



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



PROPUESTA DE MEJORAS AL PROCESO DE ELABORACIÓN
DE COMPUESTOS DE GOMA EN VEYANCE
TECHNOLOGIES DE VENEZUELA, C. A.

Tutor académico:
Prof.: Tony Espinosa.
Tutor industrial:
Ing.: Juan Terán.

Elaborado por:
Legmy Hernández.
C.I.: 18346344
Lixela López.
C.I.: 19356859

Valencia, Junio de 2011.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por acompañarme en todo momento, por bríndame salud, fortaleza, paciencia e inteligencia para superar cada uno de los obstáculos que se presentaron en el camino, inmensamente agradecida por ayudarme a alcanzar esta meta tan importante.

A mis Padres, por ser todo para mí, gracias por tanto amor, por apoyarme y aconsejarme cada vez que lo necesite, son mi ejemplo a seguir.

A mis hermanos, gracias por estar ahí siempre y sobretodo por quererme y aguantarme tal como soy.

A Harry, por todo el amor, el apoyo y la paciencia que me tuviste.

A Gabriela, por ser mi compañera en el cumplimiento de esta meta y por todos los momentos bonitos que compartimos.

A mis amigos, por su amistad, por empujarme a seguir siempre adelante, por estar ahí cuando los necesité y llenar mi vida de tantos momentos bonitos, los quiero muchísimo a todos.

Al Departamento de Computación y a todos sus miembros, gracias por todo, durante más de dos años fueron y siguen siendo como una familia para mí, me ayudaron y me brindaron muchas alegrías. Especialmente a la profesora Lisbeth, al profesor Hugo y a mis amigos queridos Salvador y Caterym.

A nuestros tutores, los Ingenieros Juan Terán y Tony Espinoza, por toda la ayuda, la paciencia y los consejos brindados, sin ustedes este sueño no fuera hoy realidad.

A la Universidad de Carabobo, especialmente a la facultad de Ingeniería, por enseñarme tantas cosas, formarme como una profesional.

A Veyance Technologies de Venezuela, C.A por darnos la oportunidad de realizar nuestro trabajo de grado especial de grado en sus instalaciones, y a todos sus empleados por la ayuda prestada.

A todas aquellas personas que aunque no nombro de manera particular, de una u otra manera contribuyeron a que pudiera realizar este sueño, mil gracias a todos.

Lixela

AGRADECIMIENTOS

A Dios por iluminarme en cada paso que doy.

A mis padres Yury y Miguel por todo su amor, apoyo, confianza y comprensión.

A mis hermanos Sary, Luis y Lili por ser mi inspiración y estar siempre cuando los necesite.

A José Antonio por ser mi gran apoyo y mi confidente, por toda la paciencia que has tenido en estos 5 años.

A Lix porque más que una compañera fue una buena amiga, por toda su comprensión y apoyo, a sus padres por abrirme las puertas de su casa y tratarme como de la familia.

A mis amigos por los buenos momentos vividos y, principalmente a Flora por ser la voz de la conciencia en toda esta etapa de nuestras vidas.

A Juan Terán por toda la ayuda brindada y a la familia de Veyance Technologies de Venezuela C.A. por abrirnos sus puertas, ayudarnos y asesorarnos en las medidas de sus posibilidades.

Al profesor Tony Espinoza por sus sabios consejos.

A la escuela y profesores de Ingeniería Química de la Universidad de Carabobo por facilitarnos los conocimientos necesarios para la obtención de nuestro título universitario.

Gaby

DEDICATORIAS

A mis Padres, porque este logro es tanto mío como de ustedes, por siempre apoyarme y brindarme todo lo necesario para cumplir esta meta. Ojala Dios me permita ser tan buena Ingeniero como ustedes.

A mis hermanos por ser tan especiales, porque cada uno a su manera complementa mi vida, por comprenderme, apoyarme y hasta pelear conmigo, los adoro.

Lixela

A mis padres, hermanos y novío, por acompañarme durante el camino y ser parte de este triunfo, porque cada palabra de ustedes era suficiente para levantarme cuando creía que todo estaba perdido, por todo el apoyo que me brindaron para cumplir este sueño tan anhelado.

¡LOS AMO!

Gaby

RESUMEN

En el presente trabajo especial de grado se investigó lo relacionado con la variación existente entre los parámetros reométricos de un mismo compuesto de goma, para la cual se realizó la propuesta de alternativas que permitieran mejorar dicho proceso, con la finalidad de obtener una menor variación en los parámetros reométricos de los compuestos de goma.

Esta investigación fue realizada en la empresa Veyance Technologies de Venezuela C.A, en el área de preparado de compuestos de goma, englobando y analizando las etapas de pesado, mezclado, molienda, enfriamiento y los ensayos de liberación realizados en el laboratorio físico-químico; tomando como referencia para el estudio el compuesto de goma más utilizado y los componentes (rellenos y aceites) usados en mayor proporción.

Las variables analizadas durante la investigación fueron las relacionadas con la metodología empleada, la maquinaria usada, la mano de obra, la materia prima, el medio ambiente y las mediciones realizadas, usando como equipos principales las balanzas, el mezclador (Banbury) y el Reómetro 100. Principalmente se tomó como referencia los valores obtenidos a través de los ensayos reométricos.

El cumplimiento del objetivo general se llevó a cabo usando como metodología la realización de un diagnóstico de la situación actual, una identificación de los factores que generan la variación de los parámetros reométricos en la elaboración de compuestos de goma, el diseño de una metodología para la implementación de nuevos límites reométricos, la propuestas de alternativas y la estimación de la relación costo-beneficio.

Dentro de los logros más importantes se puede mencionar la determinación del factor más influyente en la variación de los parámetros reométricos como lo es el método utilizado por la empresa, así como también el número prioritario de riesgo que posee el pesado durante la elaboración de compuestos y por último la propuesta de una metodología para la implementación de nuevas barreras de liberación.

Se puede concluir que las mejores alternativas corresponden a la implementación de un sistema de manufactura esbelta (Lean Manufacturing) y a la automatización del pesado de rellenos, compuestos químicos y aceites, la relación costo-beneficio correspondiente a la alternativa del Lean Manufacturing es de $R_{C-B}=0,29$ Adim., mientras que la implementación de un sistema automatizado corresponde a $R_{C-B}=0,25$ Adim.

Dentro de las recomendaciones más importantes se propone la implementación de un sistema que permita mejorar el pesado de los diferentes ingredientes para la obtención de compuestos de gomas y definir los límites de aceptación de parámetros reométricos a todos los compuestos de goma elaborados en la empresa.

ABSTRACT

In the present special work of degree was investigated the related thing to the existing variation between the rheometric parameters of the same compound of rubber, for which he was proposing alternatives that would improve the process, with the purpose of obtaining a minor variation in the rheometric parameters of the compounds of rubber.

This investigation was realized in the company Veyance Technologies of Venezuela C.A, in the area of prepared of compounds of rubber, including and analyzing the stages of weighed, mixed, grinding, cooling and the tests of liberation realized in the laboratory physicist - chemist; taking the compound of rubber as a reference to the study most used and the components (fillings and oils) used in major proportion.

The variables analyzed during the investigation were the related ones to the used methodology, the second hand machinery, the workforce, the raw material, the environment and the realized measurements, using as principal equipments the scales, the mixer (Banbury) and the Rheometro 100. Principally one took the values obtained across the reométric tests as a reference.

The fulfillment of the general aim was carried out using as methodology the accomplishment of a diagnosis of the current situation, an identification of the factors that generate the variation of the reometric parameters in the production of compounds of rubber, the design of a methodology for the implementation of new limits reométricos, offers of alternatives and the estimation of the relation cost-benefit.

Inside the most important achievements it is possible to mention the determination of the most influential factor in the variation of the parameters reométricos since it is the method used by the company, as well as also the priority number of risk that it possesses weighed during the production of compounds and finally the proposal of a methodology for implementing new release barriers.

It can be concluded that the best alternatives correspond to the implementation of a lean manufacturing system (Lean Manufacturing) and automation of heavy fillers, chemicals and oils, cost-effective alternative for the Lean Manufacturing is $R_{C-B} = 0.29$ Adim., while the implementation of an automated system corresponds to $R_{C-B} = 0.25$ Adim.

Inside the most important recommendations one proposes the implementation of a system that it allows to improve weighed of the different ingredients for the obtaining compound of rubbers and to define the limits of acceptance of reometrics parameters to all the compounds of rubber elaborated in the company.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁG.
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. Descripción del problema.....	3
1.2. Formulación del problema.....	6
1.2.1. Situación actual.....	6
1.2.2. Situación deseada.....	7
1.3. Objetivos.....	7
1.3.1. Objetivo general.....	7
1.3.2. Objetivos específicos.....	7
1.4. Justificación.....	7
1.5. Limitaciones.....	8
CAPÍTULO II	9
2. MARCO REFERENCIAL.....	9
2.1. Antecedentes.....	12
2.2. Fundamentos teóricos.....	12
2.2.1. Compuestos de goma.....	12
2.2.2. Banbury.....	13
2.2.3. Vulcanización.....	14
2.2.4. Reología.....	15
2.2.5. Reómetro.....	16
2.2.6. Reógrama.....	17
2.2.7. Diagrama causa efecto.....	19
2.2.8. Análisis de modo y efecto de falla.....	20
2.2.9. Diagrama de Pareto.....	21
2.2.10. Software Daisy.....	22
2.2.11. Gráficos de control.....	23
2.2.12. Tolva.....	24
2.2.13. Características del flujo de materiales en una tolva.....	24
2.2.14. Lean Manufacturing.....	25
2.2.15. Control automático de procesos.....	26
2.2.16. Razón costo-beneficio.....	28
CAPÍTULO III	
3. MARCO METODOLÓGICO.....	29
3.1. Tipo de investigación.....	29
3.2. Etapas metodológicas.....	29
3.3. Diagnóstico de la situación actual.....	29
3.4. Identificación de las causas de variación en el proceso de elaboración de compuestos.....	30
3.5. Definición de los nuevos rangos de aceptación de los parámetros reométricos.....	35
3.6. Propuestas de alternativa(s) de mejoras al proceso de elaboración de compuestos.....	36
3.7. Estimación de la relación costo beneficio de la(s) alternativa(s) propuesta(s).....	37
CAPÍTULO IV	
4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	39
4.1. Diagnóstico de la situación actual.....	39
4.2. Identificación de las causas de variación en el proceso de elaboración de compuestos.....	44

4.2.1. Materia prima.....	45
4.2.2. Mano de obra.....	46
4.2.3. Maquinaria.....	46
4.2.4. Método.....	47
4.2.5. Mediciones.....	48
4.2.6. Medio ambiente.....	48
4.3. Definición de los nuevos rangos de aceptación de los parámetros reométricos.....	56
4.4. Propuestas de alternativas de mejoras al proceso de elaboración de compuestos.....	62
4.5. Estimación de la relación costo beneficio de las alternativas propuestas.....	85
CONCLUSIONES.....	91
RECOMENDACIONES.....	93
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94
APÉNDICE A. CÁLCULOS TÍPICOS.....	100
APÉNDICE B. TABLAS Y FIGURAS.....	111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Contenido	PÁG.
2.1.	Características principales de tolvas de flujo de masa y de flujo de embudo.....	25
3.1.	Análisis de modo y efecto de falla (AMEF).....	31
3.2.	Criterios de evaluación de severidad sugeridos para el AMEF.....	32
3.3.	Criterios de evaluación de la ocurrencia sugeridos para el AMEF.....	33
3.4.	Criterios de evaluación de detección sugerido para el AMEF.....	33
4.1.	Características de los equipos utilizados durante la elaboración de compuestos de goma.....	40
4.2.	Características de los equipos utilizados para la realización de los ensayos de liberación de los compuestos de goma.....	42
4.3.	Variables, entradas, etapas y salidas involucradas en la elaboración de compuestos de gomas.....	44
4.4.	Análisis de modo y efecto de falla.....	50
4.5.	Definición de puertas para el COMP1.....	61
4.6.	Ventajas y desventajas de las alternativas propuestas para la mejora del proceso de elaboración de compuestos.....	65
4.7.	Disminución del tiempo requerido y la distancia recorrida por los operadores al elaborar una carga de un compuesto de goma.....	69
4.8.	Ángulo de rozamiento de diversos productos.....	70
4.9.	Ángulo de rozamiento de productos pulverulentos con diferentes materiales de pared.....	71
4.10.	Volumen de las tolvas a diseñar.....	72
4.11.	Dimensiones de las tolvas a diseñar.....	73
4.12.	Propiedades y características de los aceites ACE1 y ACE2.....	77
4.13.	Equipos correspondientes al sistema de almacenamiento del aceite ACE1.....	77
4.14.	Volumen del tanque requerido para el almacén del aceite ACE2.....	78
4.15.	Dimensiones de los tanques existentes en la empresa.....	79
4.16.	Características de los equipos necesarios para la automatización de pesado.....	82
4.17.	Costos y beneficios relacionados con la aplicación de la metodología del Lean Manufacturing.....	87
4.18.	Costos iniciales relacionados con la implementación de un sistema automático de pesado.....	87
4.19.	Beneficios obtenidos por la empresa con la aplicación de la propuesta de automatización del pesado.....	89
4.20.	Relación costo beneficio de las alternativas propuestas.....	89
B.1.	Producción promedio de compuestos de goma en los meses desde marzo a agosto del 2010.....	111
B.2.	Parámetros reométricos del compuesto COMP1.....	113
B.3.	Consumo promedio de rellenos en los meses de marzo a agosto del 2010.....	113
B.4.	Consumo promedio de aceites y plastificantes en los meses de marzo a agosto del 2010.....	116
B.5.	Valores de densidad para algunos negros de humo.....	117
B.6.	Ventajas y desventajas de los tipos de actuadores.....	119
B.7.	Características de los módulos I/O para el controlador lógico programable.....	120
B.8.	Características de la válvula de bola con actuador.....	121
B.9.	Características del controlador lógico programable ControlLogix.....	122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Contenido	PÁG.
1.1.	Diagrama de flujo para la fabricación de compuestos de goma.....	4
1.2.	Típica curva de vulcanización.....	5
2.1.	Modelo de un diagrama causa-efecto.....	19
2.2.	Tolva de flujo de masa.....	24
2.3.	Tolva de flujo de embudo.....	24
4.1.	Curvas de vulcanización de dos compuestos de gomas diferentes durante el mes de junio del 2010.....	43
4.2.	Diagrama causa – efecto del proceso de elaboración de compuestos de goma.....	45
4.3.	Diagrama de Pareto de la producción promedio mensual de los compuestos de goma en los meses de marzo a agosto del 2010.....	53
4.4.	Gráficas reométricas del COMP1 durante el mes de agosto del año 2010.....	54
4.5.	Gráficas reométricas de 13 cargas del COMP1 elaboradas en forma consecutiva y en un mismo turno.....	55
4.6.	Gráficas reométricas de 30 muestras del COMP1 auditando las etapas de pesado.....	56
4.7.	Grafico X-R del parámetro reométrico Mt _s 2.....	58
4.8.	Grafico X-R del parámetro reométrico M90.....	58
4.9.	Grafico X-R del parámetro reométrico t90.....	59
4.10.	Grafico X-R del parámetro reométrico t _s 2.....	59
4.11.	Esquema de un reógrama con barreras de aceptación, mostrando los valores a partir de los cuales se definieron dichos limites.....	60
4.12.	Limites de aceptación definidos para el COMP1.....	61
4.13.	Ubicación actual de los elementos relacionados con la elaboración de compuestos de gomas.....	68
4.14.	Ubicación propuesta de los elementos relacionados con la elaboración de compuestos de gomas.....	68
4.15.	Volumen de las tolvas a diseñar.....	71
4.16.	Mezanina del área de preparado de compuestos con sus dimensiones y la ubicación propuesta para las tolvas.....	72
4.17.	Sección de la tolva que muestra la acción del vibrador en funcionamiento.....	73
4.18.	Lazo cerrado del sistema de dosificación gravimétrica de negro de humo.....	76
4.19.	Ubicación de los tanques de almacenamiento de líquidos.....	78
4.20.	Lazo cerrado del sistema de dosificación gravimétrica de aceite.....	80
B.1.	Propiedades de algunos negros de humo.....	119

INTRODUCCIÓN

Un compuesto de goma es la mezcla de compuestos químicos, agentes reforzantes y polímeros que son utilizados como elemento base para la fabricación de correas y mangueras a base de goma.

La presente investigación consiste en proponer alternativas para la mejora del proceso de elaboración de compuestos de goma con la finalidad de obtener una menor variación en los parámetros reométricos de dichos compuestos, a través de un diagnóstico de la situación actual del área de elaboración de compuestos de gomas, una identificación de las causas que generan la variación de dichos parámetros reométricos, definición de los nuevos rangos de aceptación de dichos parámetros y propuestas de alternativas de mejoras al proceso las cuales se realizarán con su respectiva estimación de la relación costo - beneficio.

Los parámetros reométricos permiten conocer las características de vulcanización de la goma y además proporcionan información sobre las propiedades físicas de esta, lo que permite conocer si el compuesto cumple o no con las especificaciones de la empresa, por lo tanto la investigación esta enfocada a conocer la fuente que origina la variación de dichos parámetros y además proponer alternativas que permitan disminuirla, tomando como área de estudio el análisis de los factores influyentes en un proceso y el diseño de nuevas metodologías que permitan la mejora de dicho proceso.

La metodología empleada en el desarrollo de la investigación se divide fundamentalmente en tres etapas: la primera comprende el diagnóstico de la situación actual y la determinación de las causas influyentes en el proceso, las cuales se logran principalmente a través del reconocimiento directo del proceso y la técnica de tormenta de ideas; en la segunda se determinan los nuevos rangos de aceptación de los parámetros reométricos con el uso de curvas patrones y los software Daisy y Statgraphics; la última etapa consiste en la propuesta de alternativas de mejoras y la estimación de la relación costo-beneficio, los cuales se logran con el uso de la técnica de lluvia de ideas y los análisis económicos de dichas propuestas.

El trabajo está estructurado en 4 capítulos distribuidos de la siguiente manera: el capítulo I contiene el planteamiento del problema, donde se describe la formulación, justificación, objetivos y limitaciones del presente trabajo especial de grado. El capítulo II lo constituye el marco teórico conceptual cuyas bases teóricas sustentan la investigación. El capítulo III explica la metodología

detallada que se llevó a cabo para el alcance de los objetivos planteados. El capítulo IV contiene las discusiones y resultados derivados de la investigación. Finalmente se muestran las conclusiones y recomendaciones.

La realización de esta investigación permite a la empresa Veyance Technologies de Venezuela C.A conocer una propuesta cuyo fin sea obtener una mejora en cuanto al proceso de elaboración de compuestos de gomas, mejorando su proceso y brindándoles a sus operadores nuevas herramientas que permitan mejorar su trabajo, principalmente se lograría una disminución de material no conforme; personalmente esta investigación nos permite reforzar y adquirir nuevos conocimientos relacionados con el diseño de procesos y el control de calidad.

CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A continuación se describe la problemática presentada, así como la situación actual y la deseada y con base en se expone el objetivo general y los específicos sobre los cuales se fundamentará la investigación, también se presentan las justificaciones y limitantes de la misma.

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La empresa Veyance Technologies de Venezuela, C.A, se encuentra ubicada geográficamente en la carretera nacional Valencia-Tinaquillo kilómetro 46, Tinaquillo-Estado Cojedes. Se dedica a la producción y comercialización de productos de goma aplicados a la industria de la ingeniería.

Los productos que comercializa la empresa como fabricante exclusivo de la marca “Goodyear Engineered Products” son los siguientes:

- ✓ Mangueras automotrices universales y moldeadas.
- ✓ Correas y mangueras industriales.
- ✓ Correas transportadoras.
- ✓ Mangueras de PVC.

Los procesos productivos se fundamentan principalmente en el área de mezclado de compuestos (Banbury), donde se originan los compuestos de goma que luego serán utilizados para la elaboración de los productos mencionados anteriormente.

Los compuestos químicos y el negro de humo provenientes del almacén de materia prima son pesados y junto con las gomas base, el relleno y el aceite, son agregados por carga a un mezclador tipo cerrado denominado Banbury el cual posee una cámara de mezcla que contiene dos rotores que giran en dirección opuesta para dispersar los ingredientes y crear una mezcla o compuestos homogéneos.

Seguidamente hay una etapa de molienda del compuesto, para convertirlo en láminas ó tiras, aumentar la homogeneidad de la mezcla y así facilitar el almacenamiento, de esta fase una muestra de la goma es enviada al laboratorio donde se realizan los ensayos de liberación, los

cuales están conformados por la determinación de la dureza, la gravedad específica y el análisis de la curva de vulcanización obtenida por un ensayo reométrico.

El compuesto laminado es sumergido en un baño de lubricante que evita que las láminas se peguen entre sí y donde comienza el ciclo de enfriamiento forzado, el cual se realiza por una serie de ventiladores; luego la goma es almacenada (stock) durante ocho horas para finalmente servir como materia prima en la fabricación de los productos a base de goma.

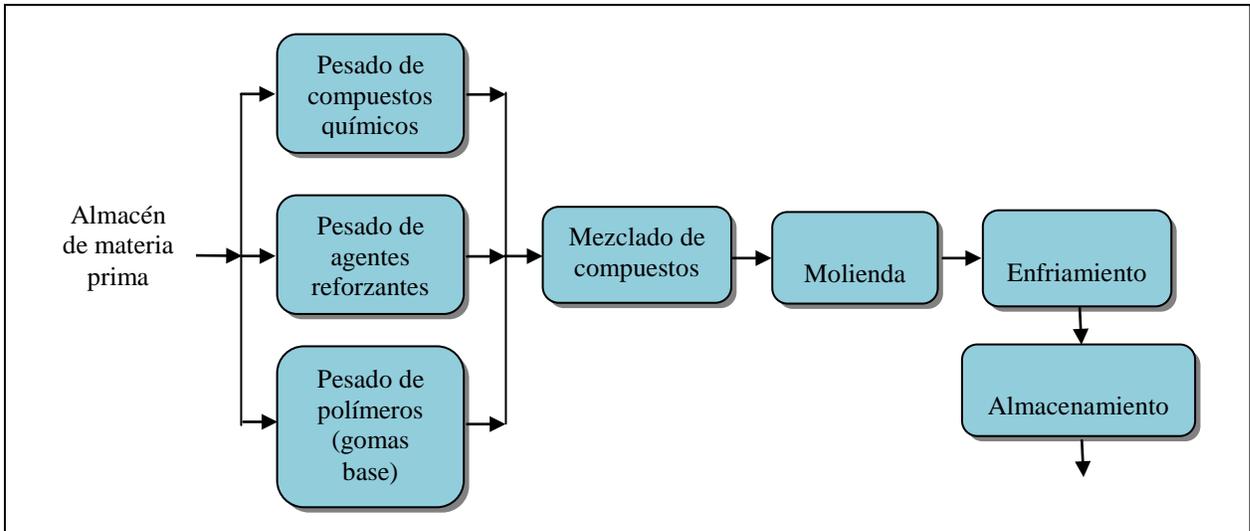


Figura 1.1. Diagrama de bloques del proceso de fabricación de compuestos de goma.

Los ensayos de liberación de compuestos son de gran importancia debido a que estos proporcionan información sobre las propiedades físicas y determinan si el compuesto cumple con las especificaciones de la empresa. El ensayo de dureza es esencialmente una medida de la deformación elástica, reversible, producida por una punta penetradora de forma especial bajo una carga específica (Barba y Buestán, 2008). La determinación de la gravedad específica es una medida del peso del compuesto, es de suma importancia que este valor se encuentre entre las especificaciones para evitar errores posteriores en los pesos de los productos terminados.

Por su parte la prueba de reometría permite determinar las características de vulcanización de la goma, la evaluación de la propiedad reométrica de la goma es realizada en un equipo conocido con el nombre de reómetro 100. La prueba inicia cuando una muestra del compuesto es puesta en la cavidad del reómetro, la cual está compuesta por un molde inferior fijo y un molde móvil superior que se mantiene cerrado durante la prueba y ejerciendo una presión de 3.5kgf/cm². A medida que transcurre la vulcanización en el reómetro, el torque requerido para ablandar la goma aumenta, generándose así una curva suave de torque ó modulo elástico respecto

al tiempo de cura. En la figura 1.2 se representa el comportamiento típico de dicha curva y las principales regiones o fases en las cuales está dividida.

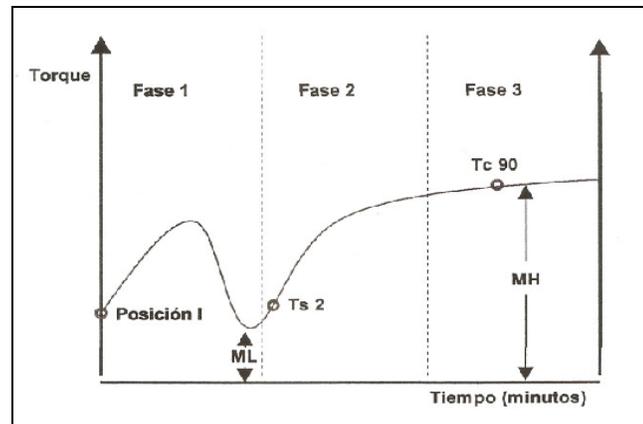


Figura 1.2. Curva típica de vulcanización. Fuente: González y Peña (2002).

La fase 1, representa el rango de procesabilidad del compuesto. La posición 1 de dicha fase, indica la viscosidad inicial que posee la goma. Luego a medida que transcurre el tiempo, el compuesto es calentado y sometido a un torque constante para alcanzar un punto mínimo denominado M_L , que nos expresa la viscosidad mínima ó torque mínimo, posteriormente se encuentra el punto T_{S2} , llamado tiempo de seguridad del proceso ó de Scorch (quemado), el cual representa el tiempo en el que la goma comienza a vulcanizar. En la fase 2, la curva comienza en ascenso lo que indica que el compuesto está vulcanizando o reaccionando hasta llegar a la fase 3, donde se encuentra el punto denominado T_{90} , que representa el tiempo en que la goma a completado el 90% del vulcanizado total, finalmente se llega al punto M_H , que expresa el valor del torque máximo que puede alcanzar la goma. Todos los valores mencionados anteriormente son denominados parámetros reométricos (González y Peña, 2002).

Los valores históricos obtenidos de los ensayos de dureza y de gravedad específica se encuentran dentro de los respectivos rangos de aceptación establecidos por el departamento de calidad de la empresa y la corporación. Sin embargo en la actualidad los valores obtenidos mediante el ensayo de reometría (parámetros reométricos) no poseen un rango de aceptación estipulado debido a que el sistema de representación de la curva reométrica fue modificado de analógico a digital, cambiando entre otras cosas la sensibilidad de la representación y ocasionando que los rangos de aceptación antes existentes deban recalcularse a las condiciones del actual sistema.

Además actualmente se están generando variaciones entre los parámetros reométricos de un mismo compuesto de goma, ocasionando algunas veces que el compuesto deba ser reprocesado, en este caso el especialista de producción de Banbury deberá analizar las curvas reométricas y dependiendo de las variaciones que presenten especificará las condiciones del reproceso, entre ellas si es necesario adicionar algún ingrediente y la cantidad de este. En el área de preparado de compuestos se realizan 45 cargas por turno y en la actualidad el porcentaje de reproceso de compuestos que presenten variaciones en los parámetros reométricos es aproximadamente 5% de la producción por turno. Que una carga deba ser reprocesada ocasiona entre muchas cosas que disminuya la cantidad de compuestos elaborados por turno. Las cargas faltantes se programarían para el siguiente turno, retrasando así la producción programada y generando retraso en las líneas de producción de correas y mangueras. A pesar de que el porcentaje de reproceso no es un valor elevado, para Veyance Technologies de Venezuela, C.A es importante que este valor disminuya para así elevar su productividad y ofrecer a sus clientes productos que sean cada vez de mejor calidad.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Para Veyance Technologies de Venezuela, C.A es importante la constante mejora del proceso de elaboración de compuestos de goma debido a que ellos son la base para la posterior elaboración de diversas mangueras y correas comercializadas por la empresa. Al realizar los ensayos de reometría a un mismo compuesto de goma y obtener curvas reométricas sin mucha dispersión se estaría garantizando una mayor uniformidad de la goma producida, lo cual se vería reflejado en productos finales más estándares y con mayor calidad.

Todo lo anterior expuesto dio origen a la siguiente interrogante que orientó a la presente investigación, ¿Qué mejoras sería posible realizar al proceso de elaboración de compuestos de goma para así disminuir la variación de los parámetros reométricos y aumentar la calidad del producto final?

1.2.1. Situación actual

El área de elaboración de compuestos de goma es de gran importancia porque es el punto de partida del proceso productivo de la empresa por ello es importante mejorar cada vez más la

calidad del dicho compuesto. Actualmente al realizar el ensayo de reometría a diferentes cargas de un mismo compuesto de goma proveniente de área de elaboración, se están generando curvas reométricas dispersas, por lo cual surge una oportunidad de mejora al proceso de preparado con la finalidad de obtener compuestos de goma más estándares y de mayor calidad.

1.2.2. Situación deseada

Minimizar la variabilidad existente entre los parámetros reométricos de un mismo compuesto de goma, basándose en los requerimientos y disponibilidad de la empresa, aumentando la calidad de los compuestos de goma fabricados y por ende de los productos finales comercializados e incrementando la eficiencia del proceso productivo de la empresa.

1.3. OBJETIVOS

A continuación se definen el objetivo general y los objetivos específicos planteados en la investigación.

1.3.1. Objetivo general

Proponer alternativas para la mejora del proceso de elaboración de compuestos de goma con la finalidad de obtener una menor variación en los parámetros reométricos de dichos compuestos.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Diagnosticar la situación actual del área de elaboración de compuestos de goma.
2. Identificar las causas que generan la variación en el proceso de elaboración de compuestos.
3. Definir nuevos rangos de aceptación de los parámetros reométricos.
4. Proponer alternativas de mejora al proceso de elaboración de compuestos.
5. Estimar la relación costo-beneficio de las alternativas propuestas).

1.4. JUSTIFICACIÓN

Veyance Technologies de Venezuela C.A, cuenta entre sus principales objetivos ser reconocida como el fabricante con la mejor calidad de productos y a su vez ser altamente

competitivos a las exigencias del mercado, por lo cual es de suma importancia encontrar alternativas capaces de disminuir la variabilidad de los parámetros reométricos de los compuestos de goma elaborados, logrando así que dicha goma sea más uniforme y posteriormente sea transformada en un producto terminado (manguera o correa) de mayor calidad.

Así también se lograría una disminución en la cantidad de material no conforme obtenido durante todo el proceso lo cual resulta muy ventajoso para la empresa, debido a que implicaría menores costos de producción. Las propuestas diseñadas estarán orientadas a mejorar el proceso de elaboración de los compuestos de goma, proporcionando a la empresa y a sus trabajadores una nueva herramienta a implementar que los ayudará a ser más eficientes, además mejorará aun más sus condiciones de trabajo debido a una reducción en la cantidad de partículas sólidas presentes en el aire, lo cual fortalecerá el compromiso de Veyance Technologies de Venezuela C.A. con la conservación del ambiente.

Esta investigación permite afianzar la relación universidad-industria y proporcionara a la Universidad de Carabobo una nueva herramienta para investigaciones futuras relacionadas con la industria del caucho. A nivel personal en cuanto a valor teórico se refiere, esta investigación nos permite afianzar los conocimientos relacionados con los procesos de fabricación y manufactura, así como también lo relacionado con el diseño de procesos y la evaluación de calidad.

1.5. LIMITACIONES

Entre las posibles limitantes para la realización de esta investigación se tiene que por ser una empresa tan importante debe existir confidencialidad con los valores y datos manejados, así como también la dependencia económica de la empresa para la realización de las diversas pruebas, ya que estas implican un alto costo económico, es importante destacar que tanto las formulaciones de compuestos de gomas y los procedimientos de mezclados sólo pueden ser modificados a nivel corporativo.

Debido a la gran cantidad de compuestos de goma realizados en el área de preparado de compuestos, esta investigación estará dirigida a una parte representativa de dichos compuestos.

CAPÍTULO II MARCO REFERENCIAL

En el siguiente capítulo se presenta de forma resumida las investigaciones anteriores que sirven de apoyo a la realización de esta investigación, además se describen los aspectos teóricos relacionados con el desarrollo de la misma.

2.1. ANTECEDENTES

A continuación se describen brevemente los antecedentes de esta investigación así como sus resultados más importantes y se presentan las semejanzas y discrepancias con el actual trabajo.

Vidal E. (2007) estudió la influencia de la actividad superficial de los diferentes componentes de una formulación de caucho en la reacción de vulcanización. Este estudio muestra la influencia del negro de carbono en la reacción de vulcanización y más concretamente de la actividad superficial del negro de carbono. Los resultados muestran un efecto de activación de la reacción a mayor superficie específica, a mayor actividad superficial y en especial de la mayor componente polar de la superficie. Se modificó la actividad superficial del acelerante y del azufre, mediante polimerización con plasma frío para estudiar el efecto en la vulcanización y su comportamiento en mezcla. En el caso del acelerante los resultados muestran la posibilidad de modificar su actividad en la vulcanización sin alterar las propiedades finales del producto. Referente a la modificación del azufre, los resultados abren las puertas a un camino de tratamiento superficial de las partículas de azufre para reducir el efecto de la migración del azufre. Como semejanza con nuestra investigación se tiene que en ambas se investiga acerca de factores que influyen en la curva de vulcanización de un compuesto de goma, sin embargo en este caso se analiza cómo influyen químicamente los diversos componentes de la formulación sobre la vulcanización y no como influyen el proceso de elaboración del compuesto, por lo tanto esta investigación aporta información sobre que tan influyentes son los negro de carbono, los acelerantes y el azufre sobre el proceso de vulcanización.

Figuera E. (2004) propuso alternativas de mejoramiento del proceso de fabricación de cauchos semisólidos en la empresa OIL SEALS ANDINAS, C.A. con la finalidad de minimizar la generación de material rechazado o dañado en la etapa de extrusión y de armado para dicho proceso en la empresa. En esta investigación se determinaron las condiciones en las que opera la empresa para producir caucho semisólido, además se llevó a cabo una evaluación del comportamiento de vulcanización para láminas elaboradas en dicho proceso y se desarrolló una nueva alternativa para aumentar la calidad del producto final. Dentro de las conclusiones, las más resaltantes fueron que aplicando el modelo de producción propuesto se reduce a un 20% la generación de material rechazado y además que se puede utilizar la curva de vulcanización como parámetro de liberación en el área de mezclado. Entre las semejanzas de esta investigación con el presente trabajo, se puede mencionar la metodología empleada, la cual se basó en reconocer el proceso, analizar las causas principales de los problemas encontrados y posteriormente proponer alternativas de solución a dichos problemas; además en ambos procesos se emplea la fabricación de compuestos de goma, por lo cual esta investigación proporciona información sobre cómo se debe analizar el proceso para posteriormente proponer alternativas de mejora. Sin embargo, como diferencia se encuentra que el presente trabajo tendrá como propósito esencial proponer alternativas de mejora solo al área de elaboración de compuestos de goma y no al todo el proceso de producción hasta llegar al producto final.

González J y Peña G (2002). Estudiaron el efecto del peso en el comportamiento estándar de las fórmulas empleadas en la elaboración de correas y mangueras automotrices con la finalidad de establecer las causas que inciden en el comportamiento subestándar de las mismas. La investigación se llevó a cabo en tres fases, inicialmente se realizó una fase de inducción al proceso, posteriormente la fase de selección de las fórmulas a evaluar así como la identificación de las causas y factores que influyen en su comportamiento. Y finalmente se realizó la fase de resolución del problema. Entre los resultados más importantes obtenidos se tiene que los agentes vulcanizantes originaron mayor porcentaje de desviación sobre el comportamiento ideal de las gomas seleccionadas. Como principal semejanza con la investigación actual se tiene que se estudia la influencia del peso de los ingredientes en las propiedades finales del compuesto, aportando información importante sobre como varían las propiedades reométricas en función del peso. Sin embargo para llevar al cabo el estudio realizan modificaciones a las fórmulas de los

compuestos lo cual se puede citar como una gran diferencia con la investigación actual, en la cual no se modificarán las formulaciones.

Fernández. V. y Zambrano H. (2001). Diseñaron un sistema de mezclado de pigmentos en la elaboración de gomas para la fabricación de correas y mangueras automotrices con la finalidad de disminuir las horas/hombres empleadas durante esa etapa del proceso, así como también contribuir con la disminución de los lotes de goma rechazados. Para llevar a cabo la investigación realizaron un reconocimiento y diagnóstico del proceso para determinar las condiciones de mezclado seguido de un análisis del comportamiento de las diferentes mezclas bajo condiciones normales de almacenamiento, finalmente diseñaron un sistema de mezclado de sólidos adecuado y determinaron su factibilidad económica. Entre las conclusiones más importantes se tiene que la implantación de un sistema de premezcla no desmejora la calidad de los compuestos preparados y también que el almacenamiento de las premezclas durante un periodo de un mes no altera la homogeneidad de estas. Como una gran semejanza con la presente investigación se puede decir que entre las pruebas de calidad aplicadas a los compuestos preparados se encuentra el ensayo reométrico, el cual fue realizado en un reómetro de disco oscilante marca Monsanto modelo Rheometer 100 igual al que será utilizado en este trabajo de investigación, proporcionando información referente al manejo del equipo y significado e importancia de los datos suministrados por el mismo y además aporta información sobre las propiedades que afectan el mezclado de compuestos sólidos. Sin embargo como diferencia entre los dos trabajos se encuentra que su objetivo principal es diseñar un nuevo sistema de mezclado y no analizar el proceso existente y mejorarlo como en nuestro caso.

Palacios C. (1999). Realizó un estudio para la actualización de tiempos estándares en procesos de vulcanización de llanta de camión y radial, construcción de pestañas y mejora de métodos en las áreas de pesado de pigmentos, bodega de producto terminado, reparación de llantas, Cushon Mill y oficinas. La investigación se basó en el estudio de las operaciones que rigen el proceso de elaboración de neumáticos, haciendo un análisis en la influencia de la mano de obra a través de un diagrama de recorrido, un diagrama hombre-máquina y la toma de tiempos que influyen en el proceso. Entre los resultados más importantes se tiene la actualización de los tiempos estándares y una nueva distribución de espacios físicos durante todo el proceso de

elaboración de llantas. Como recomendaciones al área de pesado de pigmentos el autor propuso un diseño de tolvas que mejorarán las condiciones ergonómicas de los trabajadores y una forma más rápida para sustraer los pigmentos y así como también el diseño de una tarima para la colocación de dichas tolvas. La semejanza más importante de esta investigación con la propuesta es el análisis realizado para el área de pesado de pigmentos (etapa de gran importancia para la elaboración de los compuestos de gomas), aportando información de posibles mejoras que podrían realizarse a la etapa de pesado de pigmentos de elaboración de compuestos. Entre las diferencias se tiene que la investigación mencionada se enfocó al estudio completo de la producción de llantas mientras que nuestra investigación está dirigida simplemente a la etapa de preparado de compuestos.

2.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

A continuación se definirán los principales aspectos teóricos relacionados con el presente trabajo de investigación y necesarios para la comprensión del mismo.

2.2.1. COMPUESTOS DE GOMA

Para obtener compuestos de goma se combinan una gran variedad de componentes orgánicos e inorgánicos que se mezclan para formar un compuesto con características y propiedades específicas. En general, una formulación está constituida por bases elastoméricas, agente reforzante y aditivos químicos.

- **Base elastomérica**

Es una clase de materiales que se distinguen del resto por su propiedad viscoelástica, es decir, recuperan su forma original casi por completo después de liberar una fuerza que se aplicó sobre ellos. La base elastomérica puede estar compuesta por: caucho natural, sintético, mezcla de caucho natural con caucho sintético, mezclas de cauchos sintéticos, caucho reciclado y/o látices.

La selección del caucho está basada principalmente en su costo, facilidad de mezclado y propiedades. Por otro lado, hay diferentes grados de cauchos y para su selección hay que tener en cuenta las condiciones a las cuales estará expuesto como pieza terminada, como por ejemplo si va

a ser expuesto a solventes químicos, expuesto a temperaturas elevadas o intemperismo. (González, 2003).

- **Agentes reforzantes**

Se incorporan al caucho para modificar sus propiedades mecánicas, eléctricas y ópticas, economizar y ayudar en el proceso, aunque el propósito original era bajar costos, actualmente son más importantes en la modificación de las propiedades. Estos pueden ser rellenos orgánicos e inorgánicos, fibrosos, sílicas, cargas negras y blancas, pueden actuar como relleno reforzante, semirreforzante y no reforzante.

En la selección de un relleno se toma en consideración: el tamaño de partícula, el área superficial, la estructura y la actividad superficial.

- **Aditivos químicos**

También llamados ayudas de proceso, se usan para reducir el tiempo y la energía durante el mezclado, además de mejorar la dispersión de los componentes en polvo, proporcionando elasticidad y mejor procesabilidad del caucho.

Para la selección de las ayudas de proceso se consideran los siguientes factores: su compatibilidad, costo, eficiencia, manchado y las propiedades a bajas temperaturas. Estos pueden ser ablandadores, plastificantes, vulcanizantes, aceleradores, retardadores, peptizantes, lubricantes, agentes de adhesión, suavizantes, ayudas de dispersión, aceites y resinas entre otros (González, 2003).

En el mezclador Banbury se introduce la mezcla de caucho, negro de humo y otros productos químicos para obtener un material de caucho homogéneo. El tiempo, el calor y las materias primas utilizadas son los factores decisivos en la composición del producto final. Las cantidades a granel son pesadas y de allí son cargadas al mezclador Banbury para iniciar el proceso de mezclado.

2.2.2. BANBURY

El mezclador Banbury ocupa un lugar importantísimo en las secciones de mezcla de todas las industrias de caucho y plástico modernas por las grandes ventajas que reporta su utilización.

Se ahorra mano de obra, tiempo de mezcla, energía consumida y espacio ocupado. Al mismo tiempo se tiene una mejor dispersión, uniformidad y control de las mezclas y una mejor protección del operario.

El Banbury consta de dos rotores, con un perfil de frente de ataque de las palas adecuado que giran en sentido inverso y a distinta velocidad. Se efectúa el mezclado por un efecto de laminación o cizallamiento al ser obligado el material a pasar a través del pequeño movimiento que existe entre las crestas de las palas de los rotores y las paredes de la cámara, combinado con un replegamiento y otro de transporte o deslizamiento, favorecido por la disposición en hélice de las palas.

Los productos son introducidos por la tolva de carga y comprimidos en la cámara de mezcla por el pisador.

La parte inferior de la cámara de mezcla está cerrada por la compuerta de descarga, que se abre para poder evacuar la mezcla (GUIX CORNELLA).

2.2.3. VULCANIZACIÓN

La vulcanización es un proceso mediante el cual se calienta el caucho crudo en presencia de azufre, con el fin de volverlo más duro y resistente al frío. Se dice que fue descubierto por Charles Goodyear en 1839 por accidente, al volcar un recipiente de azufre y caucho encima de una estufa. Esta mezcla se endureció y se volvió impermeable, a la que llamó vulcanización en honor al dios Vulcano (Consortio nacional de industriales del caucho, 2005).

Durante la vulcanización, los polímeros lineales paralelos cercanos constituyen puentes de entrecruzamiento entre sí. El resultado final es que las moléculas elásticas de caucho quedan unidas entre sí a una mayor o menor extensión. Esto forma un caucho más estable, duro, mucho más durable, más resistente al ataque químico y sin perder la elasticidad natural. También transforma la superficie pegajosa del material en una superficie suave que no se adhiere al metal o a los sustratos plásticos

La vulcanización es un proceso de cura irreversible que define a los cauchos curados como materiales termorígidos (no se funden con el calor) y los saca de la categoría de los termoplásticos (como el polietileno y el polipropileno).

Usualmente el entrecruzamiento químico es realizado con azufre, pero existen otras tecnologías como los sistemas basados en peróxidos. Se suelen usar combinadamente con agentes aceleradores y retardadores.

El azufre es un material con singulares propiedades. En determinadas circunstancias, formará cadenas de sus propios átomos. El carbono y el silicio pueden formar también esas cadenas. El proceso de vulcanización hace uso de este fenómeno. A lo largo de la molécula del caucho, hay un número de sitios que son atractivos para los átomos de azufre. Son los llamados sitios de cura. En cada sitio de cura, un átomo de azufre se puede unir a sí mismo, y a partir de allí la cadena de átomos de azufre puede crecer hasta que alcance el sitio de cura de otra molécula. Estos puentes de azufre son usualmente de 2 a 10 átomos de largo, en contraste con los polímeros más comunes en los que la "columna vertebral" de carbonos pueden ser varios miles de veces de larga (Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 2001).

2.2.4. REOLOGÍA

La reología es la ciencia que estudia el comportamiento de las sustancias bajo esfuerzo, incluyendo sólidos, líquidos y polímero fundido. Conocer el comportamiento reológico de un material es de gran importancia en el procesamiento del plástico y el diseño de moldes de inyección, husillos y cabezales de extrusión, etc.

Debido a la naturaleza macromolecular de los materiales poliméricos, el comportamiento entre sólidos y líquidos ocurre dependiendo de la escala de tiempo. Este comportamiento es conocido como viscoelástico y es muy útil para describir algunos fenómenos de flujo en polímeros fundidos. Adicionalmente, es muy útil para predecir propiedades mecánicas en función del tiempo para diseñar piezas plásticas.

Se cuenta con diferentes técnicas para hacer mediciones reológicas en plástico y en caucho, tales como:

- Índice de fluidez MFI
- Reometría capilar de alta presión
- Reometría de torque
- Viscosidad Mooney
- Revulcanometría

- Reometría rotacional

Esta información es útil para conocer las propiedades de flujo de los materiales y es importante para realizar el diseño de componentes de los equipos de procesamiento (Meneses, 1987).

2.2.5. REÓMETRO

El reómetro es un aparato diseñado para controlar las diferentes características de vulcanización de mezclas de caucho, tales como: termoplasticidad, seguridad de proceso, tiempo óptimo, velocidad de vulcanización y estado final de mezclas. En este aparato se generan ciertas curvas gráficas, llamadas reogramas, las cuales relacionan torque contra tiempo, usando un método de ensayo estandarizado.

Existen diferentes tipos de reómetros, los cuales se pueden clasificar en tres categorías, reómetro rotacional, reómetro capilar y reómetro extensional. El modelo de reómetro utilizado para la experiencia es el Reómetro Monsanto 100 el cual es de tipo rotacional.

Fundamentalmente el aparato está constituido por los siguientes componentes:

- Un sistema de regulación de la temperatura de ensayo, que ofrece una gran precisión entre 100 y 200°C
- Motor sincrónico de 100 r.p.m., brazo de torque, disco oscilante y cilindro neumático, incluyendo controles eléctricos y neumáticos.
- Registrador horizontal transistorizado, con selector de la velocidad de barrido y control de sensibilidad. El registro se hace sobre una misma gráfica, de las características de vulcanización de una serie de mezclas.

El proceso de vulcanización en el Reómetro Monsanto 100 inicia cuando una muestra de polímero es encerrada en una cavidad de un molde instalado en un plato, que es calentado eléctricamente. Las temperaturas de los platos (superior e inferior) y de las cavidades moldeadas son mantenidas con una aproximación de $\pm 1^{\circ}\text{F}$ ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$), por controladores proporcionales de temperatura. La muestra de polímero cubre completamente un disco bicónico que está unido a un eje, el cual conforma el rotor. La cavidad está compuesta por dos secciones, una sección fija y

una superior que es móvil, las cuales son mantenidas cerradas durante el ensayo por un cilindro neumático. La presión de aire estándar sobre el cilindro es de 50 psi, el cual suministra aproximadamente de 600 a 800 psi de presión dentro de la cavidad.

La boquilla de fijación del disco es sujeta manualmente apretando la barra de cierre de la boquilla del eje de torque. El disco oscila describiendo un pequeño arco, de $\pm 1,3$ ó 5 grados, por una excéntrica adosada al eje del motor.

El motor usado en el Reómetro 100 opera a 100 r.p.m. su movimiento recíproco es transmitido de la excéntrica hasta el rotor, mediante un sistema mecánico de conexión.

La fuerza que requiere el disco para oscilar y aplicar así una fuerza de cizallamiento a la muestra del polímero, es medida electrónicamente por el transductor del brazo de torque.

El torque aplicado al disco causa un voltaje proporcional a la rigidez del polímero. En el Reómetro 100 la señal de 100 ciclos por minutos es una frecuencia demasiado alta para ser registrada, por esto es convertida primero a una señal de corriente continua, mediante un convertidor AC-DC. La corriente resultante de la conversión es registrada para producir una curva continua y uniforme, que representa el módulo elástico versus el tiempo de curado (Meneses, 1987).

2.2.6. REOGRAMA

Los reogramas son las curvas de vulcanización generadas por el reómetro durante un ensayo, las cuales relacionan torque contra tiempo. Un ejemplo de dicha representación se muestra en la Figura 1.2.

En los reogramas se pueden observar claramente tres fases bien definidas:

- Fase 1: es denominada Scorch Time o tiempo de retardo, corresponde al tiempo que tarda en iniciarse la reacción de vulcanización. Se controla mediante el tipo de acelerante que se incorpora. Es un parámetro que se tiende a minimizar, a fin de reducir el tiempo de vulcanización; sin embargo, es imprescindible, ya que evita que empiece a vulcanizar antes de que se mezclen los distintos reactivos, lo que permite homogeneizar la mezcla.
- Fase 2: denominada reticulación, es el momento en el que se forman los puentes de azufre entre las distintas cadenas, por lo que en el gráfico se detecta un incremento de la viscoelasticidad.

- Fase 3: denominada Plateau, la vulcanización termina en dicha etapa. Se aprecia en algunos casos una disminución de la viscoelasticidad debido a la destrucción de los puentes de azufre, este hecho se conoce como reversión (González y Peña, 2002).

La curva reométrica es un diagrama en el que vienen dadas las características de vulcanización, es una medida bastante buena para determinar la homogeneidad de la mezcla. Las variaciones en el sistema de vulcanización se producen en parte por las variaciones en el proceso de mezclado (Consortio Nacional de Industriales del caucho, 2005).

Los valores de la curva reométrica importantes para el análisis físico de la muestra del caucho, son los siguientes:

- T25: es el tiempo necesario para que la goma alcance el 25% del vulcanizado total, min.
- T90: es el tiempo necesario para que la goma alcance el 90% del vulcanizado total, min.
- M_L : es la viscosidad mínima o torque mínimo, lb.plg.
- M_H : representa el valor del torque máximo que puede alcanzar la goma (dureza de la goma), lb.plg.
- M90: representa el 90% del máximo incremento del torque, lb.plg.
- t_{s2} : es tiempo de seguridad del proceso ó de Scorch (quemado), min. El valor del torque en este tiempo es igual al torque mínimo más 2 lb.plg, como se muestra en la ecuación 2.1.

$$M_{t_s 2} = M_L + 2lb \cdot plg \quad (2.1)$$

Donde:

$M_{t_s 2}$: torque al tiempo t_{s2} , lb.plg

Para calcular cierto porcentaje del torque máximo, se puede aplicar la ecuación 2.2:

$$MX = M_L + X \cdot (M_H - M_L) \quad (2.2)$$

Donde:

MX: torque al X% del máximo incremento del torque, lb.plg.

X: porcentaje del torque total que se desea calcular, %

2.2.7. DIAGRAMA CAUSA - EFECTO

El diagrama de causa y efecto (o espina de pescado) es una técnica gráfica ampliamente utilizada, que permite apreciar con claridad las relaciones entre un tema o problema y las posibles causas que pueden estar contribuyendo para que el ocurra.

Se usa para visualizar, las causas principales y secundarias de un problema; ampliar la visión de las posibles causas de un problema, enriqueciendo su análisis y la identificación de soluciones; analizar procesos en búsqueda de mejoras; modificar procedimientos, métodos, costumbres, actitudes o hábitos, con soluciones - muchas veces - sencillas y económicas.

Para la realización del diagrama de causa efecto se aplica lo siguiente:

- Establecer claramente el problema (efecto) que va a ser analizado.
- Diseñar una flecha horizontal apuntando a la derecha y escribir el problema al interior de un rectángulo localizado en la punta de la flecha.
- Hacer una lluvia de ideas para identificar el mayor número de posibles causas que pueda estar contribuyendo para generar el problema, preguntando "¿Por qué está sucediendo?". Esto con el fin de identificar cuáles han sido las causas secundarias (subcausas) que han provocado a las causas principales.
- Agrupar las causas en categorías.
- Una vez identificado tanto las causas principales como las causas secundarias se realiza un análisis detallado de cada una de ellas, para seleccionar aquellas causas que se pueden corregir de una manera inmediata, y asignar aquellas causas que tengan mayor dificultad para su intervención (Borrego, 2009).

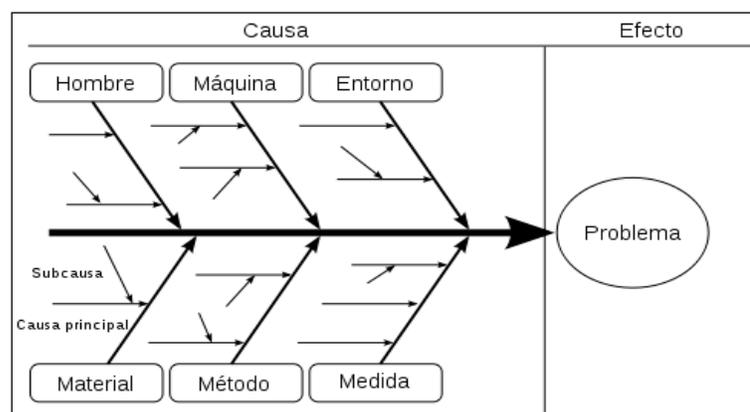


Figura 2.1. Modelo de un diagrama causa-efecto. Fuente: Borrego (2009).

Una forma muy utilizada de agrupamiento es la 6M: maquinaria, mano de obra (hombre), métodos, materia prima (material), medio ambiente y medición (entorno), como se puede observar en la figura 2.2.

2.2.8. ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA

El Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF) es una metodología sistemática dirigida que identifica los modos de falla potenciales en un sistema, producto u operación de manufactura/ensamble causadas por deficiencias en los procesos de diseño o manufactura/ensamble. También identifica características de diseño o de proceso críticas o significativas que requieren controles especiales para prevenir o detectar los modos de falla. AMEF es una herramienta utilizada para prevenir los problemas antes de que ocurran (Quality-One, s.f.).

• Elementos asociados al AMEF

- Modo de falla potencial: se define como la manera en que una fase del proceso puede potencialmente fallar en cumplir con los requerimientos específicos del proceso.
- Efectos de falla potencial: son las consecuencias potenciales del modo de falla. Se debe asumir que los efectos se producen siempre que ocurra el modo de falla.
- Severidad: Es la evaluación de la gravedad del efecto de falla potencial, la cual puede estar comprendida en una escala del 1 al 10, donde 10 indica el efecto más severo.
- Causas de fallas potenciales: son errores específicos descritos en términos de que algo puede ser corregido o controlado.
- Ocurrencia: las causas son evaluadas en términos de ocurrencia, ésta se define como la probabilidad de que una causa en particular ocurra y resulte en un modo de falla durante a vida esperada del producto.
- Controles actuales: son descripciones de las medidas que previenen que ocurra el modo de falla o detectan el modo de falla en caso de que ocurran. Se agrupan de acuerdo a su propósito.

- Detección: la detección es una evaluación de las probabilidades de que los controles del proceso actual detecten el modo de falla, antes de que la parte o componente salga de la localidad de ensamblaje o manufactura.
- NPR: el número de prioridad de riesgo (NPR) es un valor que se emplea para identificar los riesgos más serios, y así buscar acciones correctivas. Es el producto matemático de la severidad, la ocurrencia y la detección (ver ecuación 2.3).

$$NPR = S \cdot O \cdot D \quad (2.3)$$

Donde:

NPR: número prioritario de riesgo (Adim.)

S: grado de severidad (Adim.)

O: grado de ocurrencia (Adim.)

D: grado de detección (Adim.)

- Acciones recomendadas: cuando los modos de falla han sido ordenados por el NPR, las acciones correctivas deberán dirigirse primero a los problemas y puntos de mayor grado e ítems. La intención de cualquier acción recomendada es reducir los grados de ocurrencia, severidad y/o detección (Del Bouno, 2010).

2.2.9. DIAGRAMA DE PARETO

Es una representación gráfica de los datos obtenidos sobre un problema, que ayuda a identificar cuáles son los aspectos prioritarios que hay que tratar. El nombre de Pareto fue dado por el Dr. Joseph Juran en honor del economista italiano Vilfredo Pareto (1848–1923) quien realizó un estudio sobre la distribución de la riqueza, en el cual descubrió que la minoría de la población poseía la mayor parte de la riqueza y la mayoría de la población poseía la menor parte de la riqueza. Con esto estableció la llamada “Ley de Pareto” según la cual la desigualdad económica es inevitable en cualquier sociedad.

El Dr. Juran aplicó este concepto a la calidad, obteniéndose lo que hoy se conoce como la regla 80/20. Según este concepto, si se tiene un problema con muchas causas, podemos decir que el 20% de las causas “pocos vitales” resuelven el 80% del problema y el 80% de las causas “muchos triviales” solo resuelven el 20% del problema. Por lo tanto, el análisis de Pareto trata

pues de identificar ese pequeño porcentaje de causas “vitales” para actuar prioritariamente sobre él (Domenech, s.f.).

Los pasos para realizar un diagrama de Pareto son:

1. Determinar el problema o efecto a estudiar.
2. Investigar los factores o causas que provocan ese problema y como recoger los datos referentes a ellos.
3. Anotar la magnitud de cada factor.
4. Ordenar los factores de mayor a menor en función de la magnitud de cada uno de ellos.
5. Calcular la magnitud total del conjunto de factores.
6. Calcular el porcentaje total que representa cada factor, así como el porcentaje acumulado.
7. Dibujar dos ejes verticales y un eje horizontal. Situar en el eje vertical izquierdo la magnitud de cada factor. La escala del eje está comprendida entre cero y la magnitud total de los factores. En el derecho se representan el porcentaje acumulado de los factores, por tanto, la escala es de cero a 100. El punto que representa a 100 en el eje derecho está alineado con el que muestra la magnitud total de los factores detectados en el eje izquierdo. Por último, el eje horizontal muestra los factores empezando por el de mayor importancia.
8. Se trazan las barras correspondientes a cada factor. La altura de cada barra representa su magnitud por medio del eje vertical izquierdo.
9. Se representa el gráfico lineal que representa el porcentaje acumulado calculado anteriormente. Este gráfico se rige por el eje vertical derecho.
10. Dar un título al gráfico.
11. Analizar la gráfica para determinar los “pocos vitales”.

2.2.10. SOFTWARE DAISY

El software DAISY es un sistema de adquisición de datos que recopila, almacena y evalúa los datos de prueba de los instrumentos adquiridos directamente o mediante la introducción manual. Para cualquier instrumento que presenta gráficos es posible alternar entre la visualización de las curvas y los puntos de datos individuales que aparecen como un gráfico de tendencia dinámica. Los resultados se almacenan en el disco duro y se puede acceder a ellos para su análisis. Además proporciona de forma automática informes en línea que puede ser impresos.

Con los límites establecidos DAISY proporcionar validación automática [PASA/NO PASA] al final del ensayo.

El programa también produce los informes y resúmenes, genera gráficos de control e histogramas, útil para Control Estadístico de Procesos. Funciona en cualquier sistema operativo basado en Windows, Windows 95/98/ME y Windows NT4, Windows 2000 y Windows XP (Alpha Technologies, s.f.).

2.2.11. GRÁFICOS DE CONTROL

El propósito de un gráfico de control es determinar si el comportamiento de un proceso se mantiene en un nivel aceptable de calidad. Se espera, por supuesto, que cualquier proceso experimente una variabilidad natural, es decir, variabilidad debido a fuentes de variación poco importantes e incontrolables. Por otro lado, un proceso puede experimentar tipos más serios de variabilidad en mediciones clave de comportamiento. Estas fuentes de variabilidad pueden surgir de uno de varios tipos de “causas asignables” no aleatorias, como errores del operador o indicadores mal ajustados en una máquina. Un proceso que opera en este estado se denomina fuera de control. Se dice que un proceso que experimenta solo variaciones aleatorias está en control estadístico. Por supuesto, un proceso de producción exitoso puede operar en un estado de control durante un periodo grande. Se supone que durante este periodo el proceso elabora un producto aceptable. Sin embargo, puede haber un “corrimiento” gradual o súbito que requiere detección.

Los gráficos de control pueden ser de dos tipos según la característica del producto o servicio a analizar, gráficos de control por variables y gráficos de control por atributos.

En los gráficos de control por variables, el control del proceso se realiza mediante variables susceptibles de ser medidas: cantidades, pesos, diámetros, espesores, frecuencias, etc. En ellos se analizarán parámetros de centraje y dispersión de la característica a controlar a lo largo del tiempo. El gráfico que analiza la media muestral y el rango de una muestra predeterminada, es el más utilizado en este ámbito.

En los gráficos de control por atributos, el control del proceso se realiza mediante atributos de tipo dicotómico. Así, se puede analizar si el producto o servicio posee o no una determinada característica (atributo) (Walpole, 1999).

2.2.12. TOLVA

Se denomina tolva a un dispositivo similar a un embudo de gran talla destinado al depósito y canalización de materiales granulares o pulverizados. Generalmente es de forma cónica y siempre es de paredes inclinadas, de tal forma que la carga se efectúa por la parte superior y la descarga se realiza por una compuerta inferior. Son muy utilizadas en agricultura, en construcción de vías férreas y en instalaciones industriales (Lázaro y Barrera, s.f.).

2.2.13. CARACTERÍSTICAS DEL FLUJO DE MATERIALES EN UNA TOLVA

Dos de las definiciones más importantes de las características de flujo en un recipiente de almacenamiento son:

El flujo de masa, que significa que todos los materiales en el recipiente se desplazan cuando se retira una parte (Figura 2.2). Los depósitos de flujo de masa tienen algunas de las características más solicitadas para los recipientes de almacenamiento: siempre que se abre la compuerta de fondo sin ayuda se obtiene un flujo.

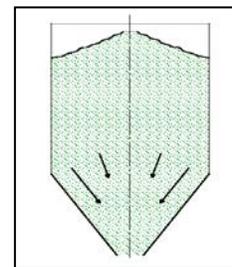


Figura 2.2. Tolva de flujo de masa.
Fuente: Perry (1986).

El flujo de embudo, que se produce cuando fluye solo una porción del material (por lo común en un canal en el centro del sistema), cuando se retira cualquier cantidad de material (Figura 2.3). Un depósito de flujo de embudo puede tener o no flujo; pero probablemente se pueda hacer que fluya por algún medio (Perry y Chilton, 1986).

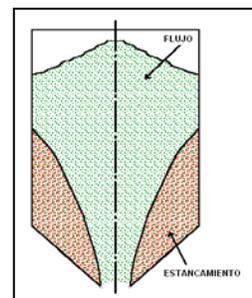


Figura 2.3. Tolva de flujo de embudo.
Fuente: Perry (1986).

En la Tabla 2.1 se comparan las características principales de los depósitos de flujo de masa y flujo de embudo (Perry y Chilton, 1986).

TABLA 2.1
CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE TOLVAS DE FLUJO DE
MASA Y DE FLUJO DE EMBUDO

Tolvas de flujo de masa	Tolvas de flujo de embudo
<ol style="list-style-type: none"> 1. Las partículas se segregan, pero se reúnen en la descarga. 2. Los polvos se desairean y no fluyen cuando se descarga el sistema. 3. El flujo es uniforme. 4. La densidad de flujo es constante. 5. Los indicadores de nivel funcionan adecuadamente. 6. No quedan productos en zonas muertas donde pudieran degradarse. 7. Se puede diseñar la tolva para tener un almacenamiento no segregado o para funcionar como mezclador 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Las partículas se segregan y permanecen segregadas. 2. La primera porción que entra es la última en salir. 3. Pueden permanecer productos en puntos muertos hasta que se realiza la limpieza completa del sistema. 4. Los productos tienden a formar puentes o arcos y luego a que se formen agujeros de rata durante la descarga. 5. El flujo es errático. 6. La densidad puede variar. 7. Los grandes y flujo libre. indicadores de nivel se deben situar en puntos clave para que puedan funcionar adecuadamente. 8. Las tolvas funcionan bien con sólidos de partículas

2.2.14. LEAN MANUFACTURING

Es una metodología de trabajo cuyo objetivo es implantar la eficacia en todos los procesos del negocio, eliminando las actividades que no aportan valor añadido, con el fin de generar beneficios tangibles para la etapa final.

“Lean Manufacturing” (LM) es un conjunto de técnicas desarrolladas por la Compañía Toyota a partir del decenio de 1950 que sirven para mejorar y optimizar los procesos operativos de cualquier compañía industrial, independientemente de su tamaño. La totalidad de esas técnicas estaban incluidas en lo que se conoció como Justo a Tiempo o Sistema de Producción Toyota, en donde destacaron autores como Sigeo Shingo y Edward Hay. La técnica consiste en la reducción de desperdicios, fueran estos inventarios, tiempos, productos defectuosos, transportes, almacenajes, maquinaria y hasta personas.

A pesar de que en LM se plantean una serie de herramientas, su sola utilización no permitirá alcanzar logro alguno.

Son varias las herramientas que se utilizan en el LM, las cuales las expondremos sin una secuencia lógica:

Sistema Kanban: es un sistema de señalización que permite entregar el pedido correcto en el momento preciso, esto permite nivelar la producción, una excelente forma de balancear la línea. Se

han desarrollado diversas formas para aplicar este sistema, las conocidas tarjetas o kanban, pero también señales luminosas, recipientes, etc. Existe en Centroamérica muchos ejemplos documentados sobre los éxitos alcanzados con esta técnica.

Programa Kaizen de las 5 S: busca mejorar las áreas de trabajo con el propósito de facilitar el flujo de materiales, personas y poder localizar correctamente materiales, insumos, etc.

Lay out: busca organizar la empresa en células de trabajo, considerando muchos casos la línea U, como una mejor forma de administrar el flujo de las piezas. (Grupo Kaizen, s.f.).

Una forma sencilla de observar los beneficios del Lean Manufacturing es a través de la disminución de los 8 tipos de desperdicios:

1. Inventarios.
2. Transporte.
3. Sobreproducción.
4. Talento humano no utilizado.
5. Tiempos de espera.
6. Movimientos.
7. Defectos.
8. Sobreprocesamiento.

2.2.15. CONTROL AUTOMÁTICO DE PROCESOS

La automatización industrial es el proceso de implantación de sistemas, donde la operación manual se sustituye por un conjunto de elementos, equipos o maquinarias, que realizan la misma función originalmente desempeñada por operadores humanos (Braslavsky, s.f.).

Variable controlada: cantidad o condición que se mide y controla; por lo general es la salida o resultado del sistema.

Variable manipulada: cantidad o condición que el controlador modifica para afectar al valor de la variable controlada.

Punto de ajuste o setpoint: cantidad o condición que el controlador toma como

referencia; representa el valor más apropiado de la condición medida para una mayor eficiencia del proceso.

Control en lazo (o bucle) abierto: la señal de entrada (o referencia) actúa directamente sobre el dispositivo de control (regulador), para producir, por medio del actuador, el efecto deseado en las variables de salida, para este tipo de lazo el regulador no comprueba el valor que toma la salida, es claramente sensible a las perturbaciones que se produzcan sobre la planta.

Control en lazo (o bucle) cerrado: la salida del sistema se mide por medio de un sensor y se compara con el valor de la entrada de referencia, de este modo, el sistema de control puede responder mejor ante las perturbaciones que se produzcan sobre el sistema.

Sensor: son los que se emplean para medir perturbaciones, variables de salida controladas, o variables de salida secundarias. Son las únicas fuentes de información para saber cómo está funcionando el proceso.

Transmisor: es el dispositivo que transmite las señales físicas, de un proceso hacia el controlador, frecuentemente las señales provenientes de los elementos sensores no pueden emplearse directamente dentro del control, sino que deben ser convertidas en señales que puedan ser transmitidas fácilmente; el transmisor tiene la responsabilidad de realizar esta conversión.

Controlador: es el "cerebro" del sistema, ya que toma la decisión en el circuito de control; para hacerlo, compara el punto de ajuste con la señal del proceso que llega del transmisor, y luego envía la señal apropiada al elemento final de control para mantener la que se controla en el valor adecuado. La acción de control que se elige para el controlador depende del comportamiento dinámico de los otros componentes en el circuito de control.

Acción del controlador:

- Acción directa: significa que cuando el controlador ve un incremento de señal desde el transmisor, su salida se incrementa.

- Acción inversa: significa que un incremento en las señales de medición hacen que la señal de salida disminuya.

2.2.16. RAZÓN COSTO BENEFICIO

La razón costo beneficio es el modelo económico que se usa para medir el atractivo económico de un proyecto y por definición expresa la relación entre el costo en el que se incurre al realizar el proyecto y el beneficio percibido (ver ecuación 2.4).

$$R_{C-B} = \frac{C_I + C_O}{B} \quad (2.4)$$

Donde:

R_{C-B} : relación costo beneficio de la propuesta, Adim.

B : beneficios obtenidos con la propuesta, Bs.

C_I : costos iniciales relacionados con la propuesta, Bs.

C_O : costos operacionales relacionados con la propuesta, Bs.

Tanto el numerador como el denominador se deben calcular en términos de su valor equivalente, ya sea, a través del valor actual (Bs) o del equivalente anual (Bs/año). Desde el punto de vista económico, un proyecto se justifica si se cumple la relación expresada en la ecuación 2.5:

$$R_{C-B} \leq 1 \quad (2.5)$$

Ya que ser iguales los beneficios y los costos equivalentes, se garantiza la recuperación total, en forma de beneficio, del gasto en que incurre la empresa y es, por tanto, igualdad en esa expresión la que establece la justificación mínima para realizar la inversión.

La limitación en la utilización de este modelo, radica en las posibilidades que existan de cuantificar las consecuencias de los proyectos, ya que muchos beneficios no se pueden medir fácilmente en bolívares (Alvarado y Betancourt, 2009).

CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se presentará el tipo de trabajo de investigación, así como también se explicará detalladamente el desarrollo sistémico necesario para el cumplimiento de los objetivos planteados.

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación es un proyecto factible debido a que consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable, para solucionar problemas, requerimientos y necesidades de organizaciones. Un proyecto factible puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos o procesos (Universidad Pedagógica Experimental del Libertador, 2006). En este caso la investigación estará basada en la elaboración de una(s) propuesta(s) para mejorar el proceso productivo de preparado de compuestos de goma.

3.2. ETAPAS METODOLÓGICAS

Para el cumplimiento del objetivo general planteado en la investigación, se definieron las siguientes etapas:

- Diagnóstico de la situación actual.
- Identificación de las causas de variación en el proceso de elaboración de compuestos.
- Definición de los nuevos rangos de aceptación de los parámetros reométricos.
- Propuestas de alternativa(s) de mejora al proceso de elaboración de compuestos.
- Análisis de la relación costo-beneficio de la(s) alternativa(s) propuesta(s).

3.3. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Primeramente se buscaron y analizaron los instructivos, procedimientos y especificaciones relacionadas con el proceso de elaboración de compuestos de goma y los

equipos utilizados en cada una de sus etapas. Seguido, se realizaron recorridos por las áreas donde se llevan a cabo cada uno de los pasos de la elaboración de los compuestos de goma, esto con la finalidad de realizar una visualización directa del proceso y obtener una mejor comprensión de cada una de sus etapas. También se realizaron entrevistas no estructuradas con los operadores y técnicos que laboran directamente en el proceso de elaboración de compuestos, a partir de las cuales se logró aclarar dudas e interrogantes y se obtuvo información relevante sobre las posibles fallas del proceso.

Una vez comprendido el proceso de elaboración de los compuestos de goma, se determinaron las condiciones del proceso, es decir, se establecieron cuales son las entradas, etapas y salidas del proceso, se determinó que equipos se utilizaban y las características de cada uno de ellos, también se definieron que variables están directamente relacionadas con el proceso de producción de goma.

Seguidamente en el laboratorio físico químico de la empresa, se realizó la familiarización con los ensayos de liberación de compuestos. Esto se llevó a cabo analizando los procedimientos y especificaciones bajo los cuales se realizan dichos ensayos, además de los manuales de uso de los equipos necesarios para realizarlos. También se visualizó directamente la realización de cada uno de estos ensayos por parte del técnico de laboratorio encargado de los análisis de las gomas, el cual explicó detalladamente cada uno de los pasos a seguir para así proporcionar una mayor comprensión por parte de las autoras.

3.4. IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DE VARIACIÓN EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE COMPUESTOS

Se aplicó la técnica de tormenta de ideas para determinar todas las posibles causas generadoras de variabilidad de los parámetros reométricos de los compuestos de goma. Seguidamente se agruparon todas las causas resultantes de la lluvia de ideas mediante un diagrama de causa efecto. En este caso se organizaron siguiendo la técnica de las 6M, es decir se agruparon en seis categorías principales que fueron:

- **Maquinaria:** incluye aquellos factores que derivan de los equipos empleados en el proceso de preparado de compuestos.

- Mano de obra (hombre): incluye todos los factores de son responsabilidad de las personas involucradas con el proceso analizado.
- Método: involucra todos aquellos factores relacionados con la metodología de trabajo.
- Materia prima (material): incluye todos los insumos necesarios para la elaboración de los compuestos de goma y cuyas propiedades o características incidan en dicho proceso.
- Medio ambiente: comprende todo lo relacionado al ambiente físico.
- Medición (entorno): incluye todo lo relacionado a la medición de parámetros de calidad del producto.

Con el diagrama de causa efecto finalizado, se pudo visualizar de manera clara y rápida todas las causas que inciden en la variabilidad de los parámetros reométricos y la relación existente entre cada una de ellas. A partir del análisis de dicho diagrama, se seleccionó la causa más influyente, la cual resultó ser el *método* y posteriormente se utilizó la metodología de análisis de modo y efecto de falla (AMEF) para evaluar el grado de severidad de las subcausas agrupadas en esa categoría (Cortes, 2011).

El formato utilizado para la elaboración del análisis de modo y efecto de falla se representará en una Tabla como la 3.1. Se inició la elaboración del AMEF determinando los modos de falla de cada una de las subcausas analizadas, los efectos que producen cada uno de los modos de falla y las causas que los ocasionan, las cuales corresponden con las subcausas seleccionadas del análisis del diagrama de causa efecto.

**TABLA 3.1
ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA (AMEF)**

Empresa:				Área:					
Página:				Responsable:					
Etapa del proceso/ Función	Modo de Falla Potencial	Efecto(s) de Falla Potencial	Severidad	Causas(s) de Falla Potencial	Ocurrencia	Controles actuales	Detección	NPR	Acciones recomendadas

Se determinó la severidad de cada efecto de falla potencial según la escala establecida en la Tabla 3.2.

TABLA 3.2
CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE SEVERIDAD
SUGERIDOS PARA EL AMEF

Efecto	Severidad del efecto	Puntuación
Peligroso sin advertencia	Puede poner en peligro al operador. El incidente afecta la operación o la no conformidad segura del producto. El incidente ocurrirá sin previo aviso, es decir sin alarma.	10
Peligroso con advertencia	Puede poner en peligro al operador. El incidente afecta la operación o la no conformidad segura del producto. El incidente ocurrirá con previo aviso.	9
Muy alto	Interrupción importante a la cadena de producción. 100% del producto puede ser desechado. El producto es inoperable con pérdida de función primaria.	8
Alto	Interrupción de menor importancia a la cadena de producción. El producto puede ser clasificado y una porción desechada. El producto es operable, pero en un nivel reducido del funcionamiento.	7
Moderado	Interrupción de menor importancia a la cadena de producción. Una porción del producto puede ser desechado (no se clasifica). El producto es operable, pero un cierto parámetro de la conformidad es inoperable.	6
Bajo	Interrupción es de menor importancia a la cadena de producción. 100% del producto puede ser devuelto a trabajar. El producto es operable, pero algunos parámetros de la conformidad funcionan en un nivel reducido.	5
Muy bajo	Interrupción de menor importancia a la cadena de producción. El producto puede ser clasificado y una porción puede ser devuelta a trabajar. La mayoría de los clientes notan el defecto.	4
De menor importancia	Interrupción de menor importancia a la cadena de producción. Una porción del producto puede ser devuelto a trabajar en línea solamente hacia fuera de estación. Defecto notado por la mitad de los clientes.	3
Muy baja importancia	Interrupción de menor importancia a la cadena de producción. Una porción del producto puede ser devuelto a trabajar en línea solamente en estación. Los clientes exigentes notan el defecto.	2
Ninguno	El modo de falla no tiene ningún efecto.	1

Fuente: Del Bouno (2010).

Por su parte, para evaluar el grado de ocurrencia de una causa, es decir el grado de probabilidad de que una causa ocurra, se utilizó la escala establecida en la Tabla 3.3.

**TABLA 3.3
CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE LA OCURRENCIA
SUGERIDOS PARA EL AMEF**

Probabilidad del fracaso	Ocurrencia del efecto	Puntuación
Muy alto	El incidente es casi inevitable.	10 - 9
Alto	El incidente es repetitivo. Asociado generalmente a procesos similares que han fallado anteriormente.	8 - 7
Moderado	El incidente se presenta ocasionalmente. Asociado generalmente a los procesos similares previos que han experimentado incidentes ocasionales, pero o en proporciones importantes.	5 - 4
Bajo	Las fallas ocurren de manera aislada en procesos similares.	3
Muy bajo	La falla está asociada a procesos prácticamente idénticos.	2
Remota	La falla no es probable.	1

Fuente: Del Bouno (2010).

También se definieron los controles actuales utilizados para la prevención o detección de cada modo de falla al igual que el grado de detección de dichos controles, el cual se determinó según la escala establecida en la Tabla 3.4.

**TABLA 3.4
CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE DETECCIÓN
SUGERIDO PARA EL AMEF**

Detección	Probabilidad de detención	Puntuación
Casi imposible	Ninguno de los controles detecta el incidente, modo o causa.	10
Muy alejada	Los controles actuales tienen una probabilidad muy alejada de detectar modo o causa de falla.	9
Alejada	Los controles actuales tienen una probabilidad alejada de detectar modo o causa de falla.	8
Muy baja	Los controles actuales tiene una probabilidad muy baja de detectar modo o causa de falla.	7
Baja	Los controles actuales tienen una probabilidad baja de detectar modo o causa de falla.	6

TABLA 3.4
CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE DETECCIÓN
SUGERIDO PARA EL AMEF, CONTINUACIÓN

DetECCIÓN	Probabilidad de detención	Puntuación
Moderada	Los controles actuales tienen una probabilidad moderada de detectar modo o causa de falla.	5
Moderadamente alta	Los controles actuales tienen una probabilidad moderadamente alta de detectar modo o causa de falla.	4
Alta	Los controles actuales tienen una alta probabilidad muy alta de detectar modo o causa de falla.	3
Muy alta	Los controles actuales tienen una probabilidad muy alta de detectar modo o causa de falla.	2
Casi seguro	Los controles actuales detectan casi seguro el modo o la causa de falla.	1

Fuente: Del Bouno (2010).

Finalmente, se calculó el número prioritario de riesgo (NPR) como el producto matemático de la severidad, la ocurrencia y la detección (ecuación 2.3). Este valor permitió determinar que el pesado manual con su respectivo modo de falla es la principal causa generadora de variabilidad en los parámetros reométricos.

Posteriormente se procedió a confirmar la influencia del pesado manual y su precisión en la variación de los parámetros reométricos, para tal fin y debido a la gran cantidad de compuestos de goma elaborados por la empresa, se seleccionó una muestra de estos compuestos, sobre la cual se basó la investigación. Para la selección de dicha muestra se realizó primeramente un diagrama de Pareto con la finalidad de identificar y dar prioridad a los compuestos de mayor producción en la empresa. El Principio de Pareto afirma que en todo grupo de elementos o factores que contribuyen a un mismo efecto, unos pocos son responsables de la mayor parte de dicho efecto (Domenech, s.f.), en este caso se identificaron los compuestos de goma que representan la mayor parte de la producción de la empresa y los compuestos resultantes fueron: COMP1, COMP2, COMP3, COMP4, COMP5 y COMP6, seguidamente y en conjunto con los ingenieros encargados de programar la producción en la empresa, se analizó la factibilidad de trabajar con los seis compuestos, resultando posible trabajar y basar la investigación sólo en uno de ellos, escogiéndose al COMP1 por ser los compuestos de mayor producción.

Se auditó la fase de pesado de todos los ingredientes necesarios para la elaboración de 10 cargas del compuesto de goma COMP1, verificando que cada una de las cantidades medidas por

los operadores fueran las establecidas en las especificaciones del compuesto a preparar, seguidamente se hizo necesario observar el proceso de mezclado y molienda (sin auditar) para poder obtener la correcta trazabilidad de los ingredientes auditados en la fase de pesado. Al finalizar se tomaron tres muestras de cada carga elaborada y se llevaron al laboratorio físico químico donde fueron realizados los ensayos de liberación. Los valores obtenidos de dichos ensayos fueron comparados con resultados históricos y de esta manera se determinó la influencia de la precisión del pesado en las variaciones de los parámetros reométricos.

3.5. DEFINICIÓN DE LOS NUEVOS RANGOS DE ACEPTACIÓN DE LOS PARÁMETROS REOMÉTRICOS

Inicialmente se calcularon los valores de los parámetros reométricos M_{90} y $M_{t_s,2}$ (denominación dada al torque al tiempo $t_s,2$) de las cargas del COMP1 auditadas según las ecuaciones (2.2) y (2.1) respectivamente. Seguidamente mediante el software estadístico Statgraphics (versión 16.1.02) se construyeron gráficos de control de los parámetros t_{90} , $t_{s,2}$, M_{90} y $M_{t_s,2}$ mediante los cuales se pudo comprobar la estabilidad del proceso y la factibilidad de utilizar dichos parámetros como base para la elaboración de las puertas que limitaran el proceso de aceptación de compuestos.

Para la determinación del rango de aceptación de los parámetros reométricos se utilizó el software Daisy, el cual es un componente del software Eclipse y es mediante el cual se representan los resultados de los ensayos reométricos aplicados en la empresa. Se definieron rangos de aceptación para el torque (M_{90} y $M_{t_s,2}$) en los tiempos t_{90} y $t_{s,2}$ respectivamente, con un rango de tolerancia de $\pm 15\%$ según lo establece el procedimiento interno de control de laboratorio físico químico la empresa (PQT-QT-06-01) (Ochoa, 2007).

Los valores máximos y mínimos de M_{90} y $M_{t_s,2}$ fueron introducidos junto con los valores promedio de t_{90} y $t_{s,2}$ al software, mediante la opción “ver Límites” y posteriormente “Crear nueva versión” y finalmente quedo una establecida una nueva versión de rangos de aceptación para el COMP1 según la cual el encargado de analizar los compuestos de goma poda definir rápidamente cuales compuestos cumplen o no con las especificaciones de la empresa.

3.6. PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS DE MEJORA AL PROCESO DE ELABORACIÓN DE COMPUESTOS

Según el análisis de la situación actual de la empresa y la determinación de las causas que influyen en la variación de los parámetros reométricos se procedió a proponer alternativas de mejora a las causas que mayor influencia tienen en la variación de los parámetros reométricos.

Las propuestas planteadas fueron: implementación de la metodología del Lean Manufacturing, automatización del tiempo de mezclado, automatización del pesado y realización de una pre-mezcla de compuestos químicos. Cada una de estas alternativas de mejora fue brevemente explicada y posteriormente a través de una matriz cualitativa se evaluó que tan ventajosa y desventajosa resultaba cada una de ellas. Las propuestas seleccionadas como más ventajosas fueron la implementación de la metodología de Lean Manufacturing y la automatización de un sistema de pesado automático.

Para la propuesta de implementar la metodología de Lean Manufacturing, se establecieron las etapas o pasos a seguir para poderla llevar a cabo exitosamente, además se enfocaron los beneficios que se podrán obtener al implementar la propuesta.

Por su parte la propuesta de automatización de sistema de pesado fue dividida en tres secciones, pesado de rellenos, pesado de aceites y pesado de químicos. Para el pesado de rellenos primeramente se analizaron cuantos tipos de rellenos son consumidos en la empresa y en cuanta cantidad, tomando como base los registros de consumo de materia prima de los meses de marzo a agosto del año 2010. La propuesta de automatización se enfocó a los rellenos mas consumidos para justificar de esta manera la inversión que se realizaría. También se definieron los equipos necesarios, los cuales se dimensionaron según las necesidades de la empresa y según la funcionalidad que tendrían en el proceso, además se describió como funcionaría el sistema de pesaje propuesto. En cuanto al pesado de aceite se definieron los aceites más consumidos de acuerdo a los registros del mes de marzo al mes de agosto de 2010. Para el diseño de los equipos necesarios para la automatización del proceso se tomó como referencia el sistema existente en la empresa del aceite más utilizado, además se describió el funcionamiento del sistema de pesado propuesto. Para el sistema de pesado de compuestos químicos debido a la gran cantidad de compuestos, se propuso la aplicación de un software que facilite al operador realizar el pesado de los ingredientes de manera precisa.

3.7. ESTIMAR LA RELACIÓN COSTO-BENEFICIO DE LA(S) ALTERNATIVA(S) PROPUESTAS

Se calculó la relación costo beneficio para cada una de las alternativas seleccionadas y diseñadas, para ellos inicialmente se definieron los costos iniciales, es decir la inversión de dinero necesaria por parte de la empresa para la aplicación de cada una de las propuestas. Dichos costos fueron obtenidos a partir de páginas web de proveedores y empresas de equipos industriales. Además para la selección de los equipos necesarios se contó con el asesoramiento de especialistas en: pesaje y fabricación de balanzas, control y automatización y montaje y mantenimiento de obras industriales de distintos proveedores de la empresa.

Seguidamente se calcularon los costos necesarios para que cada una de las propuestas una vez instaladas continúe funcionando, es decir se calcularon los costos operacionales. Finalmente se estimaron los beneficios obtenidos al aplicar las alternativas propuestas, dichos beneficios fueron cuantificados por el departamento de finanzas de la empresa. La relación costo beneficio fue calculada mediante la ecuación 2.4 obteniéndose que en ambas alternativas el beneficio es mayor que el costo de implementación.

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIONES

En este capítulo se presenta el análisis y las discusiones de los resultados obtenidos en el desarrollo de la investigación, una vez que fue aplicada la metodología propuesta para el cumplimiento de los objetivos.

4.1. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Una vez analizados los instructivos, procedimientos, especificaciones y recorridos realizados al área de elaboración de compuestos, se pudo determinar que el proceso inicia desde la programación, la cual es realizada de forma diaria y en donde se indican el código de compuestos a producir por turno (productivo y no productivo) y la cantidad de cargas a realizar de los mismos.

Con la respectiva cédula de producción se realiza el pesado de los pigmentos cuya responsabilidad corresponde al pesador de pigmentos, se utiliza una bolsa plástica transparente para realizar el pesado de los componentes necesitados de cada carga a elaborar y el peso de dicha bolsa debe ser descontado del peso total de los compuestos químicos, cada una de las bolsas es identificada con el tipo de compuesto de goma para la cual será utilizada.

La preparación de los polímeros (gomas) es responsabilidad del pesador de goma, las gommas utilizadas vienen en forma de panela y el pesador se encarga de picar y pesar las gommas necesarias e identificarlas con el código del compuesto a elaborar. La preparación de rellenos (negro de humo y cargas inorgánicas) igualmente es un pesado manual y se realiza en bolsas de papel (el peso de la bolsa es descontado).

La operación de mezclado es realizada por el operador del Banbury (banburista) y es el encargado de la búsqueda de los ingredientes necesarios (gommas o polímeros, rellenos, aceites y pigmentos o compuestos químicos), a su vez realiza el pesado de los aceites y controla el tiempo de mezclado de cada una de las cargas (Ochoa, 2007).

El molinero es el responsable de bajar la goma del molino y hacer los cortes respectivos, en esta etapa el molinero toma una muestra de la carga de aproximadamente 10 cm x 10 cm para ser enviada al laboratorio físico químico. Seguidamente el compuesto de goma es enfriado en el

tren de enfriamiento (batch off) y almacenado en paletas hasta su liberación, de allí puede ser utilizado en el área para la cual fue fabricado.

En cuanto a los equipos utilizados durante la elaboración de compuestos de goma se encuentran aquellos involucrados al proceso de fabricación (balanzas, Banbury, molino, tren de enfriamiento) y los relacionados con los ensayos practicados para la liberación de compuestos en el laboratorio (reómetro, prensa, durómetro shore y balanza). En la Tabla 4.1 se resumen las características de dichos equipos.

TABLA 4.1
CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS DURANTE LA ELABORACIÓN DE
COMPUESTOS DE GOMA

Nombre del equipo	Banbury	
Función	Mezclar los pigmentos, rellenos, polímeros y los aceites para crear los compuestos de goma	
Marca – Modelo	Guix – 45	
Velocidad de trabajo	Alta 45,3 rpm Baja 38,5 rpm	
Presión del martillo	(90 ± 10) psi	
Capacidad	50 l	
Nombre del equipo	Molino	
Función	Continuar la homogenización realizada en el mezclador interno	
Marca	COMERIO	
Temperatura del agua de enfriamiento	(18 – 20) °C	
Nombre del equipo	Balanza S-010	
Función	Pesado de pigmentos o químicos	
Marca- Modelo	Pesacoa – MX-SS	
Rango	(0 – 10000) g	
Apreciación	0,1 g	

TABLA 4.1
CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS DURANTE LA ELABORACIÓN DE
COMPUESTOS DE GOMA, CONTINUACIÓN

Nombre del equipo	Balanza S-001	
Función	Pesado de polímeros (goma)	
Marca- Modelo	Pesacoa- MX-SSECHOS	
Rango	(0 – 100) kg	
Apreciación	0,1 kg	
Nombre del equipo	Balanza S-002	
Función	Pesado de rellenos (negro de humo, material inorgánico)	
Marca- Modelo	Pesacoa- MX-SSECHOS	
Rango	(0 – 100) kg	
Apreciación	0,1 kg	
Nombre del equipo	Balanza W-002	
Función	Pesado de los aceites	
Marca- Modelo	Pesacoa - AA-1	
Rango	(0 – 15) kg	
Apreciación	0,05 kg	
Nombre del equipo	Tren de enfriamiento (batch off)	
Función	Enfriar la carga del compuesto de goma y aplicar el lubricante para facilitar el almacenamiento de estas	
Marca	Fabricado por departamento de mantenimiento Indomax C.A.	

Al concluir todo el proceso de mezclado de una carga en el Banbury y la homogenización en el molino, una muestra del compuesto es enviada al laboratorio donde se realizan los respectivos ensayos de liberación, para observar si el compuesto dispone de la calidad necesaria para ser usada en procesos posteriores, como lo son la dureza Shore A, la gravedad específica y la reometría, los valores correspondientes a los dos primeros se encuentran dentro de los rangos que cumplen con las necesidades de la empresa, mientras que las curvas reométricas presentan desviaciones entre cargas realizadas en un mismo turno y bajo las mismas condiciones. Los equipos utilizados para la realización de los tres ensayos se presentan en la Tabla 4.2:

TABLA 4.2
CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS DE LIBERACIÓN DE LOS COMPUESTOS DE GOMA

Nombre del equipo	Reómetro 100	
Función	Controlar las características de vulcanización de los compuestos	
Marca – Modelo	MONSANTO R-100	
Tipo de tornillo/Grado	Oscilante/1°	
Norma del ensayo	ASTM D 2084-91	
Nombre del equipo	Prensa	
Función	Vulcanizar las muestras para realizar el ensayo de dureza	
Marca	A/S Johannessen & Lund Kobenhavn	
Presión de los platos	20 TON	
Tiempo de vulcanizado	Dependiendo del compuesto	
Nombre del equipo	Balanza N° 64	
Función	Pesar las muestras de compuestos de goma	
Marca- Modelo	Metler – 80	
Rango	(0 – 160) g	
Apreciación	0,001 g	

TABLA 4.2
CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS DE LIBERACIÓN DE LOS COMPUESTOS DE GOMA, CONTINUACIÓN

Nombre del equipo	Durómetro Shore	
Función	Medir la deformación plástica y la capacidad de penetración	
Marca- Tipo	Hardness – A-2	
Rango	(0 – 100) Shore A	
Apreciación	1 ° Shore A	
Norma del ensayo	ASTM D 2240-86	

Las desviaciones existentes entre los parámetros reométricos de un mismo compuesto se pueden observar en la Figura 4.1, donde cada gráfico representa las diferentes curvas de cada una de las cargas realizadas durante el mes de junio del 2010 de dos compuestos diferentes, realizados en el laboratorio físico-químico en un reómetro MONSANTO R-100 bajo la norma ASTM D 2084-91, observándose la desviación que existe entre cada una de estas.

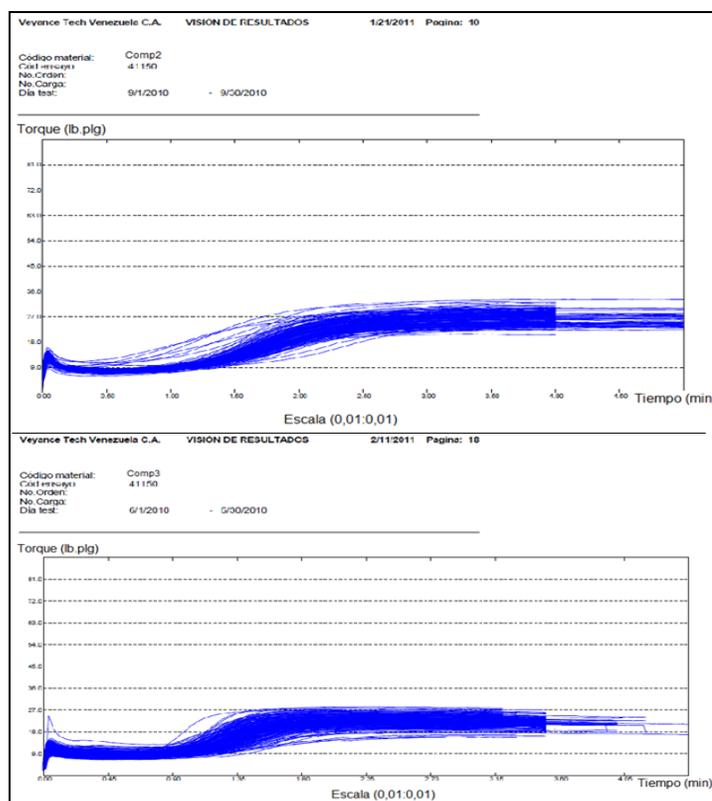


Figura 4.1. Curvas de vulcanización de dos compuestos de gomas diferentes durante el mes de junio del 2010.

En dicha figura se puede observar cómo dos compuestos de goma poseen desviaciones entre sus curvas reométricas observándose que cada carga de un mismo compuesto de goma presenta aceleraciones diferentes para su vulcanización lo que implica que el compuesto que será utilizado para mangueras y correas aporte una propiedad diferente que la necesitada para el respectivo producto.

Una vez realizado el diagnóstico del proceso se puede resumir la elaboración de compuestos de goma como un proceso que depende de las variables relacionadas con la materia prima, el departamento de producción, la mano de obra y los ensayos de liberación para obtener un producto terminado listo para ser usado para la fabricación de correas y mangueras, ver Tabla 4.3. y dichas variables conjuntamente con las etapas utilizadas actualmente son las necesarias para la elaboración de compuestos de goma, cada variable a su vez está relacionada con las entradas, las etapas y las salidas del proceso de elaboración de compuestos.

TABLA 4.3
VARIABLES, ENTRADAS, ETAPAS Y SALIDAS INVOLUCRADAS EN LA ELABORACIÓN DE COMPUESTOS DE GOMAS.

		Entrada		Etapas		Salida
Variable relacionada con el proceso	Materia prima	Pigmentos Rellenos Polímeros Aceites	Mano de obra (proceso manual)	Pesado de pigmentos Pesado de relleno Pesado de polímeros Pesado de aceite Mezclado	Ensayos de liberación	Dureza shore Gravedad específica Reometría
	Producción	Cédula de producción Tarjeta de pesado Tarjeta de mezclado		Molienda Enfriamiento Almacenamiento		Producto terminado

4.2. IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DE VARIACIÓN EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE COMPUESTOS

Un estudio exhaustivo de todo el proceso de elaboración de compuestos de goma permitió determinar mediante una tormenta de ideas todas las causas influyentes en el mismo, a partir del uso de un diagrama causa-efecto se logró agrupar dichas causas obteniéndose una clasificación de aquellas variables más importantes (ver Figura 4.2).

Todos los factores analizados se encuentran agrupados en las categorías presentadas en 4.2.1 a 4.2.6:

4.2.1. MATERIA PRIMA

En esta sección se analizó todo lo relacionado con lo necesario para la fabricación de compuestos de goma, obteniéndose que lo más importante es que las materias primas adquiridas cumplan con sus respectivas especificaciones y de esta manera cumplan con las propiedades finales de los compuestos de goma elaborados a partir de ellas.

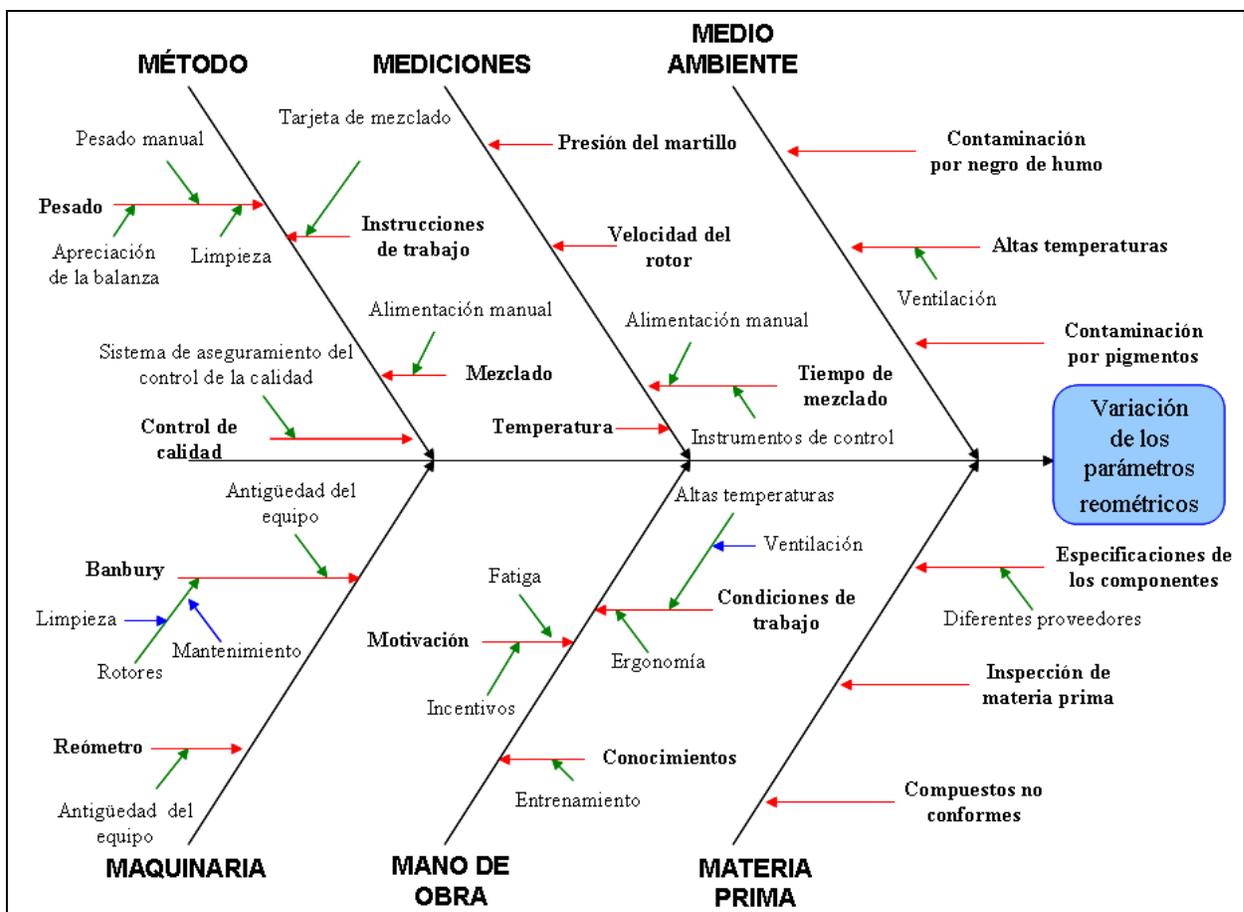


Figura 4.2. Diagrama causa – efecto del proceso de elaboración de compuestos de goma.

Un componente importante entre la materia prima usada para la obtención de compuestos de goma es el caucho natural y debido a su escasez a nivel mundial (Diario de negocios de Chile, 2010), se deben realizar cambios frecuentes de proveedores, pero aunque estos sean cambiados

de acuerdo a las necesidades de la empresa todos estos deben cumplir con las características establecidas por aseguramiento de calidad.

Del análisis realizado se pudo determinar que en el proceso de recepción de materia prima se verifica que estas cumplan con las especificaciones de la empresa para poder ser recibidas, además las variaciones entre los parámetros reométricos se dan incluso en cargas de un mismo compuesto realizadas el mismo día, es decir con materia prima de un mismo lote, por lo cual la influencia de esta categoría sobre la variabilidad de los parámetros reométricos será poco considerada.

4.2.2. MANO DE OBRA

El área de elaboración de compuestos depende en gran proporción de la mano de obra ya que el proceso se opera de forma manual, desde el momento en que se pesa cada uno de los compuestos hasta el tiempo de mezclado de todos los ingredientes, por lo que la habilidad de los operadores juega un gran papel.

Este factor incluye las causas atribuidas al personal de elaboración de compuestos de goma, como lo son su experiencia en el área y su compromiso con el trabajo realizado, debido a que representa un factor muy importante en el desempeño laboral del individuo y en la calidad de los productos obtenidos, ya que de estos depende el cumplimiento de los pasos y secuencias de forma rigurosa de acuerdo a los estándares requeridos. El objetivo principal es mantener las condiciones del proceso bajo las especificaciones, por lo que el cumplimiento de las formulaciones debe ser un gran punto de análisis.

El conocimiento que debe poseer tanto el personal del pesado como de mezclado en relación con el proceso de elaboración de compuestos es de gran importancia debido a cada componente tiene una influencia directa en los compuestos de goma.

4.2.3. MAQUINARIA

En esta categoría se tiene las condiciones relacionadas con los equipos implicados en la preparación de compuestos de goma; la homogenización de cada uno de los componentes se da en el mezclador interno tipo Banbury y las variables influyentes en este proceso de

homogenización son la temperatura de operación, la presión de trabajo del martillo y las condiciones de la cámara de mezclado y los rotores, estos últimos son los que permiten la dispersión de los elementos, por lo que su buen mantenimiento minimizará el desgaste de estas piezas, lo que influye directamente en que se obtenga una mezcla más homogénea, otro factor importante es que dichos rotores deben limpiarse para aquellas cargas que no sean compatibles (por los componentes usados o por el color de los compuestos) y para evitar la contaminación de compuestos de diferentes tipos, durante el diagnóstico se observó que se realizaron cargas de limpieza las cuales consisten en una limpieza con goma natural y talco, observándose aun así la existencia de variación en las curvas reométricas.

Las variaciones reométricas se observan incluso al analizar cargas elaboradas en cualquiera de los dos mezcladores Banbury existentes en la empresa, uno de los cuales fue reconstruido y puesto en funcionamiento hace menos de un año, por lo cual se puede estimar que el mezclador no es lo más influyente en las variaciones reométricas.

4.2.4. MÉTODO

Esta sección engloba los procedimientos realizados por la empresa relacionados con la elaboración de compuestos, entre ellos se encuentran los planes de control donde se especifica la metodología empleada por cada trabajador de acuerdo a sus responsabilidades. El orden de pesado, de adición y el tiempo de mezcla de cada uno de los componentes son los factores establecidos por la empresa para mantener un proceso estándar, cabe destacar que el cambio de dichos factores no será considerado en esta investigación debido a que solo pueden ser modificadas a nivel corporativo, sin embargo el método manual no es el más recomendado para este tipo de procedimientos donde cada componente (acelerantes, vulcanizantes, retardadores, rellenos entre otros) aporta características específicas y la variación en la cantidad de cualquiera de los mismos genera compuestos de gomas de propiedades diferentes.

El aseguramiento de calidad durante las etapas de pesado y mezclado es bien importante ya que el proceso está diseñado para detectar fallas solamente al momento de realizar las pruebas reométricas (finalizando el proceso de mezclado), siendo lo mejor un sistema capaz de detectar errores en cada una de sus etapas.

El cumplimiento de los planes de control y de las tarjetas de pesado son responsabilidad de los operadores, por lo que la metodología usada actualmente (proceso manual) es considerada como una causa de variación.

4.2.5. MEDICIONES

Para asegurar la uniformidad de cada carga se debe efectuar la medición de las variables influyentes en el proceso, como lo son la presión del martillo, la temperatura de mezcla, la velocidad de los rotores, el peso de cada componente, el tiempo de mezclado y por último los ensayos de liberación practicados a los compuestos; es importante que en el proceso se realice una medición rigurosa de variables, ya que de ello depende el éxito de los resultados obtenidos, por lo que esta categoría es considerada como posible causa de variación.

La temperatura de la cámara es una variable que actúa como ayudante de proceso y es sensada y controlada como medida de seguridad para evitar alcanzar el punto de ignición de la mezcla dentro de la cámara de mezclado del Banbury, por lo que no será considerada durante la investigación, en cuanto a la presión del martillo es un valor constante para cualquier tipo de compuesto de goma y su valor es de (90 ± 10) psi, la velocidad del rotor posee solamente dos modos (velocidad alta o baja), en cuanto al tiempo de mezclado es manipulado por los operarios y es una de las variables más influyentes ya que está vinculada a la homogeneidad de las mezclas.

4.2.6. MEDIO AMBIENTE

Este aspecto engloba todo lo relativo al aspecto físico presente en el área como lo son la contaminación por polvos provenientes del pesado de negro de humo, el pesado de pigmentos y las altas temperaturas del área, estos factores pueden influir en las propiedades de los compuestos de goma ya que al estar contaminados alteran las características de los mismos. La incidencia de esta categoría no será considerada en la investigación ya que al mejorar las etapas de pesado y mezclado esta causa puede ser minimizada.

Del análisis realizado de cada una de las variables involucradas en el proceso se tiene que las categorías con mayor influencia son la relacionada con el método utilizado y las mediciones, esta última tiene como mayor variable influyente el tiempo de mezclado y a su vez esta es

considerada también como una subcausa de la metodología usada, por tal motivo el factor crítico durante el proceso de elaboración de compuesto es el método que se utiliza actualmente. Para la determinación de los factores de mayor riesgo se utilizó el método analítico del AMEF (Análisis de Modo y Efecto en Falla), basándose en la probabilidad de severidad, ocurrencia y detección de un suceso, en la Tabla 4.4 se encuentra la información obtenida del análisis.

El proceso de pesado manual posee el mayor número prioritario de riesgo (NPR), lo que implica que gran parte de la falla del proceso está en dicha etapa, ocasionando que cada carga posea propiedades diferentes y por ende las curvas de vulcanización sean diferentes. Cabe destacar que esta falla es muy frecuente debido a que no existe un sistema de pesado a prueba de errores, por lo que es necesaria la implementación de un sistema donde el peso de cada componente sea más preciso.

Aunque hay factores como la alimentación manual y el sistema actual de aseguramiento de calidad que poseen también un NPR alto, estos no serán tan considerados en la investigación como el proceso de pesado manual debido a que la mejora de la etapa de pesado vendrá de la mano de una mejora en cuanto al control de calidad ya que el sistema se haría más robusto, se obtendrían controles de seguridad más rigurosos y mejoraría el ambiente de trabajo. Por estas razones y por ser el pesado el punto de partida del proceso de elaboración de compuestos, las propuestas serán enfocadas a mejorar principalmente esta área.

La confirmación de la influencia del pesado en el proceso y en las curvas reométricas se realizó verificando que todos los pesados necesarios para la elaboración de los compuestos de goma se realizaran de acuerdo a las especificaciones de la empresa y de esta manera comparar como son los reogramas para compuestos de gomas donde el pesado no recibe ninguna atención versus algunas corridas donde el peso si fue verificado.

Para la selección de los compuestos de goma sobre los cuales se basaría la investigación, se hizo necesario determinar la producción promedio mensual de cada uno de los compuestos de goma elaborados en la empresa, para esto se utilizaron los registros de producción mensual de seis meses, los cuales fueron de marzo a agosto del año 2010, estos valores junto con el promedio mensual obtenido para cada compuesto se encuentran reflejados en la Tabla B.1 (ver apéndice B).

En la mencionada tabla se pueden observar 30 diferentes compuestos de goma a pesar de que la empresa elabora alrededor de 80 diferentes tipos de compuestos, esto se debe a que mucho

TABLA 4.4
ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA

Empresa: Veyance Technologies de Venezuela				Área: Elaboración de compuestos					
Página: 1 de 2				Responsable: Especialista en preparado de compuestos.					
Etapas del proceso/ Función	Modo de falla potencial	Efecto(s) de falla potencial	Severidad	Causas(s) de falla potencial	Ocurrencia	Controles actuales	Detección	NPR	Acciones recomendadas
Pesado de compuestos	Falta de precisión en cuanto al peso requerido en la especificación.	Cada carga posea propiedades reométricas con diferencias significativas	9	Proceso de pesado manual	8	Inspección visual (tarjeta de pesado)	8	576	Cambio de la metodología empleada
	Las bolsas con pigmentos y/o rellenos se contaminen con componentes ajenos al compuesto de goma a elaborar	Modificación de las propiedades de la carga por contaminación	5	Apreciación de las balanzas	3	Inspección visual	9	216	Reemplazo de las balanzas por una de mejor apreciación
				Orden y limpieza	6	Inspección visual	9	270	Implicar a los operadores con la metodología de las 5 S
Mezclado	Incumplimiento en la secuencia y tiempo de mezclado de acuerdo a la especificación.	Las cargas no posean la misma uniformidad debido a que no tengan la misma homogenización	9	Alimentación manual	7	Inspección visual (tarjeta de mezclado)	7	441	Cambio de la metodología empleada (manual → automática)
				Diseño de la tarjeta de mezclado	3	No existe	5	135	Actualización de las tarjetas de mezclado

TABLA 4.4
ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA, CONTINUACIÓN

Empresa: Veyance Technologies de Venezuela					Área: Elaboración de Compuestos				
Página: 2 de 2					Responsable: Especialista en preparado de compuestos.				
Etapas del proceso/ Función	Modo de falla potencial	Efecto(s) de falla potencial	Severidad	Causas(s) de falla potencial	Ocurrencia	Controles actuales	Detección	NPR	Acciones recomendadas
Control de calidad	Incumplimiento de los procedimientos o especificaciones en las etapas de pesado y mezclado.	Compuesto de goma fuera de las especificaciones.	5	Ausencia de aseguramiento de control de calidad durante la etapa de pesado y mezclado	9	Inspección visual (tarjeta de pesado y mezclado)	8	360	Implementación de un sistema a prueba de errores

de los compuestos de goma elaborados en la empresa no se producen frecuentemente porque corresponden a pedidos especiales.

El principio de Pareto afirma que *“La mayor parte de cualquier cosa proviene del la menor parte de otra”* (Domenech, s.f.), en este caso la finalidad de elaborar un diagrama de Pareto fue determinar cuáles de todos los compuestos de goma elaborados entre los meses de marzo a agosto del año 2010 representan la mayor parte de toda la producción promedio mensual en dicho periodo, este diagrama se muestra en la Figura 4.3, en la cual se puede observar que la producción de los compuestos COMP1, COMP2, COMP3, COMP4, COMP5 y COMP6 representan el 80% del total de la producción mensual de la empresa, significando esto que el resto de los compuestos elaborados por la empresa representaban solo el 20% del total de la producción promedio mensual.

El hecho de tomar seis diferentes compuestos de goma como muestra para el desarrollo de la investigación, no fue posible a la hora de planificar auditar la elaboración de 10 cargas de cada uno de dichos compuesto. La primera y mayor de las dificultades se presentó debido a la estructura de programación de la producción, la cual se encuentra dividida en tres turnos y en las diferentes áreas que son pesado y mezclado, por ejemplo: las cargas mezcladas en el primer turno son pesadas al final del segundo turno del día anterior, las mezcladas en el segundo turno son pesadas en el entre el primer y segundo turno del día anterior y las mezcladas en el tercer turno son pesadas en el primer turno del mismo día. Dichos horarios se complicaban por la restricción de que sólo podíamos permanecer en las instalaciones de la compañía entre las horas de 7.30 am y 4.30 pm. Añadido a esto, se agregó otra dificultad debido a la escasez de algunas materias primas y las dificultades para importar que atraviesa la empresa, lo cual ocasionó en varias oportunidades que se dejaran de producir algunos de los compuestos de mayor producción.

Debido a dichas dificultades, y en conjunto con los ingenieros encargados de programar la producción se llegó al acuerdo de tomar como tamaño de la muestra solo un compuesto de goma, el cual se encargaron de programar en un horario accesible para poder auditar. El compuesto seleccionado fue el COMP1 por ser de mayor producción promedio mensual.

De los ensayos de liberación realizados en el laboratorio físico químico, el ensayo reométrico proporciona parámetros muy importantes a la hora de evaluar la vulcanización de un compuesto de goma (Ochoa, 2007). En un estado ideal varias cargas de un mismo compuesto de goma deberían proporcionar curvas reométricas (reogramas) iguales y aunque esta situación es

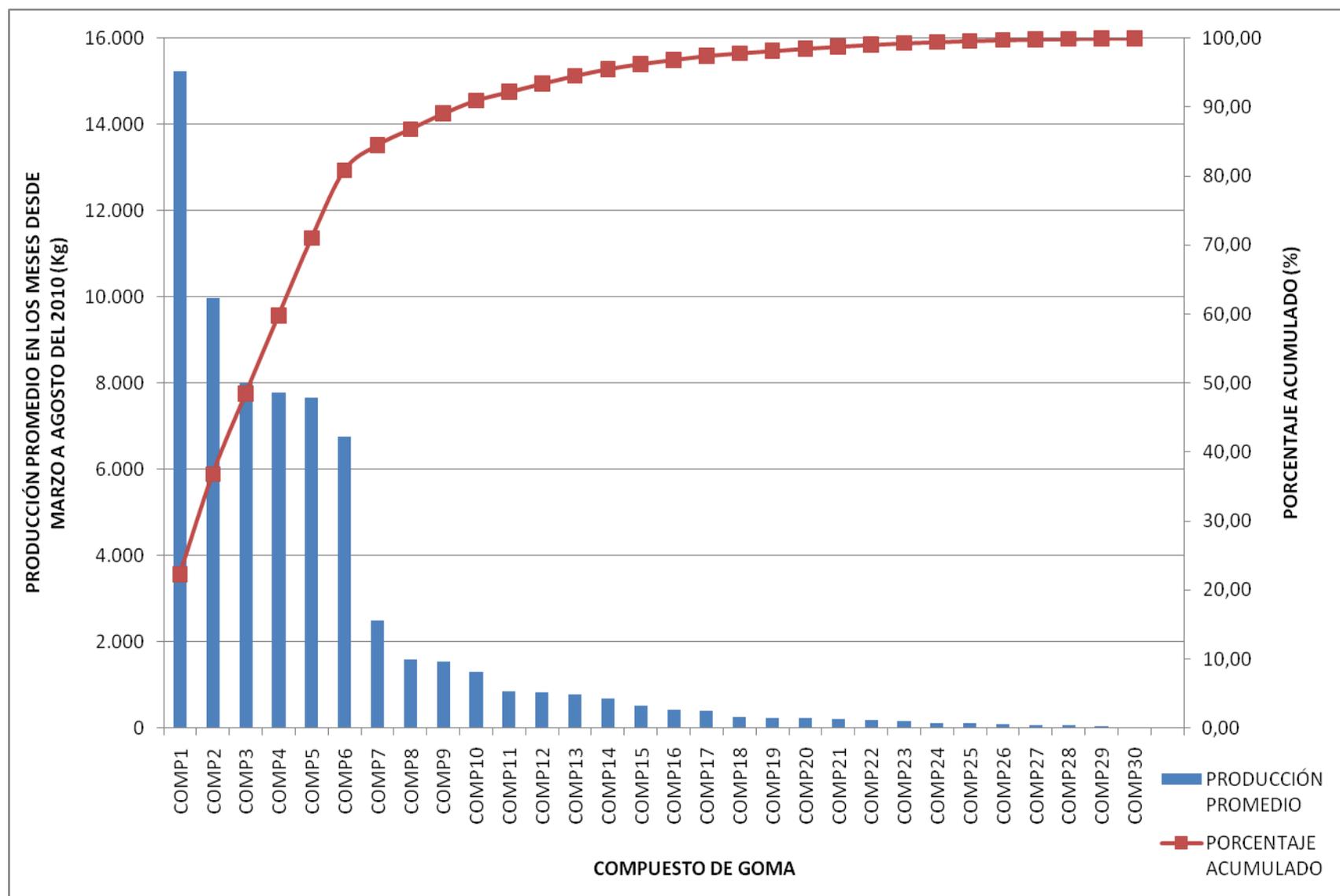


Figura 4.3. Diagrama de Pareto de la producción promedio mensual de los compuestos de goma en los meses de marzo a agosto del 2010.

casi imposible de obtener debido a las muchas variables y condiciones que inciden en la elaboración de una carga, el propósito es que las desviaciones existentes entre cada una de las curvas de un mismo compuesto sean lo menor posible.

La Figura 4.4 muestra las desviaciones existentes entre las curvas reométricas de todas las cargas del COMP1 elaboradas en el mes de agosto, en la mencionada figura se puede observar que las variaciones son significativas y corresponden incluso al tiempo de duración del ensayo, el cual como se puede observar no es siempre el mismo, por lo que debe especificarse las condiciones de los ensayos. Por su parte la Figura 4.5 muestra que las desviaciones entre estas curvas persisten incluso en cargas elaboradas en forma consecutiva y en un mismo turno.

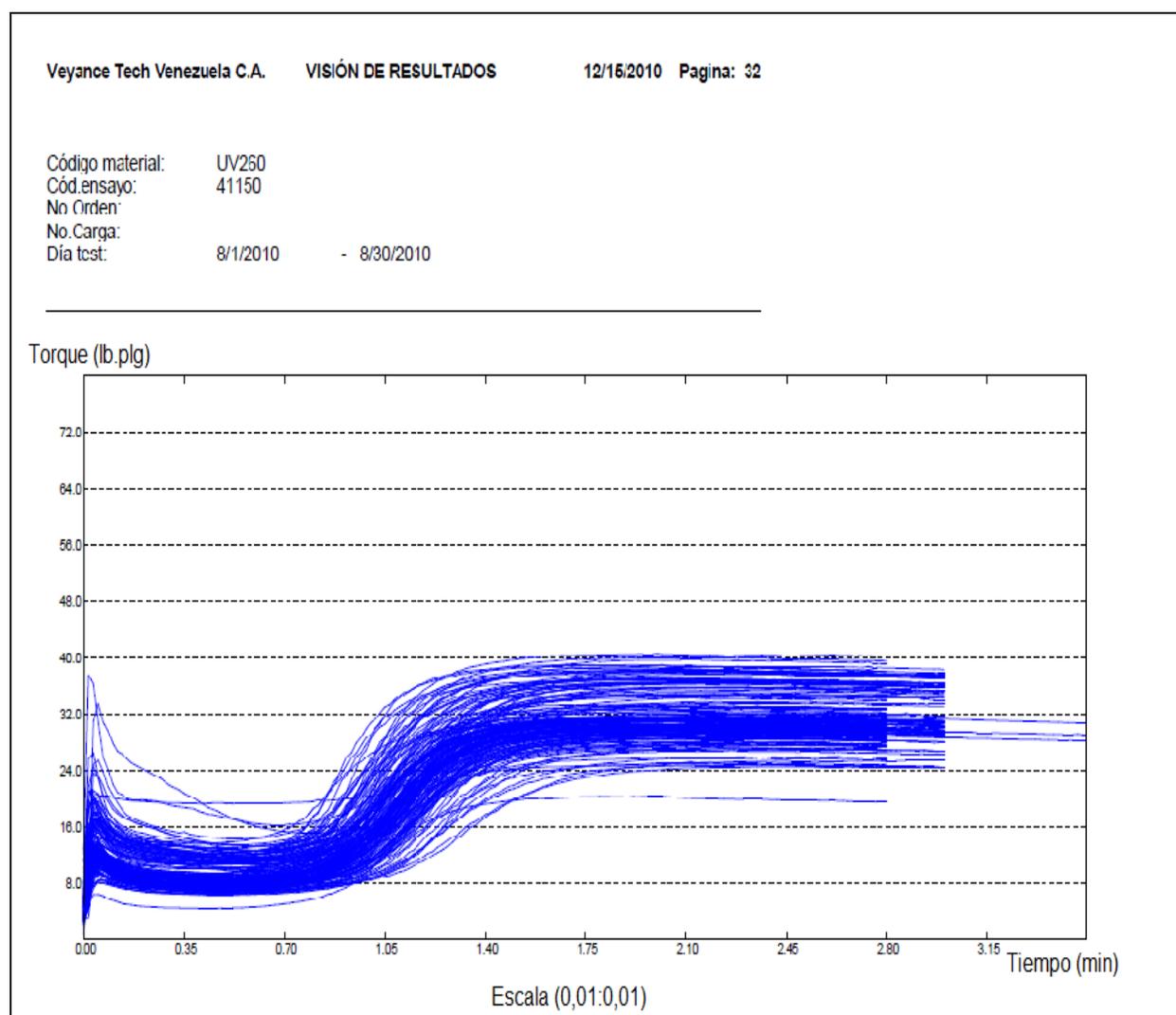


Figura 4.4. Gráficas reométricas del COMP1 durante el mes de agosto del año 2010.

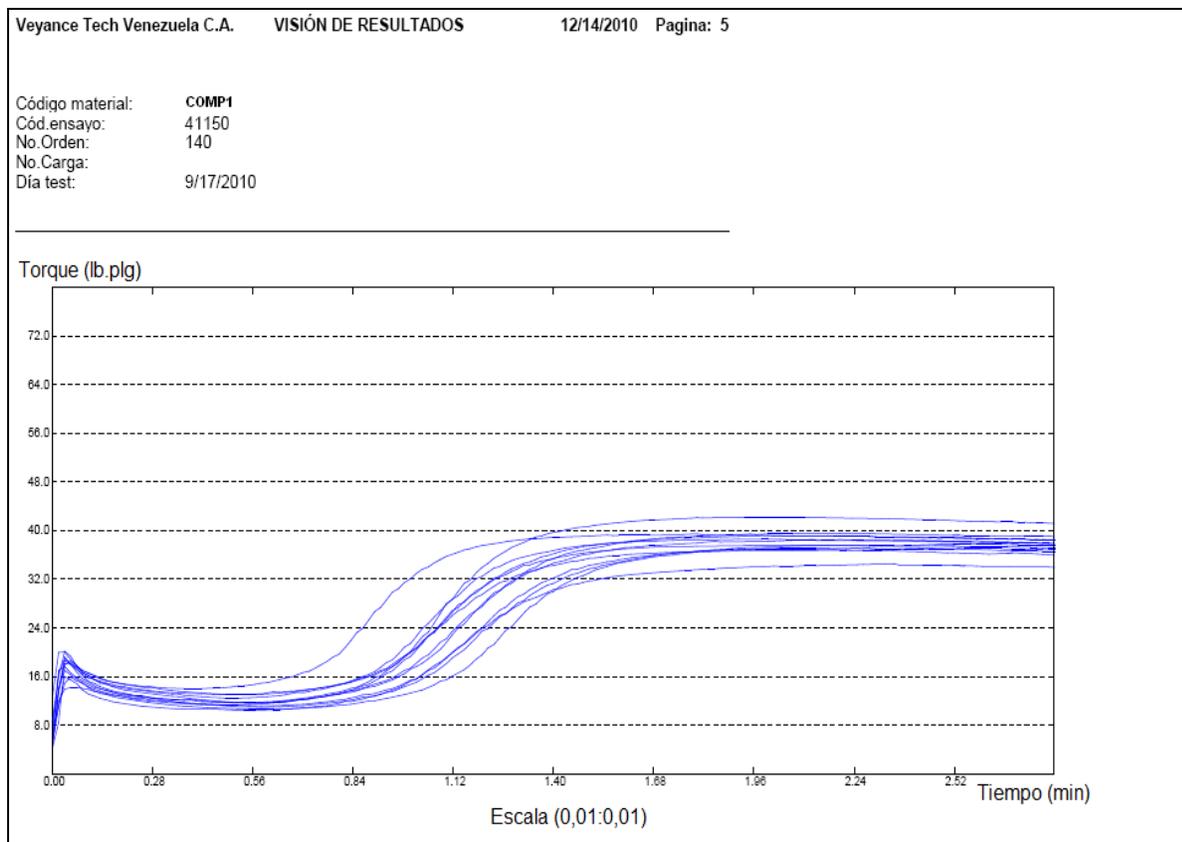


Figura 4.5. Gráficas reométricas de trece (13) cargas del COMP1 elaboradas en forma consecutiva y en un mismo turno.

Para verificar la hipótesis de que estas desviaciones son producidas en mayor parte por el proceso de pesado y los respectivos errores que acarrea el hecho de que sea manual, se auditó en la elaboración de 10 cargas del COMP1 el proceso de pesado de rellenos, compuestos químicos, gomas y aceites, corroborando que se cumplieran las respectivas especificaciones de pesado (tarjetas de pesado). Para cada una de las diez cargas elaboradas se tomaron tres muestras para ser llevadas al laboratorio físico químico y realizar los respectivos ensayos de liberación por triplicado.

Al realizar el ensayo reométrico a las cargas de COMP1 auditadas, se pudo observar (Figura 4.6) una gran diferencia en la dispersión de las curvas obtenidas, dicha dispersión resultó ser mucho menor a las que se venían presentando en cargas no auditadas, lo que indica que la precisión en el pesado de los ingredientes si es un factor muy influyente en los resultados reométricos.

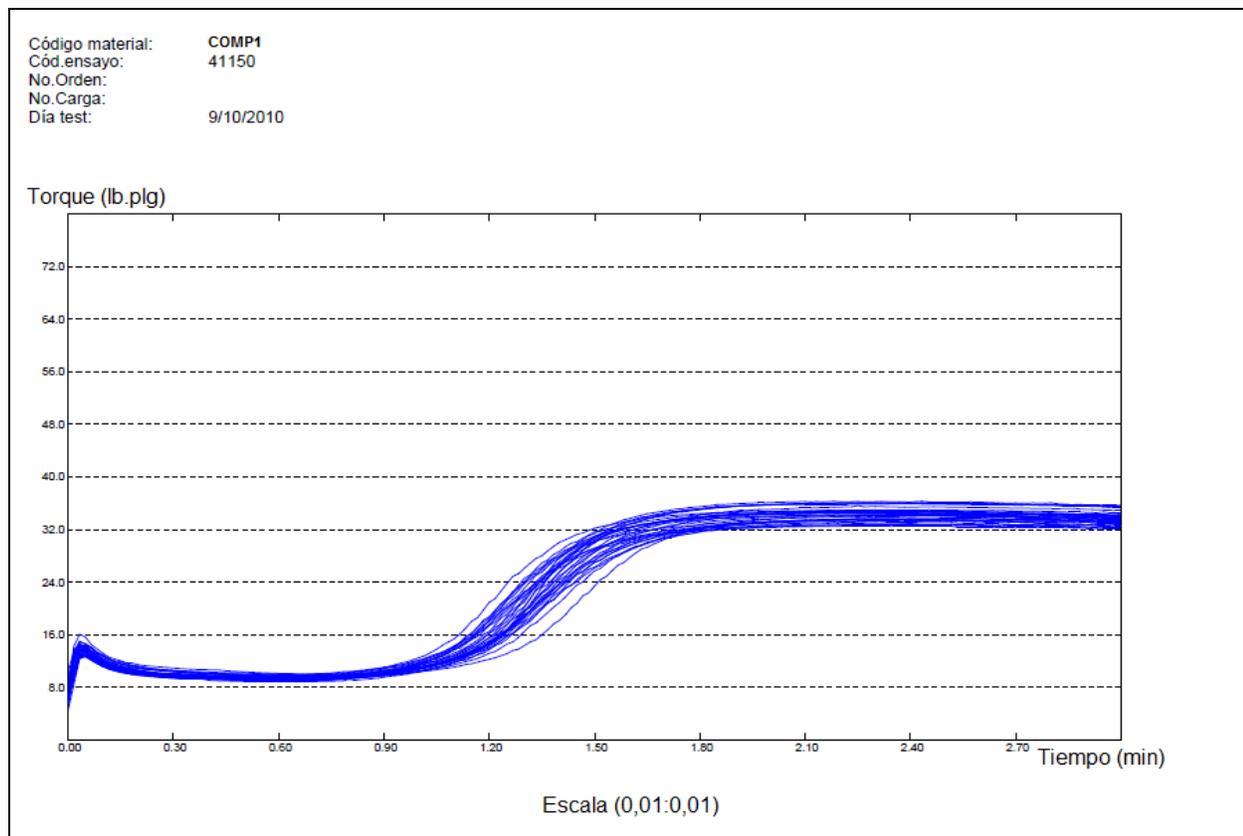


Figura 4.6. Gráficas reométricas de 30 muestras del COMP1 auditando las etapas de pesado.

4.3. DEFINICIÓN DE LOS NUEVOS RANGOS DE ACEPTACIÓN DE LOS PARÁMETROS REOMÉTRICOS

Los parámetros reométricos son valores obtenidos al realizar el ensayo de reometría a un compuesto de goma y a través de ellos se pueden obtener las características de la vulcanización del compuesto (Ochoa, 2007). Es importante que siempre al realizar un ensayo de reometría a un mismo compuesto de goma, se obtengan valores sin mucha dispersión, sin embargo el termino más o menos dispersión es relativo, de allí la necesidad de establecer límites o rangos de aceptación para los parámetros reométricos, dichos rangos según el procedimiento interno de control del laboratorio físico químico (PQT-QT-06-01) deben establecerse en los parámetros t_{90} y t_{s2} con un rango de tolerancia de $\pm 15\%$ (Ochoa, 2007).

Para el desarrollo de este objetivo se tuvo como limitación trabajar con un solo compuesto de goma al igual que en el objetivo anterior, el cual fue el COMP1 debido a que fue el único

compuesto al cual se le pudo auditar el proceso de elaboración y confirmar que se fabricará según todas las especificaciones. Sin embargo la metodología utilizada en este objetivo para la elaboración de las puertas quedará como modelo para la posterior definición de rangos de aceptación en el resto de los compuestos de goma por parte de la empresa.

Los parámetros reométricos permiten conocer el grado de vulcanización de los compuestos de gomas e indican el tiempo en que la misma empieza a vulcanizar así como también la finalización de la formación de los puentes de azufre en dicho compuesto, lo que implica que dichos parámetros aportan información de las propiedades físicas y químicas del compuesto de goma que será posteriormente utilizado para la fabricación de correas y mangueras.

De los resultados reométricos de las cargas del COMP1 auditadas, primeramente se tomaron los valores de torque mínimo (M_L) y torque máximo (M_H) para cada una de las muestras y se calculó mediante la ecuación (2.2) el respectivo valor del torque cuando ha transcurrido el 90% de la vulcanización (M_{90}), así mismo con los valores de M_L se calculó mediante la ecuación (2.1) el valor del torque al tiempo $t_{s,2}$ para cada carga, dicho valor lo denominamos $M_{t_{s,2}}$, todos estos parámetros se muestran en la tabla B.2. Seguidamente se analizaron los valores de $M_{t_{s,2}}$, M_{90} , $t_{s,2}$ y t_{90} mediante el software estadístico Statgraphics (versión 16.1.02), a través del cual se construyeron gráficos de control que se muestran en las Figuras 4.7, 4.8, 4.9 y 4.10 respectivamente.

Los gráficos de control elaborados fueron por variables debido a que en estos el control del proceso se realiza mediante variables susceptibles a ser medidas, como lo son los parámetros reométricos y su finalidad fue representar la magnitud de la variación de cada uno de los parámetros así como el estado del proceso en términos de las características que se desean controlar, asumiendo que los errores siguen una distribución normal (Universidad de Oviedo, s.f).

Los gráficos de control fueron elaborados a partir de variables independientes con un número de supgrupos igual a 10 (correspondiente a las 10 cargas auditadas del COMP1) y un tamaño de muestra de 3 (correspondiente a las 3 muestras tomadas por cada carga auditadas), estas y otras características de los gráficos construidos son resumidas por el software estadístico al lado izquierdo de cada gráfico elaborado.

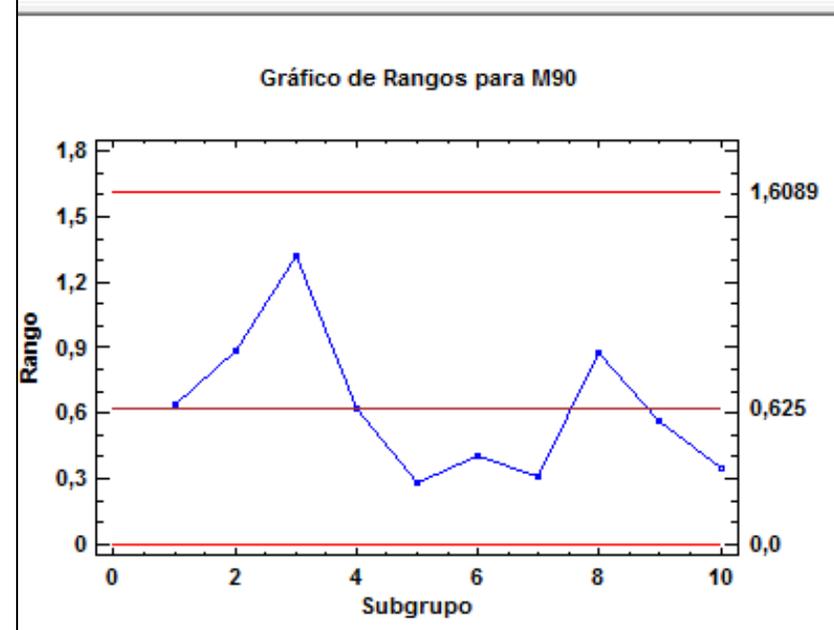
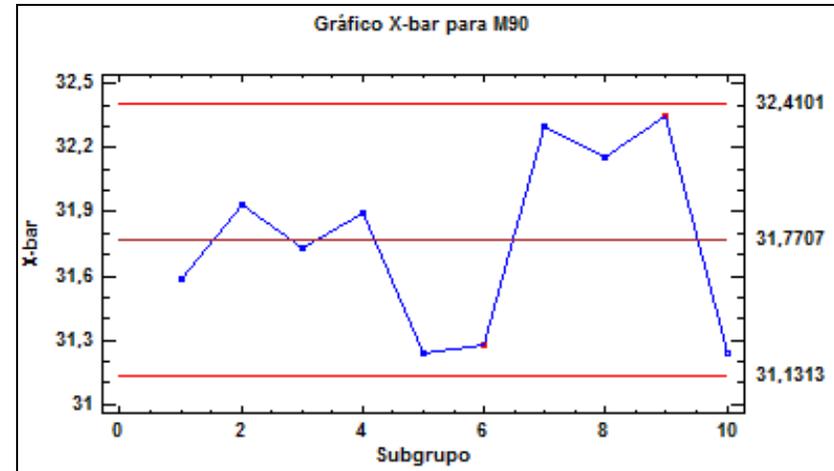
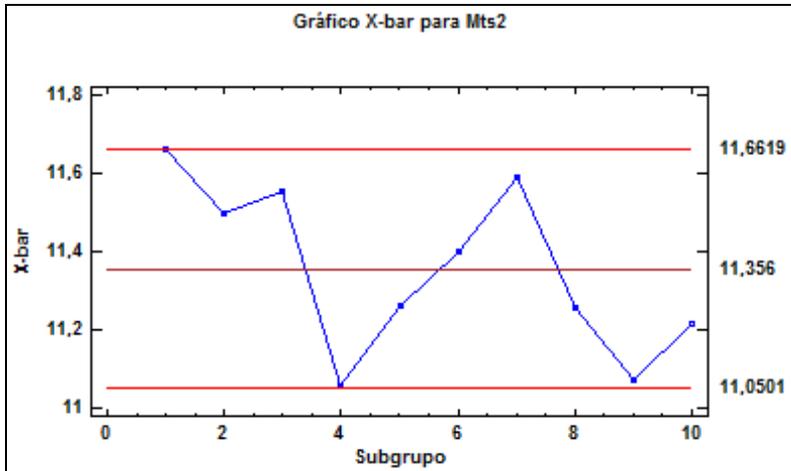


Figura 4.7. Gráfico X-R del parámetro reométrico $M_{t,2}$.

Figura 4.8. Gráfico X-R del parámetro reométrico $M_{9,0}$.

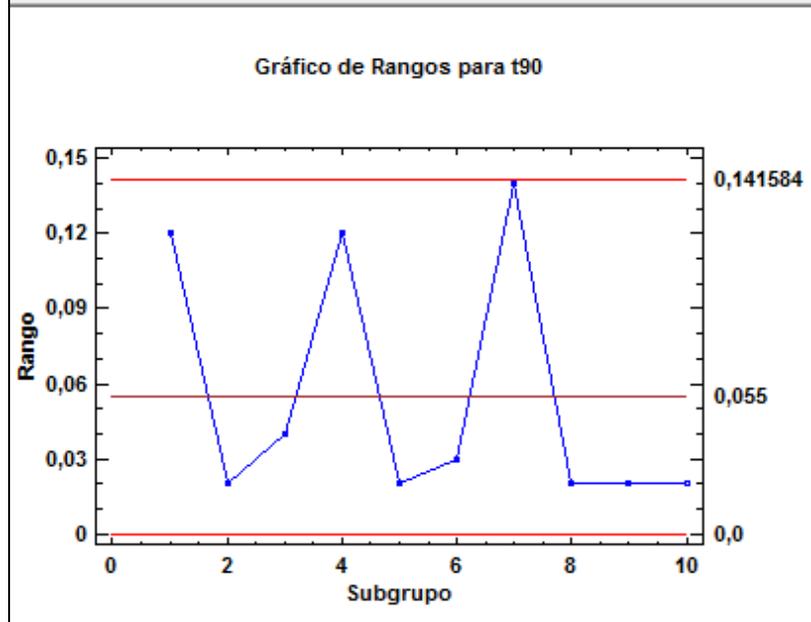
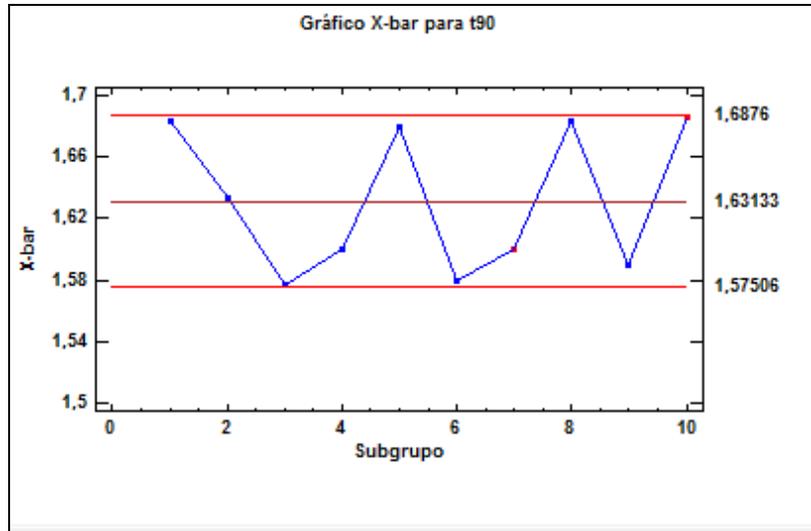


Figura 4.9. Gráfico X-R del parámetro reométrico t90.

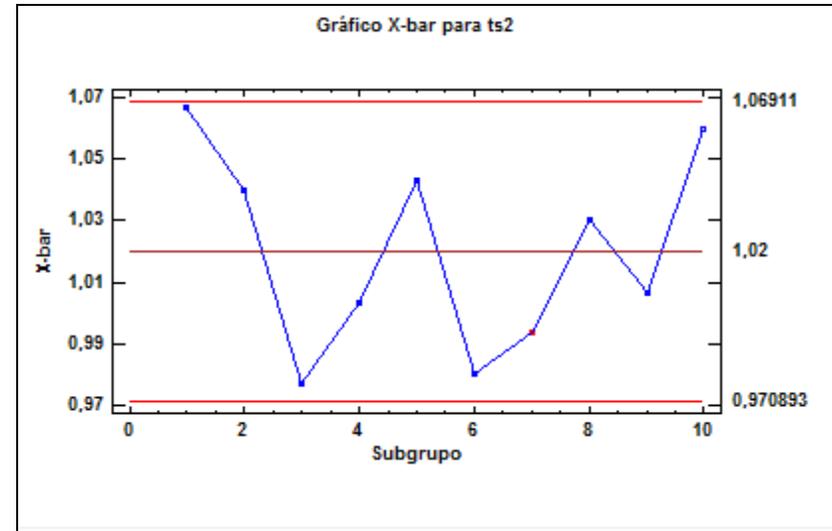


Figura 4.10. Gráfico X-R del parámetro reométrico ts2.

Los límites de control denotan las cotas superior e inferior que pueden tomar los valores que se observan en el gráfico de manera que la desviación respecto a su valor medio sea como máximo ± 3 desviaciones estándar (Universidad de Oviedo, s.f). Para cada uno de los gráficos de control elaborados, se puede observar que:

- Ninguno de los valores del rango queda fuera de los límites de control de rango.
- Ninguna de las medias esta fuera de los límites de control de las media.
- No hay más de seis valores de las medias, en muestras consecutivas que estén al mismo lado de la gran media.

Al cumplirse las razones anteriormente expuestas, se determinó que el proceso se encontraba bajo control estadístico y que los valores hallados eran representativos del proceso y pueden usarse para el control del mismo, por lo cual fueron usados como base para el establecimiento de los límites de aceptación de los parámetros reométricos del COMP1.

Para la definición de los límites de aceptación se tomaron los valores medios de t_{90} , t_{s2} , M_{90} y M_{t_s2} de los respectivos gráficos de control, calculando a M_{90} y M_{t_s2} los valores máximo y mínimo de aceptación como el $\pm 15\%$ de su valor promedio tal como se muestra en la Figura 4.11.

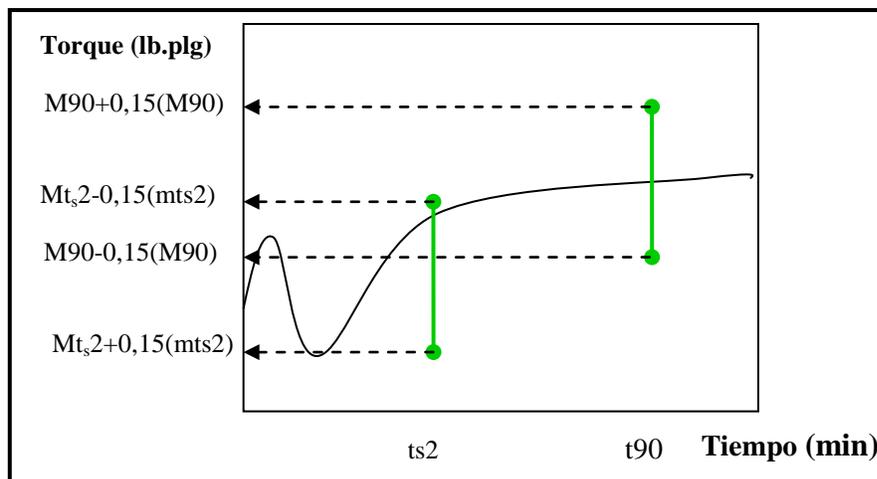


Figura 4.11. Esquema de un reógrama con barreras de aceptación, mostrando los valores a partir de los cuales se definieron dichos límites.

El software Daisy, el cual es el software de representación de los resultados reométricos, permite entre sus múltiples funciones establecer límites o puertas de aceptación a los diferentes

compuestos de goma. De esta manera, al realizar un ensayo de reometría, si la curva obtenida se encuentra dentro del rango de aceptación, el software emite un mensaje de “Pasa” que indica que el compuesto se encuentra dentro de las especificaciones y es aceptado para pasar a los siguientes procesos, en caso contrario emitiría un mensaje de “No Pasa” (Alpha Technologies, s.f.). Una de las maneras de establecer los rangos de aceptación de los parámetros reométricos mediante este software es proporcionando directamente los valores de los puntos máximo y mínimo de cada puerta, los cuales se muestran en la Tabla 4.5.

TABLA 4.5
DEFINICIÓN DE PUERTAS PARA EL COMP1

Puerta	Tiempo (± 0,001) s	Torque (± 0,001) lb.plg	
		Mínimo	Máximo
En t90 y con rango de aceptación para M90	1,631	27,005	36,536
En t _s 2 con rango de aceptación para Mt _s 2	1,020	9,653	13,059

En la Figura 4.12 se pueden observar las puertas definidas en el software Daisy para el COMP1, donde las líneas de color rojo representan los límites de aceptación de los parámetros reométricos correspondientes al torque máximo y mínimo antes expuesto.

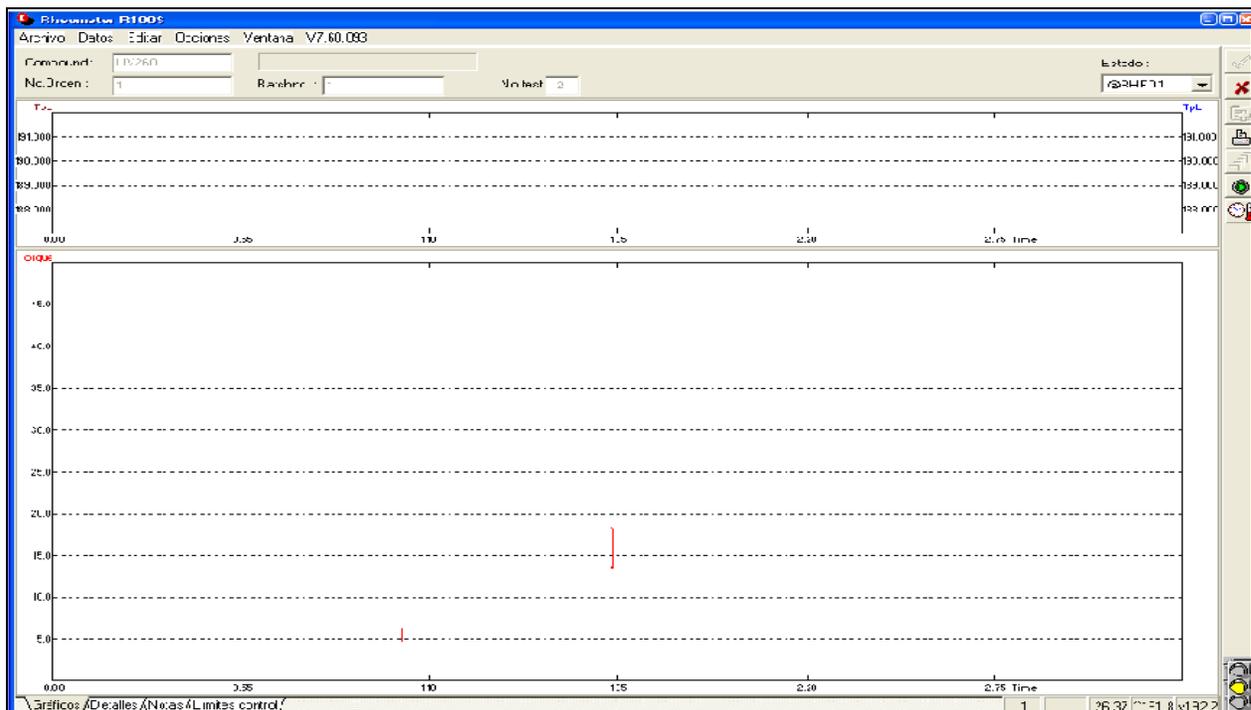


Figura 4.12. Límites de aceptación definidos para el COMP1.

4.4. PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS DE MEJORA AL PROCESO DE ELABORACIÓN DE COMPUESTOS

A continuación se presentan distintas alternativas que permitirán mejorar el proceso de elaboración de compuestos y de esta manera se pueda disminuir la desviación existente entre los parámetros de liberación de estos, dichas alternativas están enfocadas a mejorar principalmente el área de pesado y mezclado ya que estas resultaron ser las más influyentes al realizar el análisis causa-efecto y el análisis de modo y efecto de falla teniendo un mayor número prioritario de riesgo, según lo explicado anteriormente en el objetivo 2, lo que implica que gran parte de la falla del proceso está en dichas etapas.

ALTERNATIVA 1: LEAN MANUFACTURING

Implementación de un sistema de manufactura esbelta (Lean Manufacturing) que permita optimizar el proceso productivo de la elaboración de gomas, a través de la disminución de los 8 tipos desperdicios (transporte, tiempo de espera, inventario, sobreproducción, movimientos, sobre-procesamiento, sub-utilización de la gente, defectos), usando como técnicas las herramientas del Kanban, Kaisen de las 5 S y Lay Out, lo que permitirá mejores condiciones de trabajo a los operadores, ayudará a su formación y motivación relacionada con el proceso y de esta manera mejorará la calidad del trabajo que realizan.

ALTERNATIVA 2: AUTOMATIZACIÓN DEL TIEMPO DE MEZCLADO

Un sistema de tiempo de mezclado controlado, a través del cual la posición del martillo suba y baje de acuerdo al tiempo de mezcla, se recomienda el uso de un PLC para que de esta manera los tiempos de mezclado puedan ser programados de acuerdo al tipo de compuesto, se tendrá la interacción con el operario donde éste simplemente colocará el tipo de compuesto y dependiendo de la acción del martillo alimentará el resto de los ingredientes correspondientes a una misma carga, de esta manera todas las cargas serán mezcladas durante el mismo tiempo y así aumentará la homogeneidad entre las cargas realizadas de los compuestos de goma. De igual manera la velocidad del rotor puede ser controlada a través del PLC.

ALTERNATIVA 3: AUTOMATIZACIÓN DEL PESADO

Un sistema de pesado automático de los componentes (rellenos, aceites, pigmentos) más utilizados en la producción de compuestos de gomas, que busca disminuir la pérdida de material y la contaminación del medio y a su vez ofrecer un pesado más preciso, tomando en cuenta criterios de operación, ubicación y seguridad, dicho diseño consiste en mejorar el pesado de rellenos, aceites y pigmentos.

PESADO DE RELLENOS

El sistema se conforma por tolvas dosificadoras de sección transversal circular (por ser más eficientes (Lázaro y Barrera, s.f.)) que permiten el almacenamiento o canalización de los materiales granulares o polvorientos, cuya capacidad dependerá del volumen necesario para el almacenamiento del relleno a pesar, las cuales serán cargadas mensualmente. Cuando vaya a realizarse el mezclado de una carga, el relleno necesario será descargado por gravedad hasta llegar a una balanza que una vez alcanzado el peso requerido enviará a través del controlador una señal a un dispositivo de retención en la descarga de la tolva.

PESADO DE ACEITES

Actualmente la empresa cuenta con un sistema donde uno de los aceites es almacenado en dos tanques: el principal y el secundario, este último se encuentra cercano al Banbury y posee un indicador de nivel que acciona el encendido de la bomba una vez que se está vaciando para realizar el llenado de este desde el tanque principal, sin embargo la descarga de aceite desde el tanque secundario es accionada manualmente, el aceite es recogido en un tambor y posteriormente pesado en una balanza por el banburista. La propuesta consiste en mejorar el proceso existente automatizando la forma de pesado del aceite y adicionando un sistema extra para adaptarse al consumo de aceites de la empresa, el fluido será dosificado gravimétricamente hasta una báscula, donde el flujo será controlado con una válvula de abertura y cierre rápido que cerrará al obtenerse el peso requerido del respectivo aceite, una vez pesado el líquido será bombeado hasta la entrada del Banbury dicho procedimiento será ejecutado por el Banburista.

PESADO DE PIGMENTOS

Como existe mayor cantidad de compuestos químicos (82 aproximadamente), esta etapa del proceso es más complicada de automatizar por lo que se recomienda el uso de un software que contenga toda las tarjetas de pesado y una vez que el operador introduzca el compuesto de goma a elaborar aparezca el primer ingrediente a pesar y que mediante una interacción con colores en la pantalla el pesador pueda detener la acción de agregar químico hasta alcanzarse el peso deseado, si el peso excede al ideal no se mostrará el siguiente ingrediente hasta que se tomen las acciones necesarias.

ALTERNATIVA 4: PRE-MEZCLA DE COMPUESTOS QUÍMICOS

Consiste en evitar la diferencia entre cargas de un mismo compuesto por la adición de mayor o menor cantidad de vulcanizantes, acelerantes, dispersantes y demás compuestos químicos, por lo que se puede realizar un premezclado de pigmentos y compuestos químicos realizando de esta manera el pesado de un solo elemento por cada carga lo que sería más sencillo de controlar, el mezclador sería de tambor o volteo, que consiste en un recipiente cilíndrico montado sobre un eje horizontal y que girará con él, a través del movimiento se mezcla todo el contenido.

Para la selección de las alternativas que se ajusten a las necesidades y requerimientos de la empresa y además que permita disminuir la variabilidad existente entre los parámetros reométricos se plantea una matriz (ver Tabla 4.6) en la cual se pueden observar las ventajas y desventajas de dichas alternativas, a partir de este análisis se puede concluir que una de las mejores opciones a implementar corresponde a la alternativa relacionada con la automatización del pesado ya que permitirá mejorar la calidad del trabajo del operador y en el desarrollo del proceso, se logra reducir el tiempo de procesamiento dedicado por parte de los operarios, una disminución de la contaminación y daño ambiental, un uso eficiente de la materia prima y principalmente una disminución de la variabilidad de los parámetros reométricos ya que el pesado se estará realizando de una forma más precisa, de esta manera también se podrá atacar el problema desde la raíz, por ser esta la primera etapa del proceso de elaboración de compuestos de gomas y además la que posee un mayor número prioritario de riesgo.

TABLA 4.6
VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS ALTERNATIVAS PROPUESTAS PARA LA MEJORA DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE COMPUESTOS

Alternativas	Ventajas	Desventajas
Lean manufacturing	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil aplicación. • Bajos costos de implementación. • Mejora de la ergonomía de los operadores. • Mejora en las condiciones de trabajo en general. • Aumenta el compromiso de los trabajadores en realizar un trabajo de calidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Posible ocurrencia del error por precisión.
Automatización del pesado	<ul style="list-style-type: none"> • Precisión en el pesado. • Compuestos de gomas de mayor calidad. • Minimización de pérdida de materia prima. • Disminución de la contaminación del medio. • Menor variabilidad en los parámetros reométricos de los compuestos de goma. • Menor riesgo a la salud por contacto con negro de humo. • Disminución en la aplicación de fuerza por parte de los pesadores. • Aumento en la seguridad de las instalaciones y la protección a los trabajadores. • Menor tiempo empleado para el pesado de los compuestos de una carga. • Mayor productividad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Altos costos de inversión. • Esperar la aprobación del proyecto por parte de la corporación, lo cual implicaría que la implementación no sea inmediata.
Automatización del tiempo de mezclado	<ul style="list-style-type: none"> • Precisión en el tiempo de mezclado. • Mayor homogenización en las cargas. • Menor variabilidad en los parámetros reométricos de los compuestos de goma. 	<ul style="list-style-type: none"> • Altos costos de inversión.
Pre-mezcla de compuestos químicos	<ul style="list-style-type: none"> • Se realiza un solo pesado de compuestos químicos por cada carga. • Menor tiempo empleado para el pesado de los compuestos de una carga. • Mayor productividad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Rediseño de las formulaciones de los compuestos de goma. • Posible ocurrencia del error por precisión.

La alternativa correspondiente a la automatización del pesado posee mayor cantidad de beneficios para la mejora del proceso pudiendo de esta manera disminuir la desviación existente en los parámetros reométricos, por esta razón es la propuesta seleccionada, la automatización de la etapa de pesado para la elaboración de compuestos de goma acarrea costos de inversión altos a diferencia de un sistema de lean manufacturing que es de fácil aplicación, bajos costos de implementación y gran impacto sobre los trabajadores, lo que traerá como beneficio que estos realicen de mejor forma su trabajo, resultando por estas razones ser esta herramienta otra de las

mejores opciones aplicar; por lo tanto las alternativas seleccionadas para diseñar fueron la automatización del pesado por poseer mayor cantidad de beneficios y la metodología la del Lean Manufacturing por ser de fácil aplicación.

LEAN MANUFACTURING

La implementación de un sistema de manufactura esbelta es de sencilla aplicación ya que permite trabajar con herramientas que están diseñadas y fueron propuestas por el grupo Toyota (Grupo Kaizen, s.f.).

1. Proporcionar a los trabajadores la identificación Kanban a través del estableciendo de una ruta que refleje el flujo de materiales, esto implica designar lugares fijos para que no haya confusión en el manejo de los mismos, así como la identificación de los diferentes elementos utilizados para la elaboración de compuestos de gomas (componentes químicos, polímeros, aceites y rellenos) antes y después de ser pesados.

La propuesta se aplicará orientando a los trabajadores con respecto a los beneficios que se obtienen al aplicar dicha herramienta y facilitándoles el material para que realicen la identificación de los elementos antes mencionados.

2. Educar a los trabajadores con la metodología de la 5S e implementarla en el área de preparado con la finalidad de lograr un sitio de trabajo más organizado, más ordenado y más limpio de forma permanente y obtener una mayor productividad y un mejor entorno de trabajo.

La propuesta estará basada primeramente en organizar charlas para los trabajadores del área de preparado donde se les enseñe lo referente a la metodología de las 5S, su aplicación y beneficios. Seguidamente se iniciará la aplicación de la metodología en el área siguiendo cada una de las etapas que la definen, las cuales se explican brevemente a continuación.

- Clasificación: consiste en identificar los elementos que son necesarios en el área de trabajo, separarlos de los innecesarios y desprenderse de estos últimos, evitando que vuelvan a aparecer. Asimismo, se comprueba que se dispone de todo lo necesario.
- Orden: consiste en establecer el modo en que deben ubicarse e identificarse los materiales necesarios, de manera que sea fácil y rápido encontrarlos, utilizarlos y reponerlos. En esta etapa se pretende organizar el espacio de trabajo con objeto de evitar tanto las pérdidas de tiempo como de energía.

- Limpieza: una vez despejado y ordenado se procede a identificar y eliminar las fuentes de suciedad, y en realizar las acciones necesarias para que no vuelvan a aparecer, asegurando que todos los medios se encuentran siempre en perfecto estado operativo. Esta fase es de especial importancia debido a que el incumplimiento de la limpieza puede tener muchas consecuencias como por ejemplo contaminación de los ingredientes o anomalías en los compuestos de goma elaborados.
- Estandarización: consiste en detectar situaciones irregulares o anómalas, mediante normas sencillas y visibles para todos. En esta etapa se crean estándares que recuerdan que el orden y la limpieza deben mantenerse cada día.
- Mantenimiento de la disciplina: mediante esta etapa se pretende obtener una comprobación continua y fiable de la aplicación del método de las 5S y el apoyo del personal implicado. Si esta etapa se aplica sin el rigor necesario, el sistema 5S pierde su eficacia.

3. La implementación de un sistema de reordenamiento de elementos (Lay Out) donde se podrá reestructurar la ubicación de los diferentes elementos relacionados en el proceso de elaboración de compuestos, para obtener un proceso más eficiente.

Se aplicará una nueva ubicación de los elementos para obtener un mejor flujo y la disminución de movimientos y tiempos por parte de los operadores, así como también herramientas que permitan facilitar el trabajo de los operadores como mesas de apoyos de sacos de rellenos y diseño de carros para transportar materia prima que mejorarán la ergonomía del trabajador.

El resultado de aplicar esta metodología se podrá medir tanto en productividad como en satisfacciones del personal respecto a los esfuerzos que han realizado para mejorar las condiciones de trabajo y con esto se espera que la eficiencia y el compromiso del personal con su trabajo aumenten, generando así productos (compuestos de goma) de mayor calidad y con menos variaciones en los parámetros reométricos. En la Figura 4.13 se puede observar la ubicación actual de los elementos involucrados con el pesado de polímeros, rellenos, aceite y mezclado de compuestos de goma, en la Figura 4.14 la nueva distribución propuesta una vez aplicadas las herramientas antes mencionadas y en la Tabla 4.7 los factores que se logran disminuir, estos se obtienen al medir directamente sobre el proceso la distancia y el tiempo recorrido por los

operadores en el proceso actual y en la distancia y tiempo estimado que aplicarían al implementar la metodología antes expuesta.

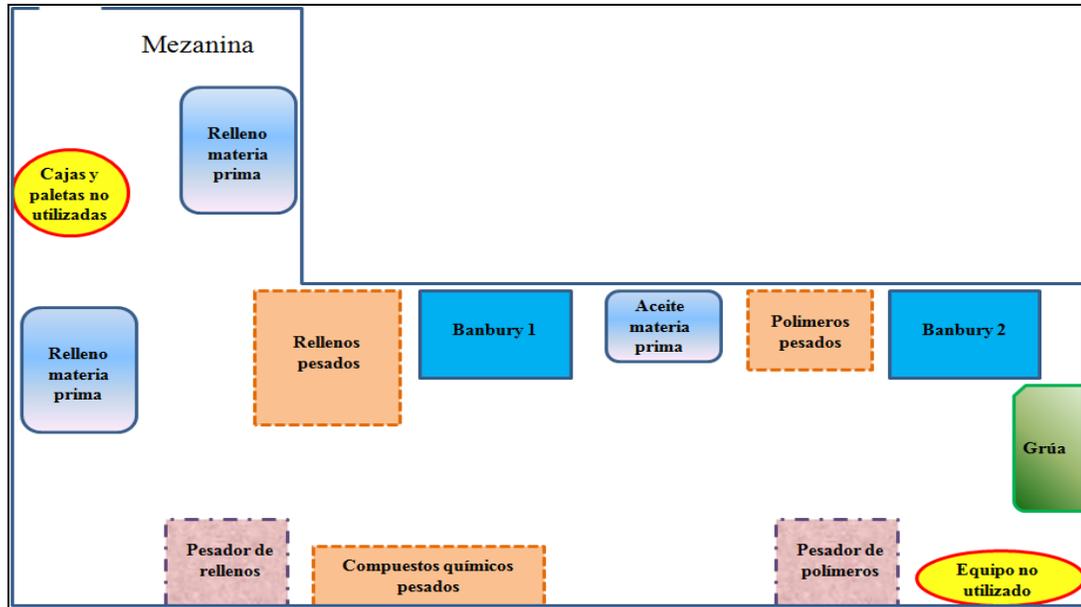


Figura 4.13. Ubicación actual de los elementos relacionados con la elaboración de compuestos de gomas.

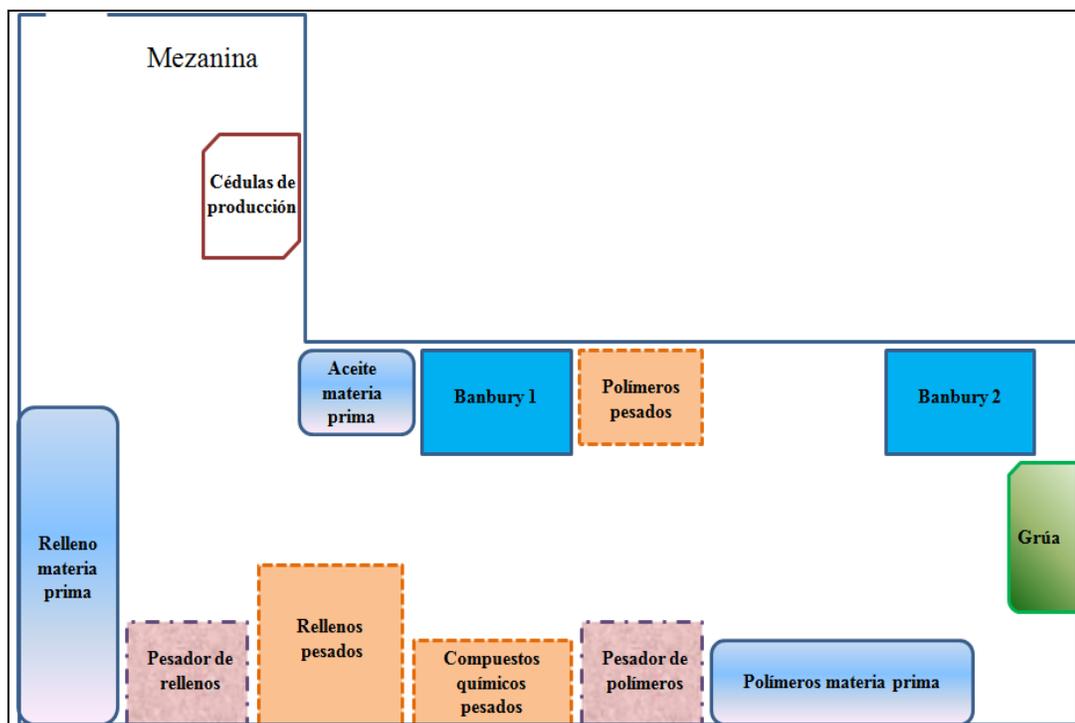


Figura 4.14. Ubicación propuesta de los elementos relacionados con la elaboración de compuestos de gomas.

TABLA 4.7
DISMINUCIÓN DEL TIEMPO REQUERIDO Y LA DISTANCIA RECORRIDA
POR LOS OPERADORES AL ELABORAR UNA CARGA
DE UN COMPUESTO DE GOMA

Actividad	Antes	Después	Reducción
Distancia recorrida durante todas las etapas por los operadores relacionados con la elaboración de una carga de un compuesto de goma al inicio de un turno.	450 m	250 m	200 m
Tiempo invertido durante todas las etapas por los operadores relacionados con la elaboración de una carga de un compuesto de goma al inicio de un turno.	115 min	95 min	20 min

AUTOMATIZACIÓN DEL PESADO

El pesado de los diferentes ingredientes necesarios para la elaboración de compuestos de goma puede dividirse en tres categorías principales: pesado de rellenos, aceites y pigmentos, a continuación se muestra la propuesta para la automatización del pesado de los elementos antes mencionados, permitiendo así que el pesado se realice de una manera más precisa.

- **PESADO DE RELLENOS**

Los rellenos utilizados en la empresa pueden clasificarse en cargas blancas y cargas negras (negro de humo) y se consumen alrededor de 19 tipos de estos, sin embargo algunos son de muy poco consumo, por ejemplo como se puede observar en la Tabla B.3 en el periodo de marzo a agosto del año 2010 se consumieron solo 13 tipos de rellenos. La propuesta será dirigida a automatizar el pesado solo de los rellenos más consumidos, debido a que la implementación de un sistema de almacenamiento y pesado automático implica gran inversión y si el relleno es poco consumido mensualmente no la justificará. En la Tabla B.3 se puede observar que los rellenos mas consumidos corresponden a: Neg1, Neg2 y Neg3, los cuales son tres tipos diferentes de negro de humo.

El negro de humo es un material de baja densidad y con presencia de granos muy finos por lo cual se propone realizar su almacenamiento en tolvas de sección transversal circular, debido a que estos contenedores facilitan el flujo de salida del material almacenado.

En cuanto al flujo de materiales en una tolva, este puede ser de conducto o de masa, siendo este último el más conveniente debido a indica que todos los materiales en el recipiente se desplazan uniformemente cuando se retira una parte de estos (Perry y Chilton, 1986).

Los productos cohesivos de tamaño menor a 5mm, como es el caso del negro de humo (ver Figura B.5) son clasificados como productos pulverulentos cohesivos. El ángulo de rozamiento interno de dichos productos tiene una importancia decisiva a la hora de obtener un flujo másico o de conducto. Si el ángulo de rozamiento interno es mayor que el ángulo de rozamiento con la pared, se produce el flujo másico; en caso opuesto el flujo es de conducto, ya que es más fácil el deslizamiento en el seno del producto que entre el producto almacenado y las paredes (Ravenet, 1983). En la Tabla 4.8 se dan los valores máximo y mínimo del ángulo de rozamiento interno de diversos productos.

Por su parte el ángulo de rozamiento del producto con las paredes de la tolva depende de:

- ✓ Propiedades físicas del producto.
- ✓ La rugosidad o finura de las paredes.

Las propiedades físicas del producto a almacenar, actúan de forma directa sobre la pared y dan origen a ángulos de rozamiento que oscilan entre valores máximos y mínimos, dichos ángulos de rozamiento con las paredes se muestran en la Tabla 4.8.

TABLA 4.8
ÁNGULO DE ROZAMIENTO DE DIVERSOS PRODUCTOS

Material Pulverulento	Ángulo de rozamiento interno		Ángulo de rozamiento con las paredes	
	Mínimo (°)	Máximo (°)	Mínimo (°)	Máximo (°)
Harina	35	45	30	40
Cemento	30	40	20,5	29
Carbón pulverizado	35	40	22	35
Cenizas	35	40	36	40
Coque	37	41	25	36
Mineral de hierro	43	46	36	40
Arena seca	38	45	27	38
Piedra machacada	40	45	27	38

Fuente: Ravenet (1983).

Debido a que los valores de ángulo de rozamiento interno y con las paredes no se encuentran tabulados para el negro de humo, se aproximaron a los valores correspondientes al carbón pulverizado por ser este el de características más similares al negro de humo,

observándose así que el rango de valores para el ángulo de rozamiento interno es mayor que el del ángulo de rozamiento con las paredes, lo cual indica que se favorecerá el flujo másico.

Un factor muy influyente sobre el valor del ángulo de rozamiento de un producto con las paredes es el material del cual estén fabricadas estas, la rugosidad o finura de las paredes da ángulos de rozamiento que influyen sobre cualquier producto pulverulento (Ravenet, 1983).

Por ser el negro de humo un material corrosivo se recomienda fabricar los contenedores en acero inoxidable AISI 316 por ser este el más recomendable en condiciones fuertemente oxidantes, ambientes industriales, atmósferas que contengan humos procedentes de fábricas de productos químicos o aire salino. De acuerdo con la Tabla 4.9, el ángulo de rozamiento con el acero inoxidable es de 8°, mucho menor al rango aproximado de ángulo de rozamiento interno del negro de humo, lo cual favorecerá aun mas que le flujo producido sea un flujo de masa.

TABLA 4.9
ÁNGULO DE ROZAMIENTO DE PRODUCTOS PULVERULENTOS CON DIFERENTES MATERIALES DE PARED

Material de la pared	Ángulo de rozamiento (°)
Chapa metálica oxidada	38
Pared de hormigón	25
Pared de madera	20
Chapa metálica lisa	15
Chapa metálica pintada con resina	12
Acero inoxidable	8

Fuente: Ravenet (1983).

Para el dimensionamiento de cada contenedor se definió que su volumen total debería ser el volumen aproximado del consumo promedio mensual del ingrediente almacenado más el 10% de sobrediseño tal como se muestra en la Figura 4.15 y de esta manera

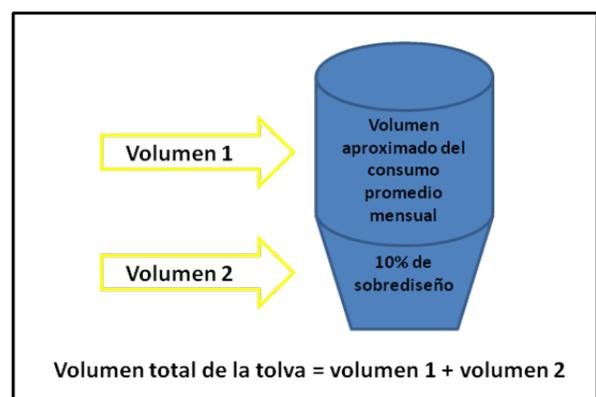


Figura 4.15. Volumen de las tolvas a diseñar.

A cada uno de los negro de humo de mayor consumo (Neg1, Neg2 y Neg3) se le calculó el volumen necesario para almacenar lo correspondiente a su consumo promedio mensual, dichos volúmenes se muestran en la Tabla 4.10

TABLA 4.10
VOLUMEN DE LAS TOLVAS A DISEÑAR

Ingrediente a almacenar	Volumen correspondiente al consumo promedio mensual (m ³)	Volumen del 10% de sobrediseño (m ³)	Volumen total (m ³)
Neg1	4,30	0,43	4,73
Neg2	4,30	0,43	4,73
Neg3	2,94	0,29	3,23

La ubicación de las tolvas será sobre la mezanina del área de elaboración de compuestos de goma, tal como se muestra en la Figura 4.16, en la cual también se pueden observar las dimensiones de la mezanina las cuales serán determinantes al momento de dimensionar las tolvas y de escoger el diámetro de su sección cilíndrica (D1, D2 y D3).

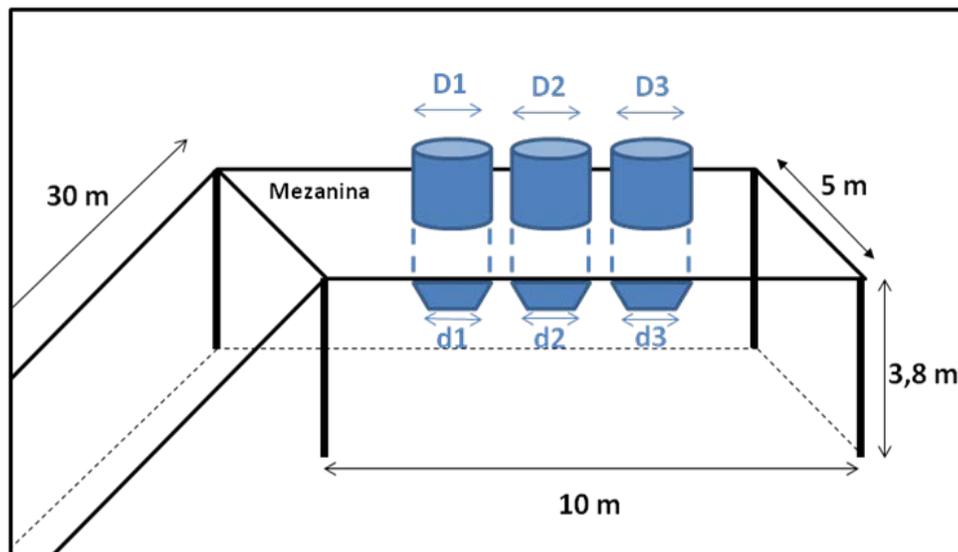


Figura 4.16. Mezanina del área de preparado de compuestos con sus dimensiones y la ubicación propuesta para las tolvas.

La mezanina posee 5 m de ancho por lo cual el diámetro de las tolvas debe ser tal que el espacio utilizado por estas no obstruya el paso de los operadores que laboran en la mezanina (pesador de gomas, pesador de rellenos y banburista) hacia sus áreas de trabajo y además permita seguir almacenando los rellenos que se pesaran manualmente. En base a estas razones se asumió 1,5 m como valor del diámetro para la parte cilíndrica de la tolva, con dicho valor y el volumen a almacenar, se calculó la altura correspondiente, la cual se muestra en la Tabla 4.11.

El diámetro de la parte cilíndrica de la tolva corresponde al diámetro superior de la parte cónica. La salida del material de la tolva se realizara por la parte inferior de la misma, en la cual

estará instalada una válvula de esclusa rotatoria (modelo ER, serie 150) de 2” de diámetro nominal, la cual fue seleccionada por ser adecuada para la alimentación o la descarga controlada de los productos en polvo o granulados de silos, tolvas, instalaciones para transporte neumático, filtros de manga y ciclones. En el interior del armazón de dicha válvula gira un rotor dividido en varias partes (celdas). El producto entrando por la parte superior, se distribuye en cada celda y descargado por la parte inferior de la celda. El paso desde la entrada hasta la salida se realiza de forma hermética, gracias al preciso acoplamiento constructivo celda-armazón. Son indicadas para las aplicaciones más exigentes (uso intensivo) y productos más difíciles (Lozano, 2008).

Una vez definido el elemento que permitirá la salida del material de las tolvas, se calculó el ángulo de inclinación de las paredes de la tolva con respecto a la vertical (ver Tabla 4.11).

TABLA 4.11
DIMENSIONES DE LAS TOLVAS A DISEÑAR

Ingrediente a almacenar	PARTE CILÍNDRICA		PARTE CÓNICA		
	Diámetro superior (± 0,001)m	Altura (± 0,002)m	Diámetro inferior (plg)	Altura (± 0,002)m	Angulo con respecto a la vertical (± 0,002)°
Neg1	1,500	2,433	2	0,705	45,773
Neg2	1,500	2,433	2	0,705	47,773
Neg3	1,500	1,698	2	0,475	56,717

Como elementos adicionales a las tolvas se propone la instalación de un indicador de nivel y un vibrador por aire en cada una de estas. Este último evita la formación de bóvedas o campanas manteniendo constantemente en movimiento los materiales secos a granel que se estarán descargando. Evitan el atascamiento, la formación de vacíos y la compactación, forzando al producto a fluir de modo uniforme (Prillwitz y Cia, 2004). Algunas de las ventajas de usar este tipo de vibrador son:

- ✓ La aireación suelta el producto, permitiéndole fluir con mayor facilidad.
- ✓ La membrana del vibrador obliga al aire a moverse a lo largo de la pared de la tolva, despegando el producto y garantizando un vaciado integral.



Figura 4.17. Sección de la tolva que muestra la acción del vibrador en funcionamiento.
Fuente: (Prillwitz y Cia, 2004)

- ✓ La suave vibración mantiene el flujo del producto, sin permitir que se compacte o se atasque.
- ✓ Se ajustan a tolvas tanto cónicas como cuadradas.
- ✓ No causan daños al silo como los vibradores externos.
- ✓ Los discos cierran contra la pared del silo y evitan que los conductos de aire se obstruyan con el producto.
- ✓ Fácil instalación.
- ✓ Económicos.

En cuanto al indicador de nivel, se utilizaran para indicar el nivel mínimo de material en las tolvas el cual corresponde al 10% de sobrediseño que se estableció. Se recomienda usar un detector de nivel de paletas rotatorias, el cual utiliza unas paletas giratorias para detectar el nivel de material, en tolvas y silos. Se pueden emplear para controlar el flujo de materiales finos o granulados. Ante la carencia de material en la tolva, las paletas del detector giran libremente, a la vez que un contacto emite una señal de suministro al cuadro de mando, cuando el material llega al nivel del detector e impide el giro de las paletas, éste actúa emitiendo una señal que indicará que se debe parar la entrada de material. Las posibilidades de utilización de los contactos del detector son innumerables, pudiendo actuar sobre otros equipos o señales acústicas o sonoras. Puesto que el motor se desconecta cuando se detienen las paletas, el detector de nivel puede utilizarse como indicador de nivel mínimo durante un periodo de tiempo indefinido, sin daño para el motor.

Este tipo de indicadores de nivel son de fácil mantenimiento y se colocan normalmente en la parte superior y/o inferior de silos, tolvas y depósitos de almacenamiento dependiendo del nivel que se desee controlar. Son especialmente recomendados para la medición de productos de difícil deslizamiento (Tarnos S.A., s.f).

Cada una de las tolvas de almacenamiento de negro de humo estará unida por medio de una tubería de acero inoxidable de 2" de diámetro a una tolva pesadora de 15 l, dicha tolva recibirá el material e irá registrando su peso hasta alcanzar un peso pre-fijado, momento en el cual se cerrará la válvula esclusa de la tolva de la cual se estaba pesando y se abrirá la compuerta de la tolva pesadora permitiendo la salida del material pesado, el cual subirá hasta la boca del Banbury por medio de un sistema de succión al vacío.

El sistema de control corresponde a un lazo de control cerrado ya que este podría responder mejor ante las perturbaciones que se produzcan sobre el proceso, además la acción de control está en función de la señal de salida, dicho sistema de control está condicionado por el indicador de nivel correspondiente a cada tolva, lo que implica que el pesado no se iniciará hasta que las tolvas se encuentren con la cantidad mínima de negro de humo. La función principal del lazo de control es precisar el pesado tomando como variable de referencia el peso del negro de humo que se encuentra almacenado en cada una de las tolvas, una vez alcanzado el peso deseado por medio del controlador se puede llegar al elemento final de control (válvula de esclusa rotatoria) y de esta manera accionar de forma neumática (por actuar de forma más sencilla y rápida, son los más utilizados en la industria y son más económicos que los eléctricos y los hidráulicos ^[18]) el vástago de dicha válvula para detener la adición del negro de humo. A su vez el controlador es el responsable de abrir la válvula correspondiente a la tolva del negro de humo que se desea pesar.

El proceso está constituido por un sensor cuya función es recibir la señal emitida por la báscula y enviar la información por medio del transmisor al controlador, tanto el sensor como el transmisor son parte de la celda de carga contenida en la balanza, el controlador es el cerebro de la automatización y acciona el posicionamiento de cada una de las válvulas correspondiente a cada tolva, el controlador es lógico programable (PLC) ya que los cambios en el proceso son rápidos y permite el control en tiempo real el proceso de pesado secuencial, en cuanto a la acción del controlador es de acción inversa (un incremento en el peso implica una disminución en la señal de salida). El controlador energiza las bobinas correspondiente a la válvula solenoide cuya misión es bloquear, abrir o desviar la circulación del aire comprimido con la cual será accionada la válvula de dosificación, en caso de falla esta última estará cerrada y necesitará de aire para abrir, la válvula solenoide permite el paso de aire necesario para el actuador de pistón (de 50 a 150 psi, porque se requiere alto empuje debido a las capacidades de las tolvas) y este posiciona la válvula de dosificación para realizar o detener la descarga. En la figura 4.18 se muestra el sistema correspondiente a la automatización del pesado de negro de humo.

La comunicación entre el operador y el proceso asociado a la automatización será a través de una consola de comunicación, donde la pantalla debe ser de fácil manejo para la interacción con el operador.

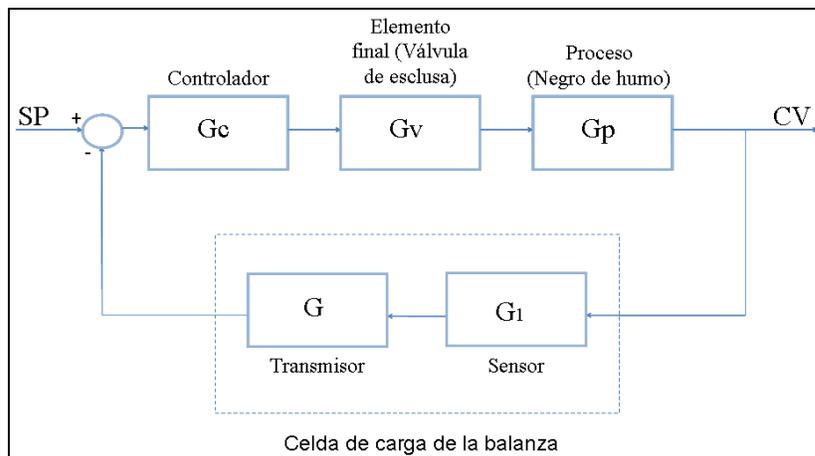


Figura 4.18. Lazo cerrado del sistema de dosificación gravimétrica de negro de humo.

Donde:

SP: punto de ajuste, depende del compuesto de goma a realizar.

Gc: algoritmo de control del controlador.

Gv: elemento final de control.

Gp: función que representa el proceso.

G: conversión del sensor al controlador.

G₁: señal que envía la balanza.

CV: variable que se controla (posición del vástago de la válvula de esclusa).

- **PESADO DE ACEITES**

Los aceites utilizados en la empresa corresponden aceites de proceso parafinicos los cuales tiene como función mejorar la dispersión de los componentes en polvos y las bases elastómeras y se utilizan 6 tipos de aceites, los cuales varían según su índice parafinico (altos, muy altos, medios y ligeros), también se utilizan 10 tipos de plastificantes cuya función es ser ayudantes del proceso para mejorar el procesamiento durante el mezclado, en la Tabla B.4 se pueden observar los aceites y plastificantes consumidos durante el periodo marzo a agosto del año 2010, teniendo que los aceites usados en dicho periodo corresponden a 4 de la cantidad de aceites antes mencionados y a dos tipos de plastificantes. Existen aceites y plastificantes que tienen un bajo consumo en la elaboración de compuestos de goma, por lo que el diseño será enfocado a automatizar los que se utilizan en mayor proporción, de esta manera se puede

justificar la inversión que acarrea la implementación de un sistema de pesado automático; la mejora en el pesado será realizada a los aceites ACE1 y ACE2 por ser los de mayor consumo.

El ACE1 se encuentra en un tanque principal en el almacén de aceites a presión y temperatura ambiente, el cual es surtido cada tres meses, de aquí es enviado por una red de tubería al área de la mezanina donde es almacenado en un tanque secundario que se encuentra a 3,5 metros del nivel de la mezanina, el aceite pasa del tanque principal al secundario cada vez que el sensor de nivel de este último acciona el encendido de una bomba para realizar el llenado. El aceite baja por gravedad a través de una tubería y una vez que el banburista necesita realizar el pesado del mismo abre la válvula de retención y este cae en un recipiente mientras es pesado, al alcanzarse el peso requerido el operador cierra la válvula para detener el paso del fluido.

Los aceites ACE1 y ACE2 poseen características similares en cuanto a su gravedad específica, niveles de corrosión e influencia sobre el proceso, ver Tabla 4.12 por lo anterior y por disposición por parte de la empresa el sistema a implementar será de las mismas condiciones de los equipos existentes en planta, ver Tabla 4.13.

**TABLA 4.12
PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DE LOS ACEITES ACE1 Y ACE2**

Propiedad	ACE1	ACE2
Gravedad específica (g/cm ³)	0,99	1,00
Viscosidad	90-100	90-100
Corrosión	Medianamente corrosivo	Medianamente corrosivo
Función del aceite en el compuesto de goma	Ofrece resistencia a las altas temperaturas	Aceite manchante

**TABLA 4.13
EQUIPOS CORRESPONDIENTES AL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO
DEL ACEITE ACE1**

Equipos	Características
Tanque principal (A)	Capacidad: 36, 460 m ³ Material: hierro negro Posición: horizontal
Bomba 1	Potencia: 5 hp Marca: SIEMENS Voltaje: 220-440
Tuberías	Diámetro: 3" Longitud: 360 m Material: hierro negro Diámetro: 2" Longitud: 35 m Material: hierro negro

TABLA 4.13
EQUIPOS CORRESPONDIENTES AL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO
DEL ACEITE ACE1, CONTINUACIÓN

Equipos	Características
Tanque secundario	Capacidad: 0,60 m ³ Material: hierro negro Posición: horizontal
Sensor de nivel	Tipo: electrodo de nivel Material: acero inoxidable

Los aceites, plastificantes y lubricantes se encuentran ubicados en el patio de líquidos (ver Figura 4.19), el tanque A corresponde al lugar donde se mantiene el aceite ACE1 y el tanque B fue utilizado para almacenar un aceite sustituto para este último, actualmente no se encuentra en funcionamiento por lo tanto dicho tanque puede ser utilizado para el almacenamiento del aceite ACE2.

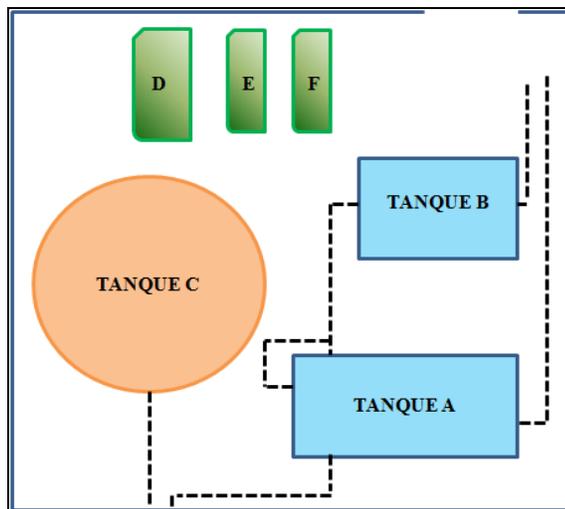


Figura 4.19. Ubicación de los tanques de almacenamiento de líquidos.

En la Tabla 4.14 se encuentra el volumen correspondiente al consumo promedio trimestral del aceite ACE2 y la capacidad del tanque existente actualmente en planta, donde se puede observar que la capacidad del tanque es suficiente para el sistema propuesto.

TABLA 4.14
VOLUMEN DEL TANQUE REQUERIDO PARA EL ALMACÉN
DEL ACEITE ACE2

Ingrediente a almacenar	Volumen correspondiente al consumo promedio trimestral (m ³)	Volumen del 10% de sobrediseño (m ³)	Volumen total (m ³)	Volumen del tanque B (m ³)
ACE2	12,44	1,20	12,60	24

Actualmente el tanque A y el tanque B son descargados por medio de una misma tubería, por lo que al poner en funcionamiento el tanque B para almacenar el aceite ACE2 se debe disponer de un sistema de tuberías independiente al existente para evitar el contacto entre ambos aceites ya que cada uno ofrece propiedades diferentes a los compuestos de goma.

Las tuberías de hierro negro tienen como ventaja que no requieren mantenimientos tan seguidos y además no se oxida por mucho tiempo, lo que resulta ventajoso ya que un aceite contaminado puede influir en las propiedades finales de los compuestos de goma (Universidad de Castilla-La Mancha, 1999), por tal motivo y por recomendaciones del departamento de mantenimiento de la empresa se mantendrá el mismo material de las tuberías ya existentes en planta.

Por las razones expuestas anteriormente se realizará un sistema de tuberías de 3" de hierro negro con una bomba cuyas características son las mismas a las descritas en la Tabla 4.16 y la longitud total de tubería es de 356 m, dicha longitud de tubería permitirá transportar el aceite ACE2 desde el tanque principal B a la bomba y de allí hasta el tanque secundario 2, la descarga de la bomba es de 2" y la tubería también es de hierro negro, su longitud es de 33 m.

En relación al tanque secundario 2 también existe en la mezanina del área de preparación de compuestos un tanque que no se está utilizando actualmente y este tanque por ser un ayudante de proceso facilita el pesado del aceite por encontrarse más cercano al Banbury, se tomará dicho tanque como parte del sistema propuesto sin tomar como referencia el volumen del mismo. Para la descarga del tanque secundario 2 se tomarán tuberías de 1" de hierro negro, ya que este sistema de tubería ya existe, sólo hay que colocar una "T" para producir desviación y de esta manera llevar el aceite ACE2 al Banbury. El sensor de nivel correspondiente al tanque secundario 2 será anexado al panel de control ya existente (donde se encuentra el sensor del tanque secundario 1).

En la Tabla 4.15 se encuentran las dimensiones de los tanques existentes en la empresa, los cuales serán utilizados para el diseño transporte de aceite ACE2.

TABLA 4.15
DIMENSIONES DE LOS TANQUES EXISTENTES EN LA EMPRESA

Tanque	Diámetro (± 0,01) m	Altura (± 0,01) m
Tanque principal B	2,50	6,00
Tanque secundario 2	0,64	1,00

En cuanto al sistema de control del pesado de aceite propuesto las siguientes condiciones se mantienen iguales al sistema de pesado de negro de humo, teniendo en cuenta las consideraciones expuestas anteriormente:

- Lazo de control cerrado.
- Acción del controlador inversa.
- Válvula (elemento final de control) cerrada en caso de falla.

La función de este lazo de control es precisar el pesado de ambos aceites (ACE1 y ACE2), cada uno de estos provenientes de línea de tubería diferente, con una válvula de bola como elemento final de control, esta girará por acción neumática y es recomendada para fluidos viscosos, su ventaja es que permite la conducción y corte del fluido con buena estrangulación y además permite un cierre y abertura rápido en el sistema, el lazo de control está compuesto también por un sensor, un transductor y válvula solenoide como componentes cuyas funciones serán iguales a las explicadas para el caso del pesado de negro de humo, en cuanto al controlador se refiere este es el mismo utilizado para el sistema de pesado de negro de humo, ya que por ser un controlador lógico programable permite el peso de forma secuencial. En la Figura 4.20 se muestra el sistema de realimentación correspondiente al pesado de aceite.

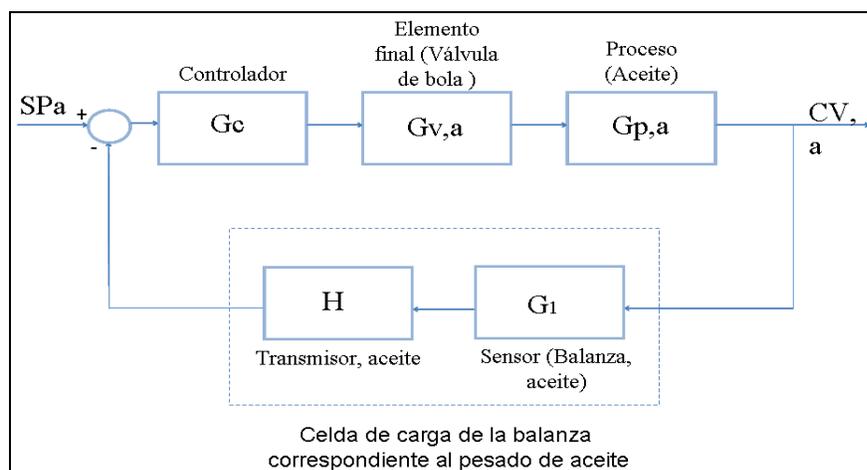


Figura 4.20. Lazo cerrado del sistema de dosificación gravimétrica de aceite.

Donde:

SPa: punto de ajuste correspondiente al pesado de aceites, depende del compuesto de goma a realizar.

Gc: algoritmo de control del controlador.

Gv,a: elemento final de control para el pesado de aceites.

Gp,a: función que representa el proceso

H: conversión del sensor de la balanza de aceites al controlador.

G₂: señal que envía la balanza de pesado de aceites.

CV,a: Variable que se controla (posición del vástago de la válvula bola).

En resumen los equipos necesarios para la automatización del pesado vienen dados por:

- Sensor
- Controlador
- Elementos de control (válvulas)
- Actuador
- Comunicadores (transmisor, transductor)
- El cómputo
- Los algoritmos

• PESADO DE PIGMENTOS

Un software que le muestre al operador el nombre del primer ingrediente añadir, el peso ideal y la tolerancia permitida en el peso, a medida que el operador vierte ingrediente en la plataforma de la báscula, el peso real y el peso ideal pueden desplegarse numéricamente en la pantalla y además pueden existir interacciones por medio de colores que una vez una vez que el peso se encuentra dentro de tolerancia cambie el tipo de color, con el fin de indicarle al operador que debe dejar de añadir ingrediente, si el peso del ingrediente está fuera de tolerancia, no se mostrará el siguiente ingrediente a pesar hasta que se disminuya el peso al rango dentro de tolerancia. Una vez que el ingrediente se encuentra dentro de los rangos de tolerancia, el software lo registra y muestra el siguiente ingrediente a pesar. Este proceso se repite hasta que todos los ingredientes de la fórmula hayan sido pesados. Combics Pro es un sistema utilizado en las industrias relacionadas con pesos de varios ingredientes (Robótica e Instrumentación Industrial SA., s.f.) y que además es recomendado para sistemas de pesado que deben ser rigurosos, por lo que dicho sistema de adapta a las necesidades y a la propuesta realizada para este tipo de pesado.

A continuación en la Tabla 4.16 se presentan las características correspondientes a los equipos necesarios para la automatización de pesado, como lo son el controlador lógico programable, los actuadores y los elementos finales de control.

TABLA 4.16
CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS NECESARIOS PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE PESADO

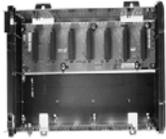
Nombre del equipo	Controlador lógico programable (PLC)	<p>PLC</p>  <p>CHASSIS</p>  <p>SUMINISTRO DE ENERGÍA</p>  <p>INTERFAZ CON EL OPERADOR</p> 
Función	Tomar las acciones necesarias para que se logre la exactitud en el pesado de negro de humo y aceites, además posee pantalla integrada lo que facilita la interacción con el operador.	
Modelo	1756L61S Controllogix	
Características de los complementos	<ul style="list-style-type: none"> • Chassis: chassis estándar 13 ranuras para módulos. • Modulo I/O: 32E/S, 1 tarjeta (expandible hasta 20) • Fuente de alimentación : 24 V • Software de programación: RSLogix 5000 Enterprise Series • Interfaz con el operador: PanelView Plus 	
Cantidad	1	
Nombre del equipo	Válvula de bola/Actuador	
Función	Retener o hacer pasar el flujo de aceite para el pesado del mismo.	
Marca	FESTO	
Material	Latón	
Modelo	VZPR-BPD-22-R1	
Diámetro de conexión a la tubería	1"	
Presión de accionamiento	1-8,4 bar	

TABLA 4.16
CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS NECESARIOS PARA LA
AUTOMATIZACIÓN DE PESADO, CONTINUACIÓN

Nombre del equipo	Válvula solenoide/Bobina	
Función	Cerrar, abrir o desviar el aire comprimido para accionar el actuador de la válvula rotativa, con la finalidad de controlar la cantidad de negro de humo a dosificar.	
Modelo	SV261	
Características	<ul style="list-style-type: none"> • Operación: pilotada, normalmente cerrada. • Material: latón. • Temperatura de trabajo: -9 a 50 ° C (15 a 122 ° F) • Energía: 10 W, 120 <u>V</u>ac, bobinas 50 a 60 Hz. • Presión de operación: máximo 100 psi. • Fluido: aire comprimido. 	
Cantidad	2	
Nombre del equipo	Válvula esclusa tipo rotatoria	
Función	Dosificar la cantidad de negro de humo contenido en las tolvas	
Modelo	ER-150	
Características	<ul style="list-style-type: none"> • Material del cuerpo y las tapas: fundición inoxidable Aisi-304 (DIN 1.4308). • Presión: -0,5 hasta +1,2 bar de presión diferencial. • Temperatura de trabajo: temperatura del material transportado hasta +100° C. • Diámetro: 2" • Material del rotor: acero inoxidable Aisi-304 	
Cantidad	3	
Nombre del equipo	Actuador (para la válvula esclusa)	
Función	Regula la abertura y cierre de la válvula esclusa, accionada por el aire proveniente de la válvula solenoide.	
Modelo	NCDA ID250 0500	
Marca	SMC	
Características	<ul style="list-style-type: none"> • Rango de presión máx: 12 bar. • Material: acero inoxidable. • Voltaje. 230 V. • Diámetro: 2,5" 	
Cantidad	1	

TABLA 4.16
CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS NECESARIOS PARA LA
AUTOMATIZACIÓN DE PESADO, CONTINUACIÓN

Nombre del equipo	Balanza digital o tolva pesadora	
Función	Pesar el negro de humo proveniente de cada tolva.	
Marca	Pesacoa	
Modelo	MCC-100	
Características	<ul style="list-style-type: none"> • Material: hierro pintado. • Rango: (0-100) kg. • Indicador digital: Echo Modelo MX-SS. • Celda de carga: marca Flintec modelo BK2, con cuádruple sujeción rígida, lo que garantiza la máxima resistencia y estabilidad. 	
Cantidad	1	
Nombre del equipo	Balanza digital (aceite)	
Función	Pesar el aceite	
Marca	Pesacoa	
Características	<ul style="list-style-type: none"> • Material: hierro pintado. • Rango: (0-20) kg. • Indicador digital: Echo Modelo MX-SS. • Celda de carga: marca Flintec Modelo PC60, tipo bloque, con cuádruple sujeción rígida, lo que garantiza la máxima resistencia y estabilidad. 	
Cantidad	1	
Nombre del equipo	Terminal de pesado	
Función	Terminal que permite al operador llevar de forma gráfica la cantidad de peso acumulado para cada tipo de pigmento.	
Marca/ Modelo	Sartorius /CombiCS Pro	
Características	<ul style="list-style-type: none"> • Display gráfico a color, nítido, con un display de 20 mm para las lecturas de peso con indicadores de estado y gráfico de barras. • Teclado alfanumérico con entrada “ABC” • 5 teclas programables • Teclas táctiles grandes con confirmación táctil y acústica. • Interfaz de datos RS232, Ethernet y PS/2 de modo estándar • Hasta 62 plataformas/básculas conectables vía protocolo xBPI. 	
Cantidad	1	

4.5. ESTIMACIÓN DE LA RELACIÓN COSTO-BENEFICIO DE LAS ALTERNATIVAS PROPUESTAS

El análisis costo beneficio busca medir la eficiencia económica del proyecto, es decir, los costos del mismo contra sus beneficios. La determinación del costo de implementación de cada propuesta fue dividida entre costos de instalación (inversión inicial) más costos operacionales.

La inversión inicial de un proyecto se define como el conjunto de desembolsos necesarios para la adquisición y adecuación de las factibilidades de producción que se requieren para que el proyecto inicie. Por su parte los costos operacionales incluyen todos los desembolsos que se requieren para que el proyecto una vez puesto en marcha continúe operando normalmente. Para efectos prácticos, se supone que ocurren al final de cada año aunque realmente su frecuencia puede ser mensual, trimestral, semestral, etc.

Los principales renglones que integran los costos operacionales son los siguientes:

- Materia prima y otros materiales
- Personal (sueldos, salarios y beneficios sociales)
- Combustible o energía
- Servicios (agua, electricidad, teléfono, vigilancia, etc.)
- Mantenimiento y repuestos
- Seguros
- Almacenamiento
- Distribución y ventas
- Administración
- Otros

Para la propuesta de implementación de un sistema de manufactura esbelta (Lean Manufacturing), la inversión inicial es relativamente baja, debido a que no se hace necesario la adquisición o remodelación de equipos de proceso ni la realización de grandes cambios estructurales, por el contrario, la inversión inicial estaría compuesta principalmente por los costos correspondientes a la capacitación y entrenamiento de todo el personal que labora en el área de preparado con respecto a la metodología del Lean Manufacturing, en esta capacitación se deben incluir de forma especial al encargado del área y al especialista de control de calidad para que

posteriormente sean ellos los que hagan el seguimiento de la aplicación de la metodología en el área. Para poder implementar las modificaciones propuestas al aplicar la metodología del Lean Manufacturing se deberá contar con materiales como: hojas blancas, cartulinas, marcadores, plastificadora, láminas de papel y algunos otros que comúnmente son adquiridos en la empresa por lo cual no representarían un gasto extra a los ya existentes. Además se deberán fabricar algunas herramientas que permitirán mejorar las condiciones ergonómicas de los pesadores como una mesa de apoyo para los sacos de rellenos y tres carritos para transportar materia prima, los cuales pueden ser fabricados por el departamento de mantenimiento de la empresa a partir de materiales y carritos defectuosos ya existentes en la empresa, por lo cual tampoco representarían un costo adicional a los ya existentes.

En cuanto a los costos operacionales, la implementación de un sistema de manufactura esbelta no implicaría costos operaciones ya que una vez implantada la propuesta solo se haría necesario que realizar eventos rápidos de Lean Manufacturing donde se fomente en los trabajadores del área la importancia de seguir aplicando la metodología y se realicen a partir de sus necesidades y de las del área nuevos cambios o mejoras en el área, dichos eventos serán organizados y dirigidos por el encargado del área de preparado y el especialista de control de calidad.

En relación a los beneficios, la importancia de la aplicación de la metodología del Lean Manufacturing radica en hacer del área de elaboración de compuestos un sitio ordenado, limpio, con condiciones favorables de trabajo, donde sus trabajadores puedan realizar sus labores de la manera más eficiente, rápida y ordenada con la finalidad de incrementar la satisfacción y el compromiso del personal del área con su trabajo y con realizarlo cada vez mejor, disminuyendo así las fallas existentes, y aunque todo esto no se puede cuantificar directamente en dinero, si se pueden contabilizar muchas de sus consecuencias, por ejemplo: al disminuir las fallas existentes en la precisión del pesado, se elaboraran compuestos de goma con menores desviaciones en sus parámetros reométricos, es decir se aumentará la calidad de los compuestos elaborados y por ende la de los productos finales que se fabriquen a partir de ellos, además se disminuirá el porcentaje de reproceso de compuestos de goma por turno en el área de preparado de 5% a un 3% aproximadamente, minimizando así el costo por reproceso de productos. Cada carga reprocesada representa otra carga menos de las 45 programadas que se deja de mezclar, ocasionando pérdidas económicas a la empresa y retrasando la producción, por lo cual al

disminuir el porcentaje de reproceso también se logra minimizar dichas pérdidas y mantener la productividad del área. Estos costos y beneficios se muestran en la Tabla 4.17.

**TABLA 4.17
COSTOS Y BENEFICIOS RELACIONADOS CON LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DEL LEAN MANUFACTURING**

Costos	Bs.	Beneficios	Bs./año
Capacitación y entrenamiento con respecto a la metodología del Lean Manufacturing de todo el personal que labora en el área de preparado, del encargado del área y del especialista de control de calidad.	50000	Disminución de costos de mano de obra e insumos al cambiar el porcentaje de reproceso de compuestos de goma por turno de 5% a aproximadamente un 3%.	169593
Total	50000	Total	169593

En cuanto a la propuesta de automatización del pesado los costos iniciales estarían compuestos por la adquisición e instalación de los equipos y accesorios especificados en el diseño de la propuesta, los cuales se nombran en la Tabla 4.18 especificando su respectivo costo, dichos costos fueron obtenidos a través de páginas web especializadas en costos de equipos y proveedores de servicios industriales como: Pesacoa y Multiservicios Universo.

**TABLA 4.18
COSTOS INICIALES RELACIONADOS CON LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE PESADO**

Descripción	Cantidad	Precio unitario (Bs)	Total
Tolva acero inoxidable con tapa, indicador de paletas rotativas y fluidificador	3	25000	75000
Tubería acero inoxidable 2" sch 10 de 3 mm x 6 m	1	1776,32	1776,32
Bomba 5 Hp marca Siemens	1	4900	4900
Tubería de hierro negro sin costura 3" sch 40	55	1456/tubo	80080
Codo 3" a/c sch 40	5	106,40	532
Tubería de hierro negro sin costura 2" a/c sch 40	5	1021,44/tubo	5137,2
Tubería de hierro negro sin costura 1" a/c sch 40	2	476,25/tubo	952,5
Codos 2" a/c sch 40	3	43,93	131,78
Válvula de compuerta 1"	1	109,70	109,70
Controlador lógico programable (PLC), chasis, modulo I/O, fuente de alimentación, software de programación, interfaz con el operador.	1	169205	169205
Válvula de bola de acción neumático/Actuador	1	2623	2623
Válvula solenoide/Bobina	1	1354,5	1355,5
Válvula esclusa tipo rotatoria	3	2000	2000
Actuador (para la válvula esclusa)	1	2580	2580

TABLA 4.18
COSTOS INICIALES RELACIONADOS CON LA IMPLEMENTACIÓN
DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE PESADO, CONTINUACIÓN

Descripción	Cantidad	Precio unitario (Bs)	Total
Electrodo de nivel	1	200	200
Accesorios (uniones 1", 2", 3" y T 1", 3")	---	2000	2000
Terminal de pesado de pigmentos	1	8600	8600
Balanza digital con tolva pesadora y celda de carga (negro de humo)	1	11600	11600
Balanza digital (aceite)	1	4900	4900
Instalación de los elementos relacionados con la propuesta	1	60000	60000
TOTAL			433683

Una vez instalado el sistema de pesado propuesto, el gasto promedio mensual de energía incrementará por la energía necesaria para el funcionamiento de dicho sistema, además se hará necesario que exista un mantenimiento preventivo al sistema, el cual se propone que sea realizado por el departamento de mantenimiento de la empresa mensualmente y así no representar un gasto adicional. El gasto extra de energía que ocasionará la implementación de la propuesta de automatización de pesado nos será cuantificado directamente sobre los gastos operacionales ya que la empresa posee un contrato mensual fijo de 900 kW y sólo consumen un 70% del mismo, lo que implica que el nuevo sistema se adapta a las condiciones de la empresa.

En cuanto a los beneficios, la instalación de dicho sistema proporcionará precisión en el pesado de los ingredientes aumentando así la calidad de los compuestos de goma y por ende de los productos finales. Se generarán menores desviaciones en los parámetros reométricos lo cual a su vez disminuirá el porcentaje de reproceso de 5% a aproximadamente un 1%.

Al implementar la propuesta de automatización, se podrán aumentar el número de cargas programadas por turno de 45 a 55, debido a que dicha propuesta disminuirá la carga de trabajo del banburista y del pesador de rellenos, pudiendo este último distribuir su tiempo entre el pesado de los rellenos que no se automatizaron y el pesado de polímeros. Es decir se podrá aumentar la producción por turno generando beneficios económicos a la empresa, sin forzar o dañar las condiciones ergonómicas de los trabajadores, la cual era una gran limitante para poder aumentar la el numero de cargas por turno.

La automatización del pesado de los negros de humo de mayor consumo ocasionará menores pérdidas al ambiente de dicho ingrediente, minimizando así la contaminación presente en el área y los gastos económicos que genera la pérdida de materia prima. El hecho de disminuir

la contaminación por negro de humo presente en el área generará en los trabajadores un impacto positivo debido a que mejorarán las condiciones ambientales del área donde se desempeñan y con ellas las condiciones de salud y seguridad laboral.

Aunque algunos beneficios como aumentar la calidad de los compuestos de goma no son fácilmente cuantificable en bolívares, otros de los beneficios si pudieron ser cuantificados con ayuda del departamento de finanzas de la empresa y se muestran en la Tabla 4.19.

TABLA 4.19
BENEFICIOS OBTENIDOS POR LA EMPRESA CON LA APLICACIÓN DE LA PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DEL PESADO

Beneficio	Bs/año
Disminución de costos de mano de obra e insumos al cambiar el porcentaje de reproceso de compuestos químicos por turno de 5% a aproximadamente un 1%.	127194
Incremento del número de cargas programadas por turnos, de 45 a 55 cargas (disminución de los costos/100 lb)	1580918
Total	1708112

La relación costo-beneficio se obtiene al dividir los costos entre los beneficios tal como indica la ecuación 2.4 y se interpreta en base al resultado que arroja el cociente, si este es mayor que 1, no se recupera la inversión y los gastos son representativamente mayores a los beneficios. Si el cociente es igual a 1, los beneficios igualan a los costos, y por lo tanto, da igual llevar o no a cabo el proyecto. Si la relación es menor a 1, el proyecto es rentable, y la inversión se recupera, obteniendo que los beneficios sean mayores que los costos. Los valores de relación costo beneficio obtenidos para cada una de las alternativas propuestas se muestran en la Tabla 4.20.

TABLA 4.20
RELACIÓN COSTO BENEFICIO DE LAS ALTERNATIVAS PROPUESTAS

Alternativa	Relación Costo Beneficio (Adim.)
Aplicación de la metodología de Lean Manufacturing.	0,29
Automatización del pesado de los ingredientes más utilizados.	0,25

Según los valores de relación costo beneficio obtenidos para ambas propuestas resultaron ser menores a 1, es decir ambas propuestas representan inversiones rentables en las cuales la inversión será recuperada y los beneficios obtenidos serán mayores a los costos, sin embargo para la propuesta de automatización del pesado de los ingredientes más utilizados el valor obtenido para la relación resultó ser menor que el obtenido para la alternativa de aplicación de la

metodología de Lean Manufacturing indicando que esta es la alternativa que daría mayor cantidad de beneficios respecto a su costo de aplicación.

CONCLUSIONES

1. Las variables relacionadas con la elaboración de compuestos de goma corresponden a la materia prima, el departamento de producción, la mano de obra, los ensayos de liberación y el producto terminado.
2. El método empleado y las mediciones realizadas corresponden a las categorías más influyentes durante la elaboración de compuestos de gomas.
3. Las causas generadoras de variabilidad de los parámetros reométricos más influyentes son las relacionadas con las etapas de pesado, mezclado y el control de calidad.
4. El proceso de pesado manual posee el mayor número prioritario de riesgos (576 Adim.), siendo esta la etapa más influyente en el proceso.
5. Las cargas auditadas se encuentran bajo control estadístico, la desviación respecto a su valor medio es máximo $\pm 3\sigma$.
6. Los valores hallados son representativos del proceso y sirven como referencia para el establecimiento de los nuevos límites de control.
7. Los límites de aceptación de los parámetros reométricos son $\pm 15\%$ del valor promedio del M90 y Mt_{s2} .
8. Las propuestas de mejoras al proceso de elaboración de compuestos de gomas son: implementación de un sistema de manufactura esbelta (Lean Manufacturing), automatización del tiempo de mezclado, automatización del pesado y la pre-mezcla de compuestos químicos.
9. Las mejores alternativas a implementar son la automatización del pesado y el Lean Manufacturing.

10. Al implementar la metodología del Lean Manufacturing el tiempo invertido y la distancia total recorrida por los operadores disminuye 200 m y 20 min respectivamente.
11. La cantidad de cargas reprocesadas al implementar el Lean Manufacturing disminuye de 5% a 3% y al implementar el sistema automático de pesado propuesto disminuye de 5% a 1%.
12. Al implementar un sistema automático de pesado la capacidad de producción del área puede aumentar hasta 10 cargas por turno.
13. La relación costo/beneficio del sistema de manufactura esbelta es de 0,29 Adim.
14. La relación costo/beneficio del sistema automático de pesado es de 0,25 Adim.

RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio de las condiciones ergonómicas de los trabajadores del área de preparado de compuestos.
- Realizar reentrenamientos a los operadores y enfatizar la importancia del trabajo que realizan en la calidad del producto.
- Implementar un sistema de control de aseguramiento de la calidad en las etapas de pesado y mezclado.
- Definir los límites de aceptación de parámetros reométricos a todos los compuestos de goma elaborados en la empresa.
- Evaluar la factibilidad económica para poner en funcionamiento el Viscosímetro Monney que se encuentra en la empresa.
- Evaluar la factibilidad técnica y económica de automatizar el área de pesado de polímeros y la alimentación de aceites y rellenos al Banbury, con la finalidad de complementar el sistema propuesto.
- Evaluar la factibilidad técnica y económica para la implementación de un sistema automático y moderno, para el control del tiempo de mezclado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allen Bradley. (s.f.). *Equipos de control y automatización de procesos*. [Página Web en Línea]. Disponible en: www.ab.rockwellautomation.com.com. [Consulta: 2011, Febrero, 05].

Alpha Technologies. (s.f.). *Daisy*. [Página Web en Línea]. Disponible en: <http://www.alpha-technologies.com/daisy-software-from-alpha-technologies>. [Consulta: 2011, Enero 15].

Alvarado, L. y Betancourt, C. (2009). *Evaluación de Proyectos de Inversión*. Dirección de Medios y Publicaciones. Universidad de Carabobo. Venezuela. Pág.: 320-322

Armesto, J. (2007). *Instalación de sistemas de automatización y datos*. [Documento en Línea]. Disponible en: http://tv.uvigo.es/uploads/material/Video/1452/ISAD_Tema4.pdf. [Consulta: 2011, Febrero, 06].

Barba, A. y Buestán, M. (2008). *Aplicación de diseño de experimentos en la fabricación de cauchos que sirven de apoyo para puentes colgantes en Guayaquil*. [Resumen en Línea]. Trabajo especial de grado. Escuela superior Politécnica del Litoral. Guayaquil-Ecuador. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/4780>. [Consulta: 2010, Septiembre 10].

Borrego, D. (2009). *¿Cómo elaborar un diagrama causa-efecto?*. [Documento en Línea]. Disponible en: <http://www.herramientasparapymes.com/%C2%BFcomo-elaborar-un-diagrama-de-causa-efecto>. [Consulta: 2010, Agosto, 02].

Braslavsky, J. (s.f.). *Control automático 1*. [Documento en Línea]. Disponible en: http://csd.newcastle.edu.au/SpanishPages/clase_slides_download/C01.pdf. [Consulta: 2011, Febrero, 07].

Cortes, J. (2011). *Procedimiento para elaborar el AMEF de proyecto*. [Documento en Línea]. Disponible en: [http://www.dtpconsultores.com.mx/Calidad%202004/Procedimientos/Aseguramiento%20de%20calidad/Procedimientos%20\(AC-XX-YYY\)/AC-03-003.pdf](http://www.dtpconsultores.com.mx/Calidad%202004/Procedimientos/Aseguramiento%20de%20calidad/Procedimientos%20(AC-XX-YYY)/AC-03-003.pdf). [Consulta: 2010, Agosto, 06].

Consorcio Nacional de Industriales del caucho. (2005). Formas comerciales de los polímeros y los negros de carbono. *Revista del Caucho*. 426:20. [Revista en Línea]. Disponible en: <http://www.revistadelcaucho.es/page1/page8/files/496.pdf>. [Consulta: 2010, Noviembre 14].

Del Bouno, R. (2010). *AMEF, Análisis del Modo y Efecto de la Falla*. Procedimiento del sistema de gestión de Goodyear productos industriales. [Información interna de la empresa]. Venezuela.

Diario de negocios de Chile. (2010). Alza de precios de neumáticos en Europa por escasez de caucho. [Diario en Línea]. Disponible en: <http://planetanegocios.com/4649-alza-de-precios-de-neumaticos-en-europa-por-escasez-de-caucho/>. [Consulta: 2010, Agosto, 09].

Domenech, J. (s.f.) *Diagrama de Pareto*. [Documento en Línea]. Disponible en: <http://www.mitecnologico.com/Main/DiagramaDePareto>. [Consulta: 2011, Enero 18].

Fernández, V. y Zambrano, H. (2001). *Diseño de un sistema de mezclado de pigmentos en la elaboración de gomas para la fabricación de correas y mangueras automotrices e industriales*. Trabajo especial de grado para optar por el título de Ingeniero Químico. Universidad de Carabobo. Venezuela.

Festo Venezuela. (s.f.). *Técnica motriz y neumática*. [Página Web en Línea]. Disponible en: www.festo.com/cms/es-ve_ve/index.htm. [Consulta: 2011, Febrero, 05].

Figuera, E. (2004). *Mejoramiento del proceso de fabricación de cauchos semisólidos en la empresa OIL SEALS ANDINAS, C.A.* Trabajo especial de grado para optar por el título de Ingeniero Químico. Universidad de Carabobo. Venezuela.

Greene, R. (s.f.). *Válvulas. Selección, Uso y Mantenimiento*. Editorial McGraw-Hill. México. Capítulo I y II. Páginas 44 y 172-176.

González, M. (2003). *Componentes involucrados en la formulación de caucho*. [Documento en Línea]. Disponible en: <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/6744-Componentes-involucrados-en-la-formulacion-de-caucho.html>. [Consulta: 2011, Enero 5].

González J. y Peña G. (2002). *Efecto del peso en el comportamiento estándar de las formulas empleadas en la elaboración de correas y mangueras automotrices*. Trabajo especial de grado para optar por el título de Ingeniero Químico. Universidad de Carabobo. Venezuela.

Grupo Kaizen, S.A. (s.f.). *Que es "Lean Manufacturing"*. [Documento en Línea]. Disponible en: http://www.grupokaizen.com/mck/Que_es_el_Lean_Manufacturing.pdf. [Consulta: 2010, Agosto, 15].

GUIX CORNELLA (s.f.). *Especificaciones y características del Banbury GUIX-45N. Maquinaria para caucho y plásticos, Mezclador interno GUIX-45N*. España: Autor. Páginas: 1-3.

Identificación pesaje y control. (s.f.). *Control de procesos por peso*. [Página Web en Línea]. Disponible en: <http://www.ipc.com.mx/pi-control-procesos-por-peso.html>. [Consulta: 2011, Febrero, 03].

Lázaro, A. y Barrera, V. (s.f.). *Sistemas de almacenamiento de sólidos*. [Documento en Línea]. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/3169523/SISTEMAS-DE-ALMACENAMIENTO-DE-SOLIDOS>. [Consulta, 2011, Enero 04].

Lozano, O. (2008). *Automatización de una línea de ensacado y transporte de piensos*. [Documento en Línea]. Disponible en: <http://cde05.etse.urv.es/pub/pdf/1289pub.pdf>. [Consulta: 2011, Enero, 11].

Meneses J. (1987). *Manual de calidad de laboratorio*. [Información interna de la empresa]. Venezuela. Tomo II. Páginas 1-8.

Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. (2001). *Enciclopedia de salud y seguridad Industrial*. (3era Edición). Volumen 3, capítulo 80. [Libro en Línea]. Disponible en: http://www.mtin.es/es/publica/pub_electronicas/destacadas/enciclo/general/contenido/tomo3/80.pdf. [Consulta: 2010, Septiembre, 18].

Palacios C. (1999). *Actualización de tiempos estándares en procesos de vulcanización de llanta de camión y radial, construcción de pestañas y mejora de métodos en las áreas de pesado de pigmentos, bodega de producto terminado, reparación de llantas, Cushon Mill y oficinas*. [Versión completa en Línea]. Trabajo especial de grado para optar por el título de Ingeniero Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_4529.pdf. [Consulta: 2010, Septiembre, 05].

Perry R. y Chilton, C. (1986). *Biblioteca del Ingeniero Químico*. Quinta Edición. Editorial McGraw-Hill. México. Volumen III, capítulo 7, pág. 7-24, 7-30.

Pesacoa C.A. (s.f). *Automatización y productos de pesajes*. [Página Web en Línea]. Disponible en: www.pesajeyautomatismos.com.ve. [Consulta: 2011, Febrero, 07].

Prillwitz y Cia. (2004). *Fluidificador de silos*. [Documento en Línea]. Disponible en: http://www.prillwitz.com.ar/catalogo/fl/_fluidificador_vibrante_por_aire_de_silos_o_tolvas.htm. [Consulta: 2011, Marzo, 14].

Ochoa, F. (2007). *Cumplimiento de (PPT), propiedades físicas de los compuestos*. Instrucción del sistema de gestión de Goodyear Productos Industriales. [Información interna de la empresa]. Venezuela.

Ochoa, F. (2007). *Dureza Shore*. Instrucción del sistema de gestión de Goodyear Productos Industriales. [Información interna de la empresa]. Venezuela.

Ochoa, F. (2007). *Liberación de compuestos productivos*. Instrucción del sistema de gestión de Goodyear Productos Industriales. [Información interna de la empresa]. Venezuela.

Ochoa, F. (2007). *Liberación de compuestos no productivos*. Instrucción del sistema de gestión de Goodyear Productos Industriales. [Información interna de la empresa]. Venezuela.

Ochoa, F. (2007). *Mezcla/ Secuencia en la carga de los ingredientes*. Procedimiento del sistema de gestión de Goodyear Productos Industriales. [Información interna de la empresa]. Venezuela.

Ochoa, F. (2007). *Procedimiento General de Banbury*. Procedimiento del sistema de gestión de Goodyear Productos Industriales. [Información interna de la empresa]. Venezuela.

Ochoa, F. (2007). *Procedimiento control de laboratorio físico químico*. Procedimiento del sistema de gestión de Goodyear Productos Industriales. [Información interna de la empresa]. Venezuela.

Ochoa, F. (2007). *Reómetro 100 (MONSANTO)*. Instrucción del sistema de gestión de Goodyear Productos Industriales. [Información interna de la empresa]. Venezuela.

Omega Engineering, Inc. (s.f.). *Equipos de control y automatización de procesos*. [Página Web en Línea]. Disponible en: <http://www.omega.com/>. [Consulta: 2011, Febrero, 05].

Quality-One. (s.f.). *AMEF (Análisis de Modo y Efecto de Falla)*. [Documento en Línea]. Disponible en: <http://www.quality-one.com/services/fmeaES.php>. [Consulta: 2010, Agosto, 06]

Ramírez, J. (s.f.). *Diagrama causa-efecto*. [Documento en Línea]. Disponible en: http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_industrial/diagramacausaefecto/. [Consulta: 2010, Agosto, 01]

Ravenet, J. (1983). *Silos, Flujo de vaciado de sólidos. Formación de bóvedas. Efectos*. [Libro en Línea]. Disponible en: http://books.google.com/books?id=oJSHwFi_FxUC&printsec=frontcover&dq=silos&hl=es&ei=W87GTaOYK8m5tgfNpoGrBA&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=2&ved=0CF8Q6AEwAQ#v=onepage&q&f=false. [Consulta: 2010, Octubre, 07]

Robótica e Instrumentación Industrial SA. (s.f.). *Resultados de un Sistema de Formulación Instalado en EU*. [Documento en Línea]. Disponible en: <http://www.robotica.com.mx/powder.html>. [Consulta: 2011, Febrero, 06].

Sartorius mechatronics. (s.f.). *Terminal Pro Combics*. [Documento en Línea]. Disponible en: <http://www.sartorius-mechatronics.com/ES/es/Controlador-de-proceso/Terminal-Pro-Combics/huqhob4z3ro/ir39ogivkpu/mp.htm>. [Consulta: 2011, Febrero, 06].

Tarnos S.A. (s.f.). *Indicadores de flujo, Detectores de nivel*. [Documento en Línea]. Disponible en: http://www.tarnos.com/espanol/catalogos/indicadores_nivel_flujo.pdf. [Consulta: 2011, Febrero, 06].

Universidad de Castilla-La Mancha. (1999). *Código Internacional recomendado de prácticas para el almacenamiento y transporte de aceites y grasas comestibles a granel*. [Documento en Línea]. Disponible en: <http://www.uclm.es/profesorado/mdsalvador/58119/practicas/Codex%20CAC-RC%2036%20Almacenamiento%20aceites%20y%20grasas.pdf>. [Consulta: 2010, Diciembre, 20].

Universidad de Oviedo. (s.f.). *Control y mejora de un proceso. Gráficos de Control. Control estadístico de procesos*. [Documento en Línea]. Disponible en: http://gio.uniovi.es/documentos/asignaturas/descargas/Presentacion_Control_de_Calidad.pdf. [Consulta: 2010, Octubre, 13].

Universidad Pedagógica Experimental del Libertador, Vicerectorado de investigación y posgrado (2006). *Manual de trabajos de Grado de Especialización y de Maestría y Tesis Doctorales*. Venezuela.

Vidal. E. (2007). *Influencia de la actividad superficial de diferentes componentes de una formulación de caucho en la reacción de vulcanización*. [Resumen en Línea]. Trabajo especial de grado para optar por el título de Ingeniero Industrial. Instituto Químico de Sarriá. España. Disponible en: http://www.tesisnarxa.net/TDX-0612107-165242/index_cs.html. [Consulta: 2010, Septiembre, 20].

Walpole, R. (1999). *Probabilidad y Estadística para Ingenieros*. México. Sexta edición. PRENTICE-HALL HISPANOAMERICANA, S.A. Páginas 636-637.

APÉNDICE A CÁLCULOS TÍPICOS

A.1. Cálculo del número prioritario de riesgo (NPR).

Para el cálculo de cada uno de los NPR mostrados en el desarrollo del análisis de modo y efecto de falla (tabla 4.4) se sustituyeron los valores de severidad, ocurrencia y detección de cada uno de los factores analizados en la ecuación 2.3 descrita en el capítulo II, por ejemplo para el primer NPR mostrado se realizó:

$$\begin{aligned} NPR &= (9 \cdot 8 \cdot 8) \text{ Adim} \\ NPR &= 576 \text{ Adim} \end{aligned}$$

Cálculo del error:

Aplicando el método de las derivadas parciales se obtiene:

$$\Delta NPR = \left| \frac{\partial NPR}{\partial D} \right| \cdot \Delta D + \left| \frac{\partial NPR}{\partial O} \right| \cdot \Delta O + \left| \frac{\partial NPR}{\partial S} \right| \cdot \Delta S$$

Por ser todos valores teóricos no poseen error y se obtiene que:

$$\Delta NPR = 0$$

Por lo tanto:

$$NPR = 576 \text{ Adim}$$

A.2. Cálculo de la producción promedio de cada uno de los compuestos de goma en los meses de marzo a agosto del año 2010.

Se calculó mediante la ecuación:

$$PP = \frac{\sum_{i=\text{marzo}}^{\text{agosto}} P_i}{n} \quad (\text{A.1})$$

Donde:

PP: producción promedio, kg

P_i : producción en el mes i, kg

n: cantidad de meses, Adim.

Sustituyendo la cantidad producida del COMP1 en los meses de marzo a agosto del año 2010 (tabla 4.5) en la ecuación A.1 se obtiene:

$$PP_{COMP1} = \frac{(20.918,50 + 1.500,00 + 21.935,10 + 35.735,70 + 0,00 + 11.250,00)\text{kg}}{6}$$

$$PP_{COMP1} = 15.223,22 \text{ kg}$$

El mismo procedimiento fue usado para calcular la producción promedio mensual del resto de los compuestos de goma mostrados en la tabla 4.5.

Cálculo del error:

Aplicando el método de las derivadas parciales se obtiene:

$$\Delta PP = \left| \frac{\partial PP}{\partial n} \right| \cdot \Delta n + \left| \frac{\partial PP}{\partial \sum_{i=\text{marzo}}^{\text{agosto}} P_i} \right| \cdot \Delta \left(\sum_{i=\text{marzo}}^{\text{agosto}} P_i \right)$$

Por ser todos valores teóricos no poseen error y se obtiene que:

$$\Delta PP = 0$$

Finalmente:

$$PP_{COMP1} = 15.223,22 \text{ kg}$$

A.3. Cálculo de los parámetros reométricos M90 y Mt_s2

El parámetro reométrico Mt_s2 se calculó a partir del valor de M_L y aplicando la ecuación 2.1, por ejemplo para la carga número 1, muestra A, se obtuvo:

$$Mt_{s,2} = 9,58 \text{ lb} \cdot \text{plg} + 2 \text{ lb} \cdot \text{plg}$$

$$Mt_{s,2} = 11,58 \text{ lb} \cdot \text{plg}$$

Cálculo del error:

Aplicando el método de las derivadas parciales se obtiene:

$$\Delta Mt_{s,2} = \left| \frac{\partial Mt_{s,2}}{\partial M_L} \right| \cdot \Delta M_L$$

Sustituyendo los respectivos valores se obtiene:

$$\Delta Mt_{s,2} = 1 \cdot (0,01 \text{ lb} \cdot \text{plg})$$

$$\Delta Mt_{s,2} = 0,01 \text{ lb} \cdot \text{plg}$$

Por lo tanto:

$$Mt_{s,2} = (11,58 \pm 0,01) \text{ lb} \cdot \text{plg}$$

En cuanto a los valores de M90, se calcularon mediante la ecuación 2.2, por ejemplo al sustituir los valores de M_L y M_H obtenidos al realizar el ensayo reométrico a la carga 1, muestra A, resultó:

$$M90 = 9,58 \text{ lb} \cdot \text{plg} + 0,9 \cdot (34,22 - 9,58) \text{ lb} \cdot \text{plg}$$

$$M90 = 31,76 \text{ lb} \cdot \text{plg}$$

Cálculo del error:

Aplicando el método de las derivadas parciales se obtiene:

$$\Delta M90 = \left| \frac{\partial M90}{\partial M_L} \right| \cdot \Delta M_L + \left| \frac{\partial M90}{\partial M_H} \right| \cdot \Delta M_H + \left| \frac{\partial M90}{\partial X} \right| \cdot \Delta X$$

El porcentaje de torque total que se desea calcular es un valor teórico por lo tanto:

$$\Delta M90 = \left| \frac{\partial M90}{\partial M_L} \right| \cdot \Delta M_L + \left| \frac{\partial M90}{\partial M_H} \right| \cdot \Delta M_H$$

Sustituyendo los respectivos valores se obtiene:

$$\Delta M90 = (1 - X) \cdot \Delta M_L + X \cdot \Delta M_H$$

$$\Delta M90 = (1 - 0,9) \cdot 0,01 \text{ lb} \cdot \text{plg} + 0,9 \cdot 0,01 \text{ lb} \cdot \text{plg}$$

$$\Delta M90 = 0,001 \text{ lb} \cdot \text{plg} + 0,009 \text{ lb} \cdot \text{plg}$$

$$\Delta M90 = 0,01 \text{ lb} \cdot \text{plg}$$

Por lo tanto:

$$M90 = (31,76 \pm 0,01) \text{ lb} \cdot \text{plg}$$

El mismo procedimiento se utilizó para calcular el resto de los valores de M90 y Mt_s2, los cuales se muestran en la tabla 4.5.

A.4. Cálculo del rango de tolerancia para M90 y Mt_s2.

Para la determinación del rango de tolerancia de los valores M90 y Mt_s2, se aplicó la norma interna de control del laboratorio físico químico de la empresa (PQT-QT-06-01) en la cual se establece que deben ser ±15% de su valor medio, es decir para el cálculo del torque mínimo permitido:

$$M_l = M_m - 0,15 \cdot (M_m) \quad (\text{A.2})$$

Donde:

M_l: valor de torque mínimo permitido, lb.plg

M_m: valor de torque promedio, lb.plg

Sustituyendo en la ecuación A.2 el valor medio de M90, el cual se obtuvo al construir el respectivo grafico de control con el software estadístico (figura 4.8), resultó:

$$M90_l = 31,7707 \text{ lb} \cdot \text{plg} - 0,15 \cdot (31,7707 \text{ lb} \cdot \text{plg})$$

$$M90_I = 27,005 \text{ lb} \cdot \text{plg}$$

Cálculo del error:

Aplicando el método de las derivadas parciales se obtiene:

$$\Delta M_I = (1 - 0,15) \cdot \Delta M_m$$

Sustituyendo los respectivos valores:

$$\begin{aligned} \Delta M90_I &= (1 - 0,15) \cdot 0,01 \text{ lb} \cdot \text{plg} \\ \Delta M90_I &= 0,0085 \text{ lb} \cdot \text{plg} \cong 0,01 \text{ lb} \cdot \text{plg} \end{aligned}$$

Por lo tanto:

$$M90_I = (27,005 \pm 0,01) \text{ lb} \cdot \text{plg}$$

Para el cálculo del torque máximo permitido se aplicó la siguiente ecuación:

$$M_S = M_m + 0,15 \cdot (M_m) \quad (\text{A.3})$$

Donde:

M_S : valor de torque máximo permitido, lb.plg

Sustituyendo en la ecuación A.3 el valor medio de M90, resultó:

$$\begin{aligned} M90_S &= 31,7707 \text{ lb} \cdot \text{plg} + 0,15 \cdot (31,7707 \text{ lb} \cdot \text{plg}) \\ M90_S &= 36,536 \text{ lb} \cdot \text{plg} \end{aligned}$$

Cálculo del error:

Aplicando el método de las derivadas parciales a las ecuaciones A.3 se obtiene:

$$\Delta M_S = (1 + 0,15) \cdot \Delta M_m$$

Sustituyendo los respectivos valores:

$$\begin{aligned} \Delta M90_S &= (1 + 0,15) \cdot 0,01 \text{ lb} \cdot \text{plg} \\ \Delta M90_I &= 0,0115 \text{ lb} \cdot \text{plg} \cong 0,01 \text{ lb} \cdot \text{plg} \end{aligned}$$

Por lo tanto:

$$M90_I = (36,54 \pm 0,01) \text{ lb} \cdot \text{plg}$$

Para la determinación de los valores máximo y mínimo permitidos de $M_{t,2}$ se aplicó el mismo procedimiento, resultando:

$$\begin{aligned} M_{t,2_I} &= (9,653 \pm 0,01) \text{ lb} \cdot \text{plg} \\ M_{t,2_S} &= (13,059 \pm 0,01) \text{ lb} \cdot \text{plg} \end{aligned}$$

A.5. Cálculo del consumo promedio de ingredientes (negro de humo, rellenos, aceites y plastificantes) en los meses de marzo a agosto.

Se calculó el consumo promedio de cada uno de los ingredientes utilizados en el área de elaboración de compuestos aplicando la siguiente ecuación:

$$CP = \frac{\sum_{i=\text{marzo}}^{\text{agosto}} C_i}{n} \quad (\text{A.4})$$

Donde:

CP : consumo promedio, kg

C_i : consumo en el mes i , kg

n : cantidad de meses, Adim.

Por ejemplo sustituyendo las cantidades consumidas en la empresa de Neg1 en los meses de marzo a agosto del año 2010 en la ecuación A.4, se obtuvo:

$$\begin{aligned} CP_{Neg1} &= \frac{(3.583,06 + 3.614,67 + 2.019,56 + 3.041,17 + 4.236,76 + 30.512,54) \text{kg}}{6} \\ CP_{Neg1} &= 7.834,63 \text{ kg} \end{aligned}$$

Cálculo del error:

Aplicando el método de las derivadas parciales a la ecuación A.4 se obtiene:

$$\Delta CP = \left| \frac{\partial CP}{\partial n} \right| \cdot \Delta n + \left| \frac{\partial CP}{\partial \sum_{i=\text{marzo}}^{\text{agosto}} C_i} \right| \cdot \Delta \left(\sum_{i=\text{marzo}}^{\text{agosto}} C_i \right)$$

Por ser todos valores teóricos no poseen error y se obtiene que:

$$\Delta CP_{Neg1} = 0$$

Finalmente:

$$CP_{Neg1} = 7.834,63 \text{ kg}$$

Los valores obtenidos de consumo promedio para el resto de los ingredientes se encuentran reflejados en las tabla 4.10 y 4.15.

A.6. Cálculo del volumen necesario para almacenar lo correspondiente al consumo promedio de cada uno de los ingredientes utilizados en el área de elaboración de compuestos.

Para calcular el volumen necesario para almacenar lo correspondiente al consumo promedio mensual de un ingrediente se utilizó:

$$V = \frac{m}{\rho} \cdot F_{C_1} \quad (\text{A.5})$$

Donde:

V : volumen, m^3 .

m : masa, kg

ρ : densidad, g/cm^3

F_{C_1} : factor de conversión, $0,001 \text{ g} \cdot m^3 / \text{kg} \cdot \text{cm}^3$

Sustituyendo la cantidad promedio consumida de Neg1 (tabla 4.10) y el respectivo valor de densidad (tabla B.1) en la ecuación A.5 resultó:

$$V_{Neg1} = \frac{7.834,63 \text{ kg}}{\frac{1,82 \text{ g}}{\text{cm}^3}} \cdot 0,001 \frac{\text{g} \cdot m^3}{\text{kg} \cdot \text{cm}^3}$$

$$V_{Neg1} = 4,3037 \text{ m}^3$$

Cálculo del error:

Aplicando el método de las derivadas parciales a la ecuación A.5 se obtiene:

$$\Delta V = \left| \frac{\partial V}{\partial m} \right| \cdot \Delta m + \left| \frac{\partial V}{\partial \rho} \right| \cdot \Delta \rho + \left| \frac{\partial V}{\partial F_{C_1}} \right| \cdot \Delta F_{C_1}$$

Debido a que la densidad y el factor de conversión son valores teóricos que no poseen error asociado y que el error de la masa es igual a cero, resulta:

$$\Delta V = 0$$

Por lo tanto:

$$V_{Neg1} = 4,30 \text{ m}^3$$

El cálculo del volumen para el resto de los ingredientes se realizó siguiendo el mismo procedimiento y los valores obtenidos se muestran en la tabla 4.13

A.7. Cálculo del 10% de sobrediseño del volumen

Se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$V_{10\%} = 0,10 \cdot V \quad (\text{A.6})$$

Donde:

$V_{10\%}$: 10% del volumen aproximado, m^3

Sustituyendo el volumen