde se indique:

- Tipo de instrumento de pesaje (funcionamiento no automático, graduado, no graduado, con equilibrio automático, equilibrio semiautomático, equilibrio no automático y con divisiones de escala múltiple).
- Dispositivos principales receptores de carga
- Dispositivos complementarios de lectura
- Dispositivos anexos
- Características metrológicas de los instrumentos tales como la carga máxima del equipo, carga mínima, rango de pesaje, efecto aditivo de la tara, carga límite, la división de escala, división de escala de verificación (**e**), número de divisiones de escala de verificación, entre otras
- Error máximo tolerado

De acuerdo a los resultados obtenidos de la valoración de las características anteriormente nombradas entre otras, se puede llevar a cabo la clasificación de las máquinas tal como se ilustra en la tabla 8, y se define el tipo de error

tolerado para estos equipos y los instrumentos o pesas patrón con características especiales que se deben tener en el laboratorio para la correcta calibración periódica de estos equipos.

Los equipos están clasificados en cuatro clases, la primera clase es la más precisa y va aumentando el error a medida que aumenta la clase. De acuerdo a la evaluación realizada y descrita en la Norma técnica Colombiana NTC 2031 se determinó que los equipos tienen una *precisión media* y son de *clase tres*, de acuerdo a esto se utilizan los instrumentos de precisión media descritos en la tabla donde se describe el número de divisiones mínimo y máximo de escala de verificación y la carga mínima que deben tener.¹⁸

¹⁸ Norma Técnica Colombiana NTC 2031

CARACTERÍSTICAS METROLÓGICAS DE LOS INSTRUMENTOS

Los instrumentos de pesaje no automáticos están clasificados de acuerdo con sus propiedades en cuatro clases, cuyos nombre y símbolos de identificación son los siguientes:

Tabla 8. Clases de precisión de las máquinas

PRECISIÓN	CLASE	SIMBOLO
Especial	1	I
Fina	2	II
Media	3	III
Ordinaria	4	IIII

Fuente: Norma Técnica Colombiana NTC 2031

Tabla 9. Clasificación de los instrumentos

División de escala de verificación	Número de divisiones de escala de verificación $N = \text{máx}/e$		Carga mínima "min" (Límite inferior)
	Mínimo	Máximo	
Precisión especial $e < 0.001g$ $0.001g \leq e$	-	-	50e
	50.000	-	100e
Precisión Fina $0.001g \leq e \leq 0.05g$ $0.1g \leq e$	100	100.000	20e
	5000	100.000	50e
Precisión Media $0.1g \leq e \leq 2g$ $5g \leq e$	100	10.000	20e
	500	10.000	20e
Precisión Ordinaria $5g \leq e$	100	1000	10e

Fuente: Norma Técnica Colombiana NTC 2031

La imprecisión global de lectura sobre la escala continua ha de ser a lo sumo igual a 0.2 divisiones de escala de verificación, en condiciones normales de uso.

Las unidades de medición (Sistema Internacional de Unidades)

- La unidad básica de masa ha de ser el kilogramo (Kg)
- Las unidades de masa usadas en general han de ser:
El miligramo (mg), el gramo (g), el kilogramo (Kg), la tonelada (t)

Ajustes antes de hacer la utilización de las pesas y contrapesas

- Nivelación (colocación del instrumento en posición de referencia de calibración)
 - Dispositivos para nivelar el indicador de nivelación. Los instrumentos han de estar provistos de un dispositivo para nivelar y de un indicador de nivelación
 - Calidad del indicador de nivelación
- Instrumentos de clases de precisión media y de precisión ordinaria. La sensibilidad del indicador de nivel ha de ser tal que si el instrumento se desnivela longitudinal o transversalmente de modo que la parte indicadora móvil del indicador de nivel acuse un desplazamiento de 2 mm:
 - La indicación con carga cero no ha de variar más de dos divisiones de escala de verificación.

- La diferencia entre los resultados obtenidos con carga máxima, por una parte en posición de referencia de calibración y , de otra parte, en posición de desnivel, no ha de exceder el error máximo tolerado para la carga considerada (el instrumento debe estar para esto ajustado en cero con una carga nula, tanto en posición de referencia de calibración como en posición de desnivel).

c) Colocación del indicador de nivel. El indicador de nivel ha de estar fijado de manera inamovible sobre el instrumento, en un sitio bien visible para el usuario.

- Colocación en cero.
 - Dispositivo para colocar el cero. Los instrumentos podrán tener uno o varios dispositivos para colocar el cero y/o un dispositivo automático de corrección de las desviaciones de cero.
 - Precisión para colocar el cero o para la corrección automática de las desviaciones de cero. Después de colocar el cero o la corrección automática de las desviaciones de cero, la influencia de la desviación de cero sobre el resultado de pesaje ha de ser a lo sumo igual a 0.25 divisiones de escala de verificación.
 - Mando del dispositivo para colocar el cero. Si el instrumento tiene un dispositivo para colocar el cero y un dispositivo de tara, el mando del dispositivo de colocación en cero ha de ser distinto al del dispositivo de tara.

ERRORES MÁXIMO TOLERADOS Y ERRORES TOLERADOS ENTRE RESULTADOS. CARGA DE PRUEBA.

Errores máximos tolerados

Los errores máximos tolerados se han de entender en más y menos, para cargas crecientes y decrecientes, cuando los instrumentos estén ajustados a cero para carga nula.

Son iguales a los valores dados en la tabla 10, fijados en divisiones de escala de verificación.

La división de la escala de verificación para los diferentes tipos de instrumentos está dada en la siguiente tabla:

Tabla 10. División de escala de verificación

Tipo de instrumento	División de escala de verificación
Graduado sin dispositivo indicador auxiliar	$e = d$
Graduado con dispositivo indicador auxiliar	e es escogido por el constructor de acuerdo a las exigencia de la tabla 1, la tabla 3 y el numeral 3.1.2.5 de la NTC 2031
No graduado	e es escogido por el constructor conforme a las exigencias de la tabla 1.

FUENTE: Norma Técnica Colombiana NTC 2031

Tabla 11. Errores máximos tolerados

Errores máximos tolerados en la verificación inicial expresados en divisiones de escala de verificación.	PARA CARGAS M CON "M" EXPRESADO EN DIVISIONES DE ESCALA DE VERIFICACIÓN "E"			
	I	II	III	III
± 0.5	$0 \leq m \leq 50.000$	$0 \leq 5000$	$0 \leq m \leq 500$	$0 \leq m \leq 50$
± 1.0	$50.000 \leq m \leq 200.000$	$5000 \leq m \leq 20.000$	$500 \leq m \leq 2000$	$50 \leq m \leq 200$
± 1.5	$200.000 < m$	$20.000 \leq m \leq 100.000$	$2000 \leq m \leq 10000$	$200 \leq m \leq 1000$

FUENTE: Norma técnica colombiana NTC 2031

Los errores máximos tolerados en instrumentos en servicio son iguales a dos veces los errores máximos tolerados en instrumentos nuevos¹⁹.

Cuando se realiza el mantenimiento se debe hacer la valoración de los mismos por medio de pruebas, pero previo a esto se debe realizar el ajuste de la balanza y/o bascula en el punto cero.

Causas de la variabilidad de la Maquinaria y Herramientas

- Movimientos fuertes, golpes y desplazamiento de la báscula fuera de su lugar de trabajo le puede ocasionar desajustes en la estructura de la misma, lo que trae como consecuencia hacer mediciones incorrectas.

¹⁹ NORMA TÉCNICA COLOMBIANA, NTC 2031

- Desgaste de la estructura interna de la báscula o balanza y se deba reemplazar algún dispositivo o tornillo que no posea las características adecuadas de las partes originales del equipo.
- De acuerdo a las especificaciones de las máquinas estas tienen una carga máxima de resistencia, que al ser sobrepasado pueden deteriorar el equipo en forma definitiva.
- Debido a la antigüedad de las máquinas la probabilidad de sufrir deterioro o desgaste en los mecanismos es más alta.
- Establecer por medio de pruebas los tiempos de ciclo, analizando variables del comportamiento nombradas en el numeral anterior, para establecer comportamientos estandarizados.
- No hay control de variables en el banbury que impide la estandarización del proceso con respecto a la temperatura y a la presión, lo que ocasiona que la mezcla siempre tenga condiciones diferentes de cocción.
- Establecer por medio de pruebas los tiempos de reposos de la materia prima hasta obtener el tiempo óptimo de preparación
- Todos los instrumentos se identifican por medio de siglas y un código, pero generalmente es conocido por las personas que interactúan con ellos o tienen alguna relación con el área, pero no el personal en general de la compañía.
- Los instrumentos que intervienen en el proceso de producción de mezcla B -01400 sufren desgaste por el uso y por el tiempo por ello es necesario tener que sean reemplazados cuando su vida útil se

haya agotado porque cuando se requieren medidas muy precisas los instrumentos pueden causar la mayor variación.

- Existen programas periódicos de calibración, pero hay instrumentos que debido a sus condiciones o uso pueden sufrir daños o quedar descalibrado antes de su periodo de revisión, lo cuál implica tomar mediciones erróneas.
- La inversión para adquirir nueva tecnología tanto en el laboratorio de metrología como en equipos ha disminuido de forma considerable, debido a la reducción de presupuesto, se tienen instrumentos para la realización de pruebas pero no son suficientes para garantizar un óptimo funcionamiento de todos los instrumentos y máquinas.
- Las máquinas tales como los molinos y el banbury no poseen un registro organizado acerca de las características, propiedades, fallas repetitivas de la máquina.
- No existen procedimientos escritos que permitan ilustrar la manipulación de los instrumentos y herramientas que intervienen en el proceso.
- El banbury no tiene controles análogos que permitan regular las variables críticas del proceso, y así mismo no se obtenga un producto uniforme.

Causas de la Variabilidad en el Procedimiento

La variación siempre va existir en un proceso de producción, porque es inherente al mismo, lo ideal es llegar a identificar las causas que provocan estas variaciones mediante un completo proceso de análisis, dichas variaciones se deben corregir para poder tener control sobre el proceso y así mismo estandarizarlo, se deben tener procedimientos en cada área de trabajo e indicar a las personas como debe realizar su trabajo, pero así mismo se deben suministrar las herramientas necesarias para que pueda cumplir con los requerimientos propios del puesto de trabajo.

Cuando el proceso se tiene estandarizado, se tiene un mayor conocimiento y control sobre este y aunque la variabilidad se sigue presentando es mas fácil descubrir causas asignables y por lo tanto poder llegar a tener un proceso bajo control estadístico.

En Eterna S.A. se tiene procedimientos para los ciclos de máquinas, y las operaciones que los operarios deben realizar se encuentran bien definidas, pero en el caso del banbury, se realiza rotación de operarios debido a que es el área mas contaminada de la empresa ya que el aire tiene un alto nivel de dispersión de partículas y la exposición por parte del operario por largas jornadas de trabajo, puede generar un afección pulmonar que a largo plazo se puede desencadenar en un problema mayor.

Los instrumentos de medición que se utilizan en la producción no tienen un procedimiento formal donde se describa la manipulación en caso de ser requerido, un procedimiento siempre facilita las labores del operario indicando como deben operar los equipos y realizar las labores.

Los archivos que se tienen en ETERNA S.A. no se tienen en forma ordenada y así mismo los registros de datos históricos no son analizados, perdiendo la

posibilidad de realizar pronósticos o utilizarlos para la obtención de estadísticas útiles.

No hay centralización adecuada de los procedimientos actualizados para su consulta por parte de quien lo requiera.

El buen manejo y el fácil acceso a la información permite obtener datos estadísticos que se pueden utilizar para analizar tendencias de comportamiento y con base en esto tomar decisiones más acertadas.

Al igual sucede con los costos de reproceso que aún no han sido calculados y hasta el momento no se ha estimado tenerlos en cuenta, esta es una cifra de gran importancia para la compañía en el momento de bajar costos y comparar diferentes alternativas de formulación e implementación de nuevos materiales y nuevas inversiones en tecnología y en aumentar la capacidad instalada de la empresa.

Causas de la variabilidad de las Medidas o especificaciones

- Las tolerancias de los productos son demasiado altas, para poder competir en el mercado con empresas de excelente calidad se debe trabajar con límites de especificaciones muy pequeños para una mayor satisfacción del cliente.
- Las especificaciones de las propiedades medibles en el laboratorio tales como la tensión, la dureza y la elongación son demasiado altas, porque se están aceptando con ± 0.5 cuando se debería hacer con el valor nominal, la dispersión de los datos es demasiado alta.

- La calibración se lleva a cabo únicamente para las básculas, balanzas y equipos de los laboratorios de calidad pero debido a la antigüedad de los mismos y al mal uso se puede afectar el producto final.
- Uso inapropiado de la herramienta por parte del operario por desconocimiento, descuido o falta de compromiso.
- Baja capacidad para realizar inspecciones en puntos clave del proceso con el fin de realizar un mejor control sobre la producción.
- La información consignada en los formatos de producción tales como número de reprocesos, materia prima defectuosa, proveedores con índices de rechazos, entre otros no es analizada para obtener los resultados esperados para el mejoramiento continuo del proceso.
- Experiencia del operario para realizar este tipo de operaciones y en el caso de un operario nuevo se debe realizar una excelente inducción y capacitación.

Causas de la variabilidad del medio ambiente

El medio donde se desarrolla el proceso de elaboración de empaques para tubería, es en general un área de poca ventilación donde existe la presencia de gran variedad de partículas en el aire producidas por las máquinas y la interacción de la materia prima.

En el área de dosificado y en el área de molinos los operarios tiene que realizar sus tareas con un tapabocas con filtro para poder respirar sin inhalar partículas contaminantes, además deben llevar tapa oídos permanente debido al alto nivel de ruido que se maneja a causa de los molinos y la explosión de algunas burbujas de aire que presenta el caucho cuando se esta laminando.

La iluminación en general es buena en todas las áreas de trabajo, pero en la sección de dosificación del negro de humo es muy deficiente, sin embargo el área donde se trabaja presenta ambiente de trabajo limpio.

Causas de la variabilidad de la materia prima

- Para la aceptación de la materia prima se tiene un procedimiento de clasificación de proveedores donde de acuerdo a la evaluación que se realiza al proveedor se le da una calificación y determina si es altamente confiable, confiable, medianamente confiable, poco confiables, especiales, pero hay ocasiones en que se reciben lotes de materia prima que no cumplen con las especificaciones necesarias debido a que no se cuenta con materia prima en inventario aunque esto solo se puede hacer con el visto bueno de la gerencia técnica.
- La dosificación de los químicos se realiza en forma acumulada y no de forma individual, al realizarse de esta forma el error se va acumulando a medida que se van agregando los químicos, este método es recomendable hacerlo de forma independiente.
- No se tiene hoja de vida de los componentes de la materia prima que se maneja en Eterna S.A., donde se especifiquen sus características, sus propiedades, cuidados que se debe tener con el componente, condiciones de almacenamiento adecuado, tratamiento, manipulación, aislamiento, entre otras.
- El almacenamiento de la materia prima se lleva a cabo en un lugar húmedo y no se ubican de acuerdo a las propiedades propias, sino de forma como estas van llegando sin tener en cuenta la contaminación que pudiera presentar alguna sobre la otra.

- Los cauchos que se utilizan para la mezcla varían en calidad porque el proveedor se cambia dependiendo de los precios internacionales buscando siempre el mas económico y de acuerdo a esto se ajusta la formula a los cauchos que se obtengan.

Causas de la variación de los operarios

Es uno de factores que más variabilidad pueden presentar debido a que el operario de acuerdo a los factores que se presentan en su trabajo y en su vida personal puede reaccionar de diferentes formas, además de acuerdo a las condiciones ergonómicas, ambientales, motivacionales responde por su trabajo de forma responsable y adquiere sentido de pertenencia por la empresa; Entre las variaciones se encuentran:

- Realizar retrabajos por inexperiencia o descuido
- No cuidar la herramienta y las máquinas.
- Capacitación adecuada para poder realizar su trabajo de la mejor forma y no obtener rechazos o retrabajos.
- Debido a que la empresa cuenta con turnos las 24 horas los operarios deben cumplir con jornadas extenuantes dependiendo del turno asignado pueden tener suplementos que impide realizar de forma adecuada su trabajo y como consecuencia tienen fallas que se deben corregir con retrabajos.

10. ANALISIS DE RESULTADOS

Para constatar que los datos obtenidos de las variables sugerían y se ajustaban al comportamiento de una curva normal se formulo una prueba de hipótesis para cada una de ellas y por medio del estadístico χ^2 (Chi cuadrado) y la aplicación en Excel se evaluó y confirmo dicha hipótesis. A continuación se describen los pasos que se siguieron para aceptar o rechazar la hipótesis:

10.1 Pruebas de hipótesis

La metodología a seguir fue la siguiente:

- la variable de interés es la forma de la distribución de la dureza del compuesto B-01400
- plantear la hipótesis nula y la hipótesis alternativa
Ho: la forma de la distribución es normal
H1: la forma de la distribución no es normal
- $\alpha = 0,05$ (nivel de significancia)
- el estadístico de la prueba es:

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e}$$

Donde:

k = Numero de clases del histograma

f_o = Frecuencia observada (real)

f_e = Frecuencia esperada (Frecuencia ideal)

- calcular la frecuencia esperada, mediante los límites del histograma, la distribución normal y el número de datos que se tiene. Los datos se obtuvieron con la ayuda de Microsoft Excel.
- calcular el error acumulado entre la frecuencia observada y la frecuencia esperada.

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e}$$

- se rechazara Ho si $X_0^2 > X_{0.05, K-1}^2 = C$

Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 12. Resultado de la prueba de hipótesis

Variable	$X^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e}$	$X^2_{0.05, K-1}$	Aceptar o rechazar hipótesis nula
Dureza	20,01	22,36	Aceptar
Tensión	21,75	25,00	Aceptar
Elongación	8,33	25,00	Aceptar

Fuente: Los autores

Como se puede observar, las tres variables presentan una distribución normal con los siguientes parámetros:

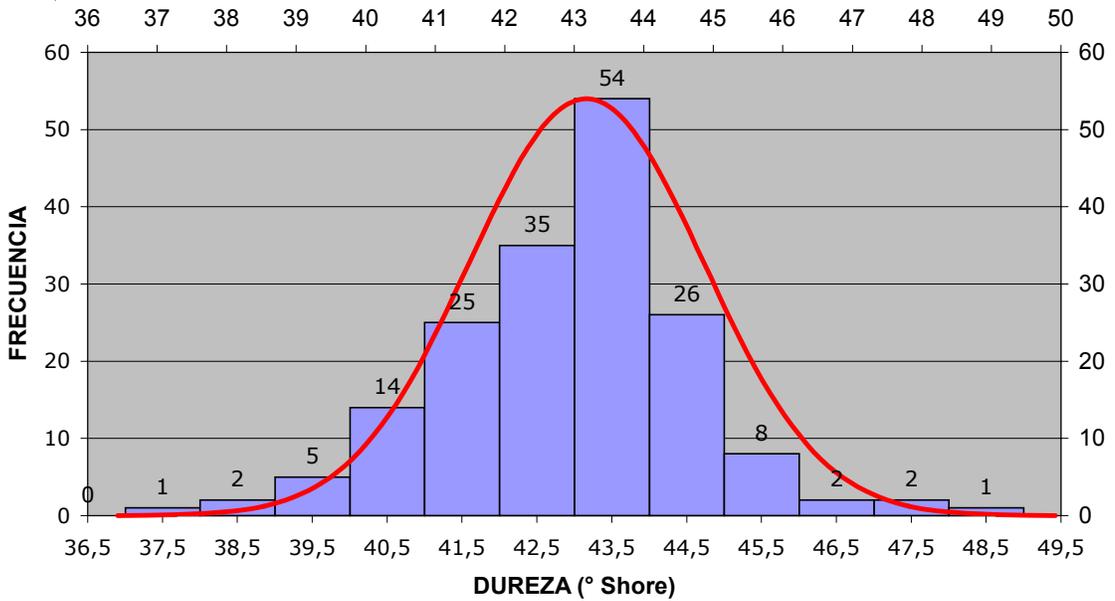
Tabla 13. Parámetros de las variables dureza, tensión y elongación

Variable	Media (μ)	Desviación (σ)
Dureza	43.18	1.69
Tensión	90.33	9.65
Elongación	633.55	49.06

Fuente: Los autores



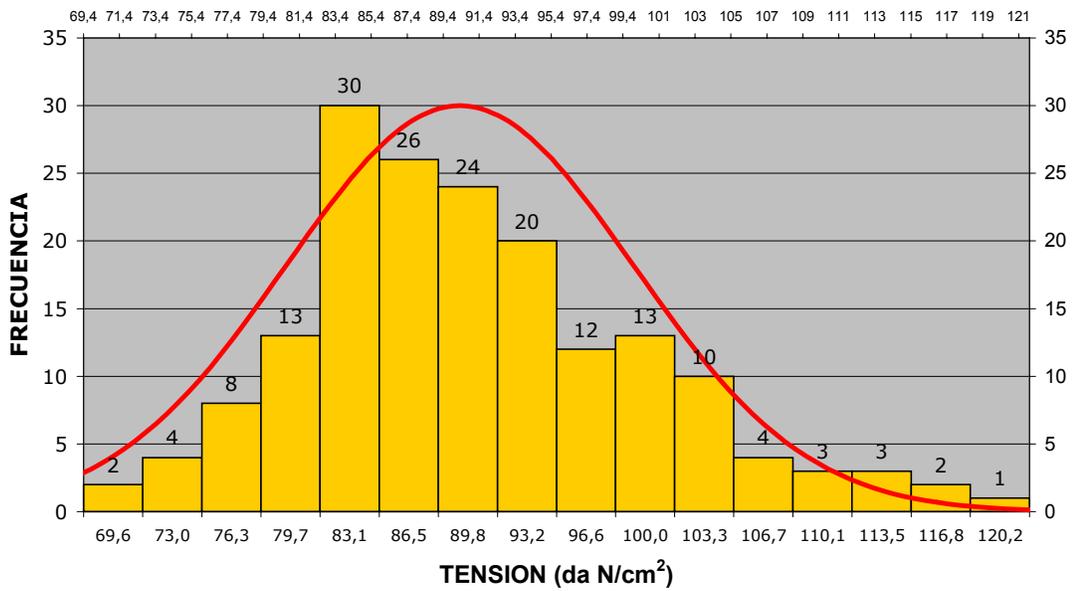
COMPUESTO B-01400



Grafica 1. Comportamiento de la dureza y curva normal correspondiente



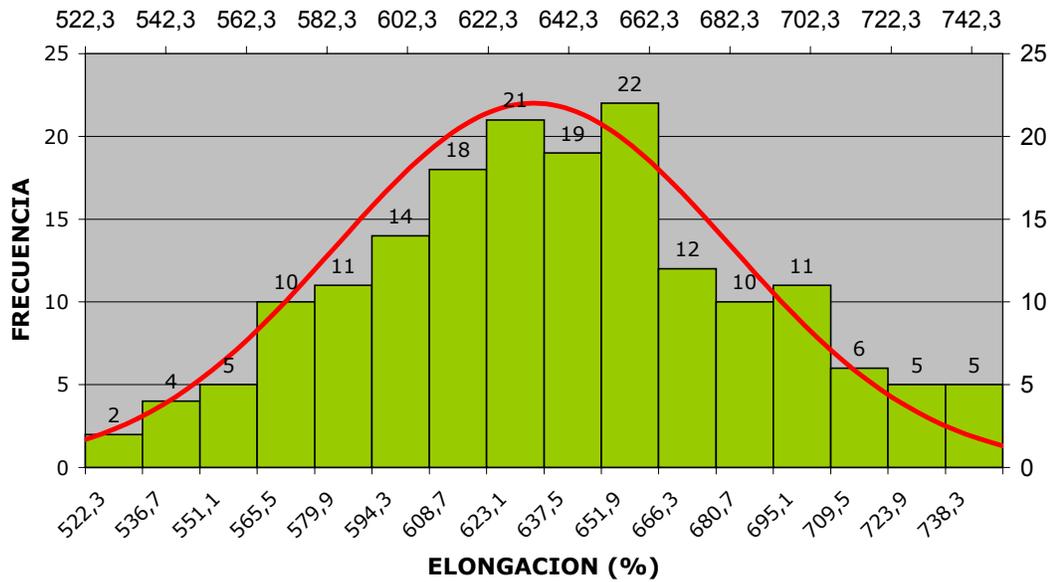
COMPUESTO B-01400



Grafica 2. Comportamiento de la tensión y curva normal correspondiente



COMPUESTO B-01400

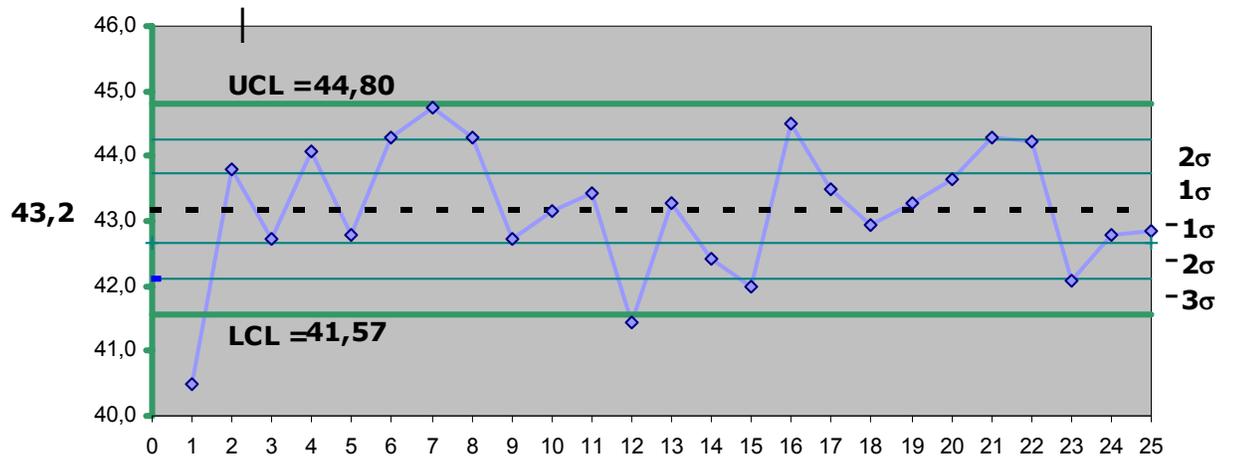


Grafica 3. Comportamiento de la elongación y curva normal correspondiente

Una vez que se comprueba que las tres variables se distribuyen de una forma normal y se identifican sus parámetros, se procede a realizar los gráficos de control \bar{X} y R para cada una de estas variables, si las variables no se distribuyen de una forma normal hay que buscar las causas, eliminarlas y volver a tomar los datos.

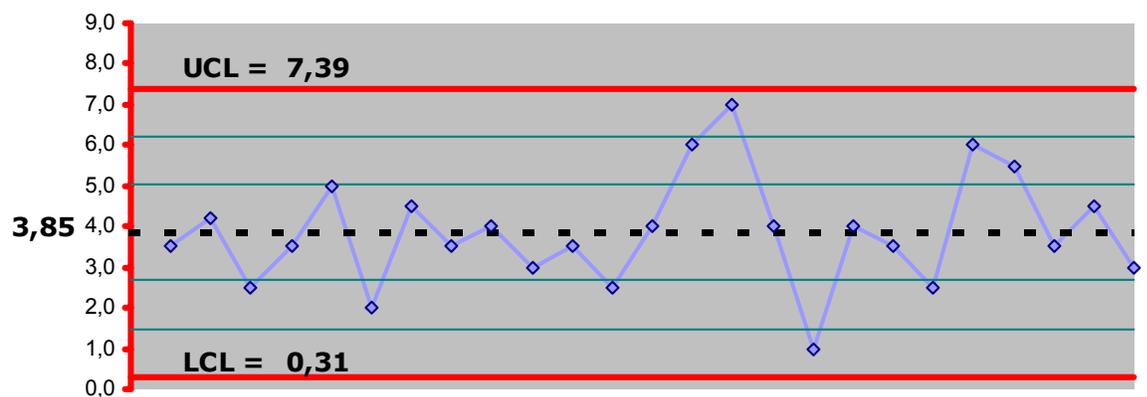
GRÁFICAS DE CONTROL

DUREZA - GRÁFICA \bar{X}



Gráfica 4. Gráfica \bar{X} para la dureza

DUREZA - GRÁFICA R



Gráfica 5. Gráfica R para la dureza

En la gráfica \bar{X} se observa que el proceso se encuentra fuera de control estadístico ya que presenta puntos por fuera de los límites de control además de presentar una tendencia particular, lo que nos indica la presencia de causas asignables que hacen que el proceso no se comporte de forma normal.

Las gráficas no presentan tendencia ascendente o descendente drástica, aunque algunos puntos presentan cierto acercamiento a los límites de control, se observa también una tendencia cíclica hacia arriba y hacia abajo con periodicidad, tiene gran tendencia a ir de extremo en extremo.

Las posibles causas de variación son el desgaste de la herramienta y el deterioro o desajuste de las máquinas la cuál ha sido una constante en las siguientes gráficas, las máquinas tienen una gran influencia en la variación del proceso.

Otra posible causa podría ser debido a la acumulación de residuos y de materia prima en el banbury, máquina donde se realizan las mezclas de todos los compuestos.

En la gráfica R se observa concentración de puntos en 1 sigma, además gran parte de los puntos se concentran alrededor de la media, lo que indica que hay una mezcla de información de diferentes poblaciones de los subgrupos.

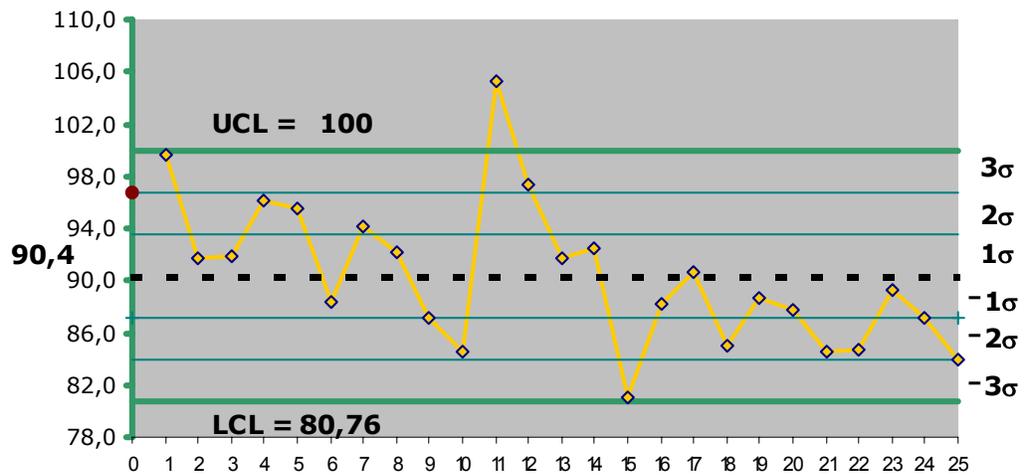
La gráfica R, no tiene puntos fuera de los límites de control, pero se nota que hay cierta variación entre subgrupos.

La rotación de operarios es una de las causas más predominantes para que haya variación en esta gráfica porque al no tener un procedimiento completamente estandarizado se permite que los operarios tomen

decisiones acerca de que hacer en caso de que se presente un inconveniente que no se encuentre determinado.

El arreglo de mezclas que son rechazadas, en algunas ocasiones se combina media mezcla mala con media mezcla buena, lo que hace que puedan fluctuar las propiedades de la misma y por lo tanto el comportamiento de los puntos en la gráfica, produciendo resultados que no son los convenientes y afectando los parámetros de la gráfica.

TENSIÓN - GRÁFICA \bar{X}



Gráfica 6. Gráfica \bar{X} para la tensión

La gráfica \bar{X} presenta puntos por fuera de los límites de control y presenta puntos muy cerca de los límites de control a punto de salirse del rango establecido.

Presenta concentración de 8 puntos por debajo del valor central lo que indica que algo anormal está ocurriendo y que el proceso se encuentra fuera de control estadístico.

Esta gráfica presenta una periodicidad con tendencia descendente para todo el intervalo, con algunos puntos que se salen de la gráfica de control.

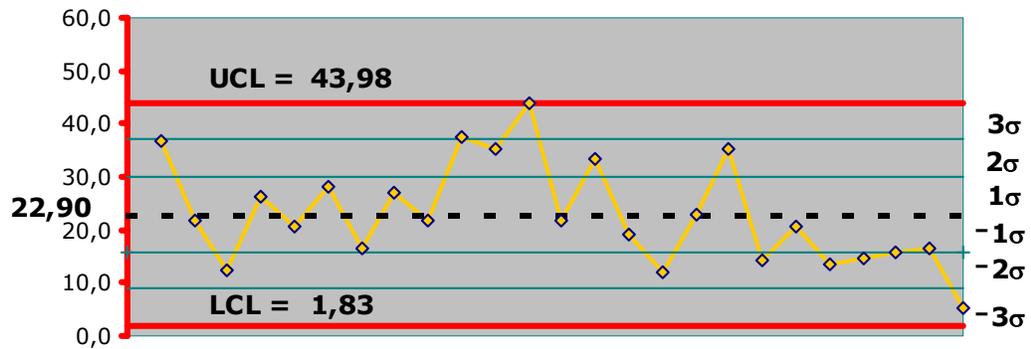
Este comportamiento se debe a causas tales como a problemas en las estaciones donde el material entra para ser parte de la mezcla, puede ser en el área de dosificado de cauchos o *acelerantes*, debido a que los instrumentos de medición no son los más adecuados para cumplir funciones de tanta precisión debido a que se requieren ciertas cantidades que son muy pequeñas y que por razones de inexperiencia, manejo no adecuado y efecto de tara no se pueden pesar de la manera adecuada y por lo tanto no son las cantidades que se requieren.

La poca ventilación y las altas temperaturas a la que los operarios están expuestos a lo largo del día también es una causa de la variación del proceso debido a que en ciertas áreas además de las altas temperaturas los operarios deben tener uniforme, delantal de cuero, tapabocas y tapa oídos para que la protección sea mayor, pero esto puede influir en la fatiga rápida del operario y que no se preste la debida atención a la operación que se esta haciendo.

La inestabilidad en la composición de la formula del compuesto B-01400, hace que el valor de las propiedades varíe y por lo tanto haya puntos que presentan cierta racha.

La rotación de operarios y el factor experiencia nuevamente influyen en las propiedades físicas.

TENSIÓN – GRÁFICA R



Gráfica 7. Gráfica R para la tensión

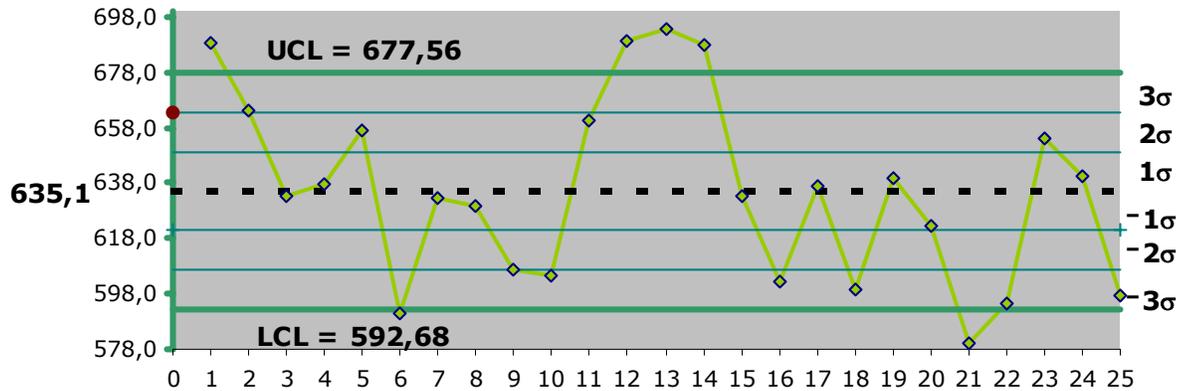
La gráfica R presenta una racha de siete puntos que tienen una concentración por debajo de la media, además la gráfica presenta tendencia de ciclos de arriba hacia abajo.

Presenta concentración de algunos puntos en el área de 3 sigma y un punto en el límite superior lo que indica que el proceso se encuentra fuera de control estadístico.

Se puede suponer que las causas asignables se deben a la variabilidad que ocurre debido a la realización de los trabajos por parte de diferentes operarios por los cambios de turnos y por la rotación de los empleados en algunas áreas de trabajo.

El mantenimiento del banbury es un factor clave dado que la gran mayoría de las características físicas finales de la mezcla dependen de un buen ciclo de mezclado y una temperatura específica en esta máquina.

ELONGACIÓN – GRÁFICA \bar{X}



Gráfica 8. Gráfica \bar{X} para la elongación

La gráfica \bar{X} presenta 6 puntos por fuera de los límites de control y varios cerca de dichos límites, los puntos no sugieren una tendencia definida ascendente o descendente, pero si presenta una tendencia de periodicidad con puntos subiendo y bajando.

La gráfica de control presenta un a racha de 11 puntos por debajo de la media y concentrados en el área de 1 sigma y 3 sigma.

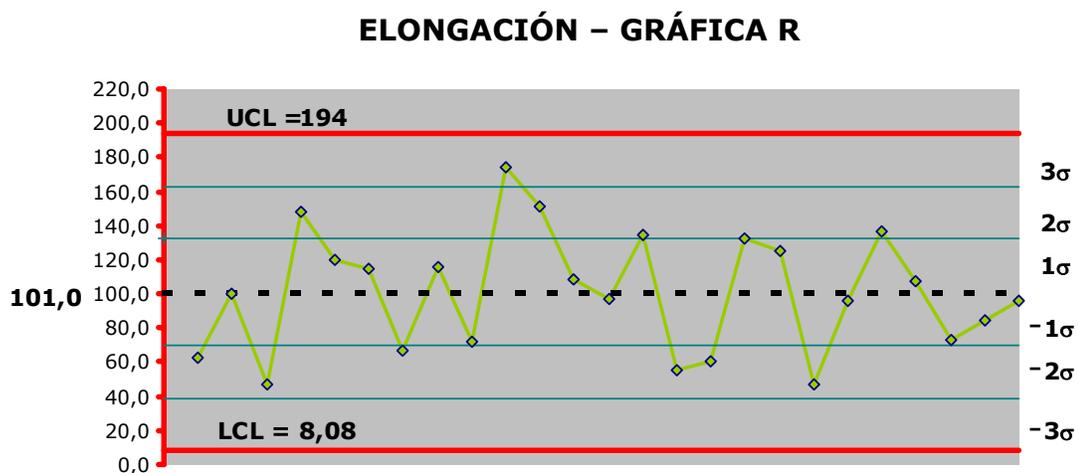
Algunos puntos tienen tendencia a tener una concentración en la media de la gráfica de control.

Las causas se pueden dar por un cambio en la realización común del proceso, dejar de hacer las cosas como se estaban haciendo siempre y hacerlas ahora mejor o simplemente de forma distinta, esto ocurre porque se deben estandarizar los procesos y hay un cambio brusco en la forma en que se realizaban las cosas.

La causa más común es la avería de las máquinas, cuando se debe hacer un mantenimiento correctivo para arreglar alguna pieza que falló o desajustes en las máquinas que no han sido detectadas.

Cuando hay cambios en la materia prima, de acuerdo a los parámetros establecidos en Eterna se deben tener por lo menos de dos a tres proveedores por insumo, por prevención en la demanda y la solicitud del producto es fundamental porque por circunstancias ajenas pueden quedar mal alguno de los proveedores y se debe tener una segunda o tercera opción, en Eterna se hace la valoración y la clasificación de los proveedores y de acuerdo a esto se realizan ciertas pruebas a la materia prima, pero pueden existir ciertos cambios en los lotes que son significativos y no son tenidos en cuenta.

Otra causa puede presentarse también por la rotación de los operarios lo que trae como consecuencia que la mezcla se lleve a cabo de forma diferente, se agreguen mas ingredientes de los establecidos o en cantidades diferentes y así mismo cambiar el procedimiento de preparación o variar los tiempos de ciclo.



Gráfica 9. Gráfica R para la elongación

Presenta una tendencia de periodicidad con ciclos estables no presentan ascenso ni descenso, además no presenta puntos fuera de los gráficos de control y tampoco puntos cerca de los límites de control.

Alguno puntos tienden a la concentración en la media y sobre todo el en área de 1 sigma y 2 sigma, en el área de 3 sigma no se hay presencia de puntos.

Cuando se hace la rotación necesaria en las diferentes máquinas influye en la realización del procedimiento normal, debido a que por la falta de experiencia el operario puede realizar el trabajo en forma diferente.

Otra causa asignable es el aumento en el juego de transmisión, en la empresa se tienen máquinas con mucha antigüedad, que influyen en la variación del proceso, debido a que las piezas que se tienen en algunas máquinas son únicas y cuando están tienen que ser reemplazadas no se encuentran fácilmente o deben ser elaboradas en otro sitio pero probablemente no tienen las mismas propiedades y especificaciones que las originales.

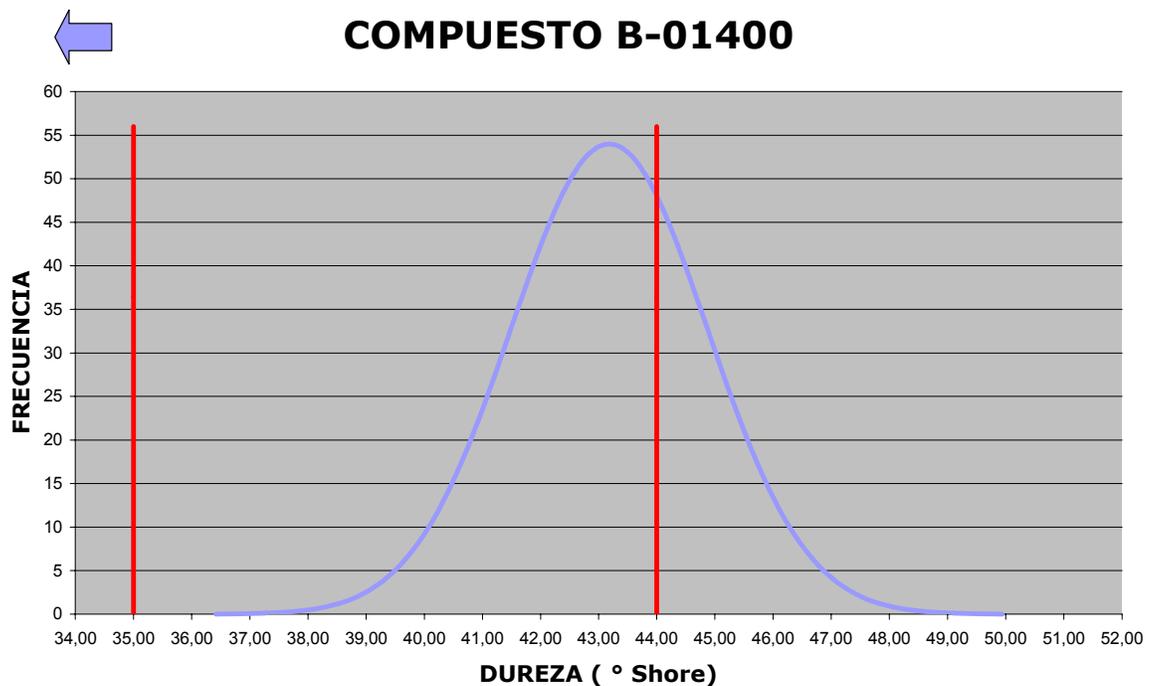
De acuerdo a las especificaciones de la empresa la dureza debe tener un rango entre 35° y 45° Shore y de acuerdo a la tabla anterior se observa que la media está muy cerca del límite superior lo que lo que conlleva a que se presenten mezclas que están por encima de dicho límite, el proceso no presenta una variabilidad muy grande como lo demuestra el valor de su desviación.

Se indago acerca de las posibles causas que afectan la dureza la tensión y la elongación de la mezcla y entre estas se encontró que en su gran mayoría era debido a la formulación, tiempo de ciclo de mezclado y el manejo de la variable de temperatura en el banbury.

Al existir materiales que son importados y debido a la variación del dólar, se ajusta la formula con materiales que son más económicos con el fin de reducir o estabilizar el costo del compuesto; Como no todos los proveedores ofrecen las mismas características se entiende que dicho factor afecta notoriamente las características de la mezcla, por lo tanto no se ha podido estandarizar la mezcla.

En cuanto al tiempo de ciclo, esta especificado en un instructivo pero no se asegura que el operario lo este cumpliendo al 100% lo que provoca que el caucho no se procese bien y los componentes no se dispersen homogéneamente.

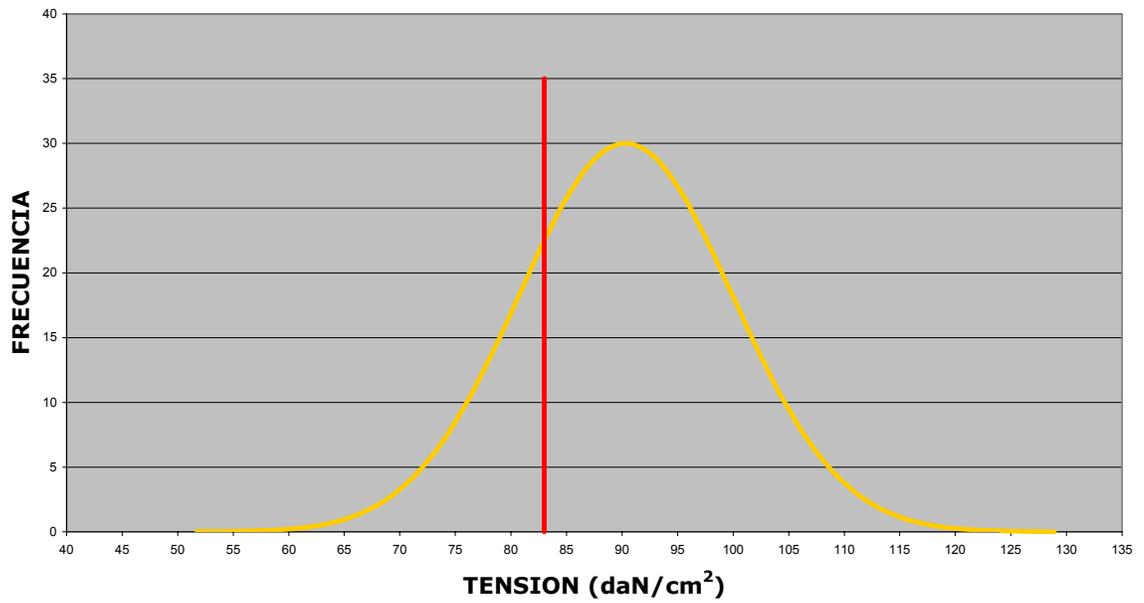
La variable temperatura se mide desde hace 2 meses pero no se controla, lo que conlleva a que algunas mezclas salgan a una temperatura de 135° C, cuando lo ideal es una temperatura en el rango de 95°C a 110°C.



Grafica 10. Comportamiento de la dureza y los límites de especificación



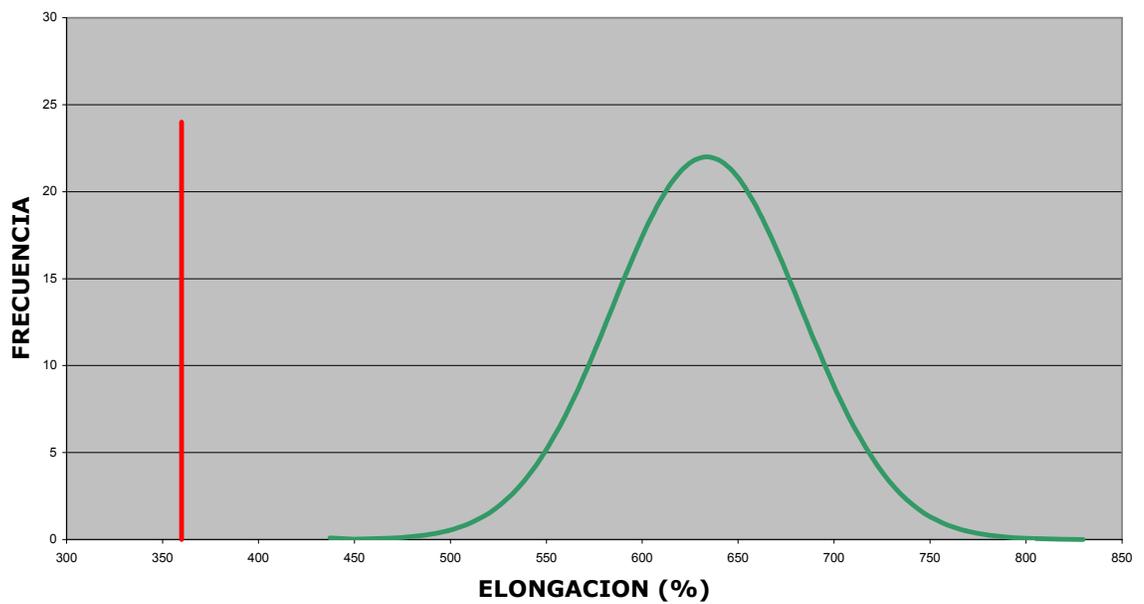
COMPUESTO B-01400



Grafica 11. Comportamiento de la tensión y el límite inferior de especificación



COMPUESTO B-01400



Gráfica 12. Comportamiento de la elongación y el límite inferior de especificación

En cuanto a la capacidad del proceso se hallaron los siguientes valores

utilizando la formula de $C_{pk} = \min\left(\frac{LTS - \bar{X}}{3\sigma}, \frac{\bar{X} - LTI}{3\sigma}\right)$ donde:

C_{PK} = índice de capacidad del centro del proceso

LTS = Limite de especificación superior

LTI = Limite de especificación inferior

$\sigma = \bar{R}/d_2$

$\bar{R} = \Sigma R/g$

g = Numero de subgrupos

$d_2 = 2.704$ (Se obtiene de la tabla del anexo 5 con $n = 7$ (7 días en la semana))

Los resultados se muestran en la tabla 14.

Tabla 14. Capacidad e índice de capacidad

Variable	Capacidad	Índice de capacidad
Dureza	8,54	0,43
Tensión	50,82	0,29
Elongación	224,21	2,53

FUENTE: Los Autores

Se observa que el proceso no es capaz de producir mezclas buenas el 100% de las veces y que los valores del índice de capacidad son demasiado bajos a excepción de la elongación que siempre se cumple debido a que sus valores están muy por encima del límite inferior de especificación.

11. ANALISIS FINANCIERO

11.1 COSTOS DE REPROCESO

A las mezclas que no cumplen con las características de dureza, tensión o elongación hay que hacerles un reproceso en el cual se añaden materias primas o se mezcla en proporción 50/50 con una mezcla que si cumpla con las propiedades.

Por ejemplo si la mezcla presenta una dureza que se encuentra por encima del rango que se tiene especificado se procede a calentarla en el molino y luego se le adiciona la cantidad de aceite que indique la gerencia técnica, pero por el contrario si la mezcla presenta baja dureza se calienta y luego se le agregan cargas reforzantes como lo es el negro de humo.

Este reproceso implica un consumo adicional de materia prima, energía y mano de obra, y son estos los tres factores que se tienen en cuenta para la estimación de los costos de los reprocesos para la mezcla B-01400.

Para la evaluación de estos costos se le adiciono a la aplicación en Excel un modulo en el cual se diseño una tabla o matriz que ya tiene incluidos los costos de las materias primas a agregar, así como el consumo de energía del molino y el valor hora-hombre del operario. Los datos que se le deben suministrar a la aplicación son:

el valor del Kw/h

el valor de la hora-hombre

la tasa del dólar

el numero de mezclas a reprocesar

y la cantidad en Kg de material que se adiciona.

Tabla 15. Matriz de evaluación de los costos de reproceso

maquina	Materia prima adicionada	Cantidad (Kg)	# de mezclas	Total
Molino3	Aceite 1520	2	40	\$ 33.088
	Azufre	0,03		\$ 1.200
	Negro de humo			\$ 0
	Dixieclay			\$ 0
	Facticio			\$ 0
	Mezcla 50/50			
				\$ 34.288
Operario				\$ 82.076
Energía				\$ 70.933
TOTAL				\$ 187.296

Fuente : los autores

Es importante tener en cuenta que estos costos de reprocesos aplican para todas las mezclas que se preparan en la empresa y no solo para la mezcla B-01400 lo que conlleva a que el valor total debido a estos reprocesos sumen una cantidad considerable a la cual es importante prestarle atención para ser mas competitivos.

12. CONCLUSIONES

1. De acuerdo al análisis efectuado a las graficas de control \bar{X} y R donde se observan puntos fuera de los limites de control y la presencia de rachas, se concluye que el proceso no se encuentra bajo control estadístico.
2. La variable dureza presenta un valor promedio (43,18) que se encuentra muy cercano al limite de especificación superior (45), lo que debido a la variación del proceso hace que resulten algunas mezclas que sobrepasan dicho limite y por lo tanto son rechazadas y reprocesadas.
3. La variable tensión presenta un valor promedio (90,32) que se encuentra muy cerca del límite inferior de especificación (83), lo que provoca que algunas mezclas se encuentren por debajo de este limite y sean rechazadas y reprocesadas.
4. De acuerdo a la gráfica normal de la dureza y a los límites de especificación se halló un estimativo de la probabilidad de obtener una mezcla sin fallas en cuanto a la variable dureza, el cual dio un valor del 86.04%
5. De acuerdo a la gráfica normal de la tensión y a los límites de especificación se halló un estimativo de la probabilidad de obtener una

mezcla que no presente fallas en la variable tensión, el cual dio un valor del 77.61%

6. Se calculo un estimativo de la probabilidad de obtener una mezcla que cumpla con los requisitos de dureza, tensión y elongación y se obtuvo el valor de 66.78%.
7. De acuerdo a las gráficas de control se observa que el proceso es afectado significativamente por causas asignables de formulación, materiales, mano de obra y equipo.

12. RECOMENDACIONES

1. Es importante mostrar a los operarios el efecto negativo que se produce en la calidad de las mezclas cuando no se cumple el tiempo ni el orden establecido en los ciclos de mezclado y acelerado. Adicional a esto es importante verificar constantemente que se cumplan.
2. Es aconsejable realizar un estudio o practicar ensayos para determinar cómo afecta el tiempo de reposo de las mezclas recién aceleradas el valor de las características de las variables de dureza, tensión y elongación.
3. Se recomienda que el gerente técnico evalúe la posibilidad de efectuar una reformulación del compuesto, con el fin de obtener mezclas cuyo promedio de dureza se encuentre alrededor de 40° Shore y de esta forma se incremente el índice de capacidad y el estimativo de la probabilidad de obtener mezclas que no presenten fallas en la dureza.
4. Se recomienda indagar con el gerente técnico la posibilidad de reformular el compuesto, con el fin de obtener mezclas cuyo promedio del valor de la tensión se encuentre alrededor de 116 daN/cm² y de esta forma se incremente el estimativo de la probabilidad de obtener mezclas que no presenten fallas en la tensión así como el índice de capacidad.
5. Es aconsejable definir en conjunto con el gerente técnico y el jefe de laboratorio, un límite de especificación superior para las variables tensión y elongación, con el fin de tener un mayor control sobre el proceso.

6. Es importante realizar un estudio en donde se compare el ahorro que se tiene al cambiar de proveedor por causas en el aumento del dólar y el costo adicional en que se incurre debido a los reprocesos que dicho cambio de proveedor genera.
7. Es aconsejable invertir en la adquisición de un nuevo banbury o en su defecto mejorar el sistema de refrigeración y control de temperatura del actual, con el fin de que las mezclas salgan a la temperatura adecuada.
8. Evaluar la posibilidad de que Eterna S.A. realice una alianza con una empresa extranjera que fabrique productos similares, para compartir transferencia de tecnología.
9. Realizar el estudio sobre las características de las variables dureza, tensión y elongación al resto de los compuestos de la empresa.

BIBLIOGRAFÍA

- ROYO, Joaquín. Manual de tecnología del caucho. C.N.I.C., (1990).
- KUME, Hitoshi. Herramientas estadísticas básicas para el mejoramiento de la calidad. Editorial Norma, 1992
- Van Nostrand Reinhold, Rubber technology, 1987.
- Callister, William D, Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales, Barcelona Editorial Reverte, 1995-1996.
- Valencia Giraldo, Asdrúbal, Materiales que hacen civilización, Medellín: Universidad de Antioquia, 2002.
- Walpole, Ronald. Probabilidad y estadística. México: McGraw-Hill, 1992.
- Dale, Besterfield. Control de calidad. Mexico: Prentice Hall, 1994
- Orozco. Fernando. Control de calidad. Bogota. Universidad tecnológica de Pereira. 1980.
- Nikkan, Kogyo. Poka-yoke mejorando la calidad del producto evitando los defectos. Cambridge:Factory magazine, 1988.
- Prat, Albert. Métodos estadístico: Control y mejora de la calidad. México. Alfaomega, 2000
- Ross, Sheldon. A first course in probability. Prentice Hall, 2002.

ANEXO 1

LIBRO DE FORMULAS

MATERIAS PRIMAS	%
Caucho S.B.R. 1502	17,96%
Aceite 1520	16,70%
Dixie Clay	14,62%
Negro F.E.F. 550	12,94%
Caucho S.M.R. 20/50 – S.G.R. 10	11,27%
Caucho natural Skim	7,52%
Caolin	6,26%
Caucho Facticio Moreno	4,18%
Deosec R-Renosorb C	1,88%
Oxido de Zinc Sello oro	1,42%
Santoflex 13	1,06%
Cera Antilux	0,96%
Flectol H. – T.M.Q.	0,75%
Pluriol e. 4000 / 3350 – Polietilene glicol	0,55%
Acelerador Thiuram / Tuex p.	0,52%
Acido Estearico	0,42%
Acelerador D.P.G./Vulkscit D	0,35%
Acelerador L.D.A.	0,21%
Acelerador Merkapto	0,21%
Renacit / Struktol a. 86	0,13%
Azufre Nacional	0,08%
Total	100%

ANEXO 2

TIEMPOS DE CICLO DE MEZCLADO

ACTIVIDAD	TIEMPO (min)
Agregar cauchos quimicos negro de humo	0
Agregar Plastificantes Cargas	3
Limpiar compuerta	6
Descargar mezcla	8

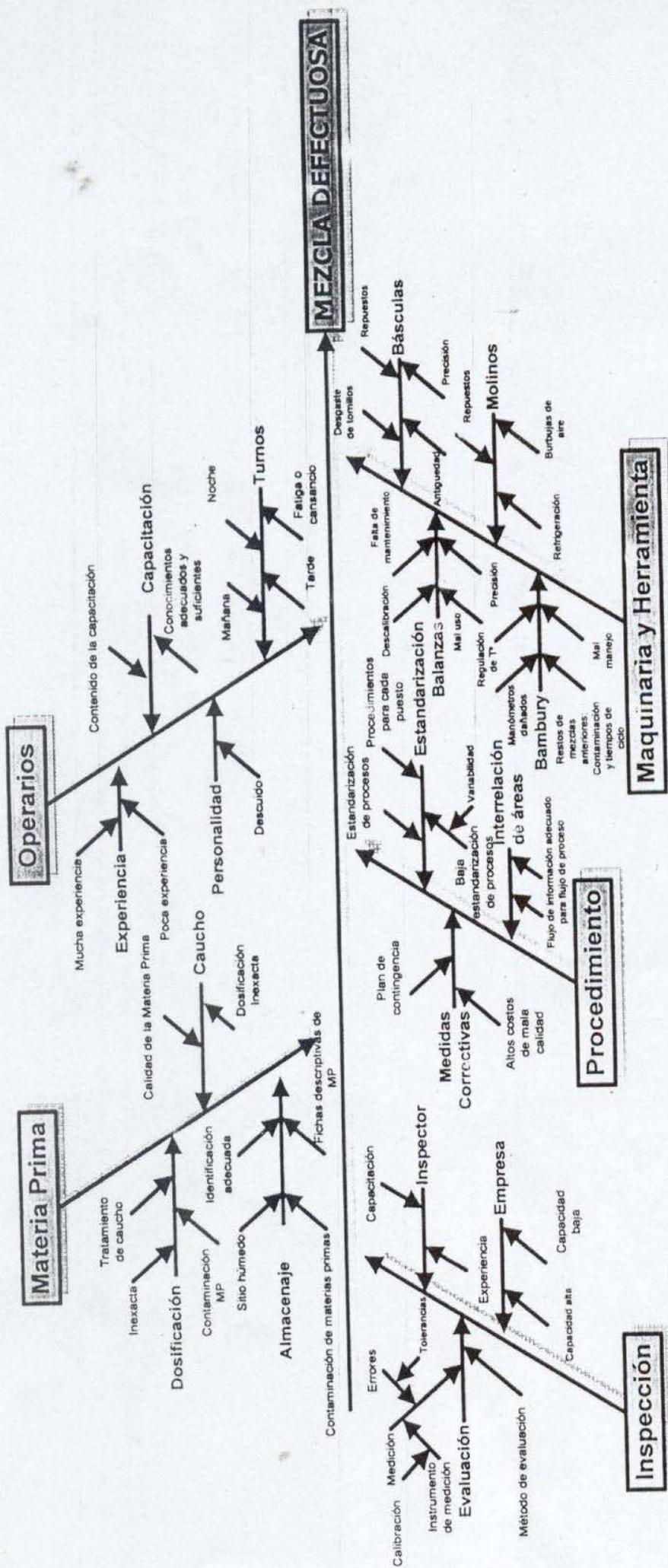
ANEXO 3

RANGOS DE DUREZA, TENSION Y ELONGACION

	ESPECIFICACION INFERIOR	ESPECIFICACION SUPERIOR
DUREZA	35° SHORE	45° SHORE
TENSION	83 daN/cm ³	-
ELONGACION	350%	-

ANEXO 4

DIAGRAMA CAUSA - EFECTO PARA MEZCLA DE PRODUCTO B



ANEXO 5

TABLA B Factores para el cálculo de las líneas centrales y los límites de control de 3σ de las gráficas \bar{X} , s y R .

OBSERVACIONES EN LA MUESTRA, n	GRAFICA PARA PROMEDIOS			GRAFICA PARA LAS DESVIACIONES ESTANDAR						GRAFICA DE LOS RANGOS				
	FACTORES PARA LOS LIMITES DE CONTROL			FACTORES PARA LINEA CENTRAL			FACTORES PARA LINEA CENTRAL			FACTORES PARA LOS LIMITES DE CONTROL				
	A	A_2	A_3	c_4	B_3	B_4	B_5	B_6	d_2	d_1	D_1	D_2	D_3	D_4
2	2.121	1.880	2.659	0.7979	0	3.267	0	2.606	1.128	0.853	0	3.686	0	3.267
3	1.732	1.023	1.954	0.8862	0	2.568	0	2.276	1.693	0.888	0	4.358	0	2.574
4	1.500	0.729	1.628	0.9213	0	2.266	0	2.088	2.059	0.880	0	4.698	0	2.282
5	1.342	0.577	1.427	0.9400	0	2.089	0	1.964	2.326	0.864	0	4.918	0	2.114
6	1.225	0.483	1.287	0.9515	0.030	1.970	0.029	1.874	2.534	0.848	0	5.078	0	2.004
7	1.134	0.419	1.182	0.9594	0.118	1.882	0.113	1.806	2.704	0.833	0.204	5.204	0.076	1.924
8	1.061	0.373	1.099	0.9650	0.185	1.815	0.179	1.751	2.847	0.820	0.388	5.306	0.136	1.864
9	1.000	0.337	1.032	0.9693	0.239	1.761	0.232	1.707	2.970	0.808	0.547	5.393	0.184	1.816
10	0.949	0.308	0.975	0.9727	0.284	1.716	0.276	1.669	3.078	0.797	0.687	5.469	0.223	1.777
11	0.905	0.285	0.927	0.9754	0.321	1.679	0.313	1.637	3.173	0.787	0.811	5.535	0.256	1.744
12	0.866	0.266	0.886	0.9776	0.354	1.646	0.346	1.610	3.258	0.778	0.922	5.594	0.283	1.717
13	0.832	0.249	0.850	0.9794	0.382	1.618	0.374	1.585	3.336	0.770	1.025	5.647	0.307	1.693
14	0.802	0.235	0.817	0.9810	0.406	1.594	0.399	1.563	3.407	0.763	1.118	5.696	0.328	1.672
15	0.775	0.223	0.789	0.9823	0.428	1.572	0.421	1.544	3.472	0.756	1.203	5.741	0.347	1.653
16	0.750	0.212	0.763	0.9835	0.448	1.552	0.440	1.526	3.532	0.750	1.282	5.782	0.363	1.637
17	0.728	0.203	0.739	0.9845	0.466	1.534	0.458	1.511	3.588	0.744	1.356	5.820	0.378	1.622
18	0.707	0.194	0.718	0.9854	0.482	1.518	0.475	1.496	3.640	0.739	1.424	5.856	0.391	1.608
19	0.688	0.187	0.698	0.9862	0.497	1.503	0.490	1.483	3.689	0.734	1.487	5.891	0.403	1.597
20	0.671	0.180	0.680	0.9869	0.510	1.490	0.504	1.470	3.735	0.729	1.549	5.921	0.415	1.585

Derechos reservados de ASTM, 1916 Race Street, Filadelfia, PA, 19103. Se reproduce con autorización.

ANEXO 6

ESTIMATIVOS DE LAS PROBABILIDADES

Para calcular una probabilidad en una distribución normal, primero se estandariza y luego se usa la tabla de la distribución normal. Estandarizar es transformar una variable x a Z .

$$Z = (x - \mu)/\sigma$$

Donde:

x : Valor de la especificación

μ : Media de la distribución

σ : Desviación estándar de la distribución

Se tiene entonces la medida estándar Z , la cual se distribuye como la distribución normal estándar $N(0, 1^2)$, la tabla de la distribución normal da las probabilidades en la distribución normal estándar. (Ver anexo 7).

DUREZA

Cuál es el % de mezclas que presentan una dureza superior a 45° Shore?
(mezclas que son rechazadas)

$$Z = (45 - 43,1754)/1,6862$$

$$Z = 1,0820$$

De la tabla del anexo 7, a un valor de Z de 1,08 corresponde un área de 0,1401, por lo tanto se estima que la probabilidad de que una mezcla presente un valor de dureza superior a 45° Shore es del 14,01%.

Se tiene entonces que el valor estimado para la probabilidad de mezclas cuya dureza es inferior a 45° Shore (mezclas aceptadas) es:

$$100\% - 14,01\% = \mathbf{85,99\%} *$$

* La diferencia con el estimativo de la probabilidad de las conclusiones radica en que se utilizó Excel para calcular dicha probabilidad y todos los decimales.

TENSION

Cuál es el % de mezclas que tienen una tensión inferior a 83 daN/cm² ?
(mezclas que son rechazadas)

$$Z = (90,3251 - 83)/9,6519$$

$$Z = 0,7589$$

De la tabla del anexo 7, a un valor de Z de 0,76 corresponde un área de 0,2236, por lo tanto se estima que la probabilidad de que una mezcla tenga una tensión inferior a 83 daN/cm² es del 22,36%.

Se tiene entonces que el valor estimado para la probabilidad de mezclas cuya tensión es superior a 83 daN/cm² (mezclas aceptadas) es:

$$100\% - 22,36\% = \mathbf{77,64\%} *$$

* La diferencia con el estimativo de la probabilidad de las conclusiones radica en que se utilizo Excel para calcular dicha probabilidad y todos los decimales.

ANEXO 7

K_ϵ	$\alpha = 0$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0*	.5000	.4960	.4920	.4880	.4840	.4801	.4761	.4721	.4681	.4641
0.1*	.4602	.4562	.4522	.4483	.4443	.4404	.4364	.4325	.4286	.4247
0.2*	.4207	.4168	.4129	.4090	.4052	.4013	.3974	.3936	.3897	.3859
0.3*	.3821	.3783	.3745	.3707	.3669	.3632	.3594	.3557	.3520	.3483
0.4*	.3446	.3409	.3372	.3336	.3300	.3264	.3228	.3192	.3156	.3121
0.5*	.3085	.3050	.3015	.2981	.2946	.2912	.2877	.2843	.2810	.2776
0.6*	.2743	.2709	.2676	.2643	.2611	.2578	.2546	.2514	.2483	.2451
0.7*	.2420	.2389	.2358	.2327	.2296	.2266	.2236	.2206	.2177	.2148
0.8*	.2119	.2090	.2061	.2033	.2005	.1977	.1949	.1922	.1894	.1867
0.9*	.1841	.1814	.1788	.1762	.1736	.1711	.1685	.1660	.1635	.1611
1.0*	.1587	.1562	.1539	.1515	.1492	.1469	.1446	.1423	.1401	.1379
1.1*	.1357	.1335	.1314	.1292	.1271	.1251	.1230	.1210	.1190	.1170
1.2*	.1151	.1131	.1112	.1093	.1075	.1056	.1038	.1020	.1003	.0985
1.3*	.0968	.0951	.0934	.0918	.0901	.0885	.0869	.0853	.0838	.0823
1.4*	.0808	.0793	.0778	.0764	.0749	.0735	.0721	.0708	.0694	.0681
1.5*	.0668	.0655	.0643	.0630	.0618	.0606	.0594	.0582	.0571	.0559
1.6*	.0548	.0537	.0526	.0516	.0505	.0495	.0485	.0475	.0465	.0455
1.7*	.0446	.0436	.0427	.0418	.0409	.0401	.0392	.0384	.0375	.0367
1.8*	.0359	.0351	.0344	.0336	.0329	.0322	.0314	.0307	.0301	.0294
1.9*	.0287	.0281	.0274	.0268	.0262	.0256	.0250	.0244	.0239	.0233
2.0*	.0228	.0222	.0217	.0212	.0207	.0202	.0197	.0192	.0188	.0183
2.1*	.0179	.0174	.0170	.0166	.0162	.0158	.0154	.0150	.0146	.0143
2.2*	.0139	.0136	.0132	.0129	.0125	.0122	.0119	.0116	.0113	.0110
2.3*	.0107	.0104	.0102	.0099	.0096	.0094	.0091	.0089	.0087	.0084
2.4*	.0082	.0080	.0078	.0075	.0073	.0071	.0069	.0068	.0066	.0064
2.5*	.0062	.0060	.0059	.0057	.0055	.0054	.0052	.0051	.0049	.0048
2.6*	.0047	.0045	.0044	.0043	.0041	.0040	.0039	.0038	.0037	.0036
2.7*	.0035	.0034	.0033	.0032	.0031	.0030	.0029	.0028	.0027	.0026
2.8*	.0026	.0025	.0024	.0023	.0023	.0022	.0021	.0021	.0020	.0019
2.9*	.0019	.0018	.0018	.0017	.0016	.0016	.0015	.0015	.0014	.0014
3.0*	.0013	.0013	.0013	.0012	.0012	.0011	.0011	.0011	.0010	.0010

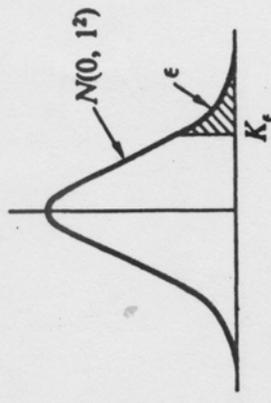


Tabla A.1. Tabla de la distribución normal

ANEXO 8

MÁQUINAS DE ETERNA S.A.



Figura 1. Molino 3



Figura 2. Molino 4 fajando mezcla



Figura 3. Molino 2



Figura 4. Banbury



Figura 5. Cortadora de caucho y báscula

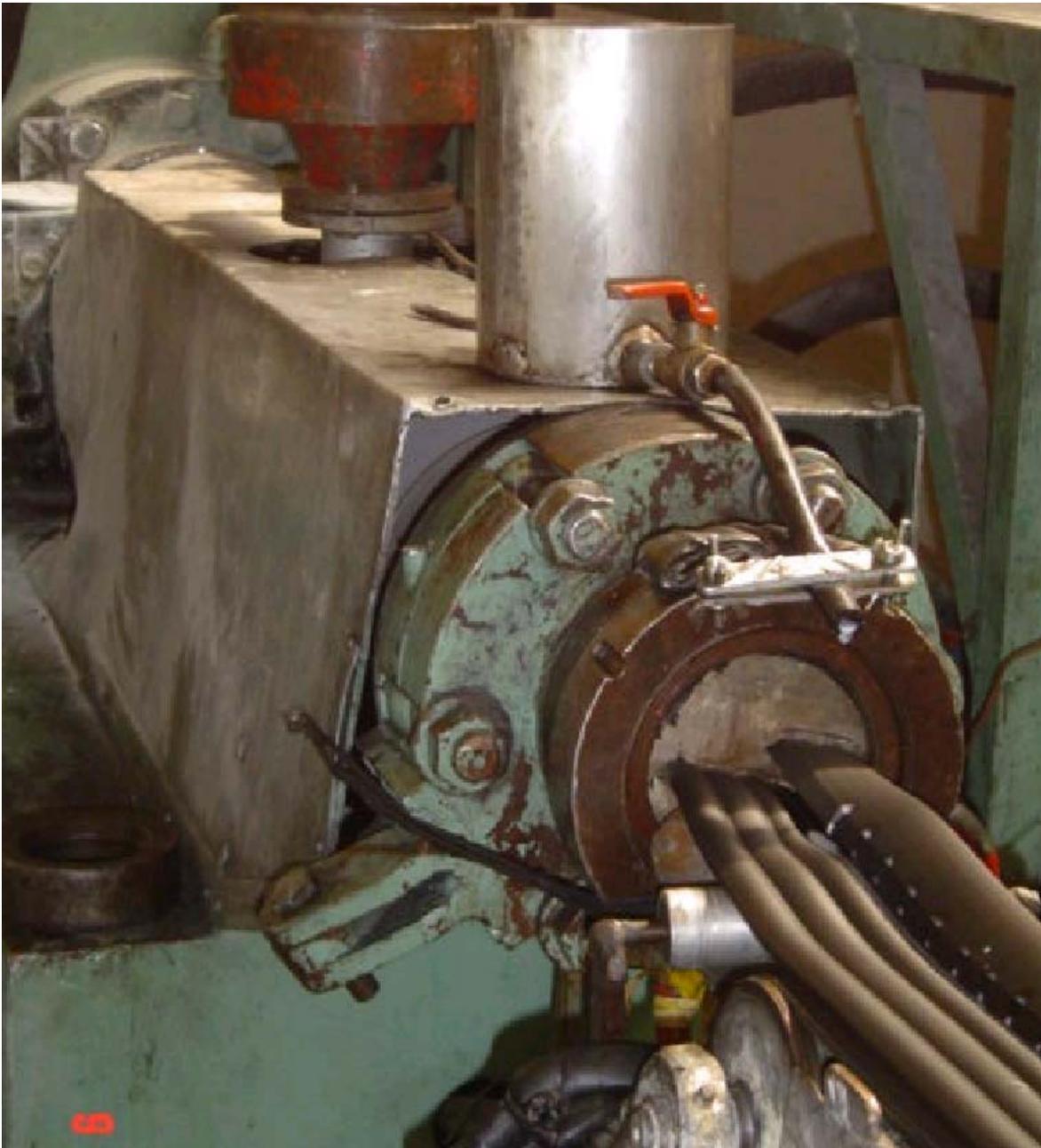


Figura 6. Extrusora



Figura 7. túnel de vulcanización



Figura 8. Túneles de vulcanización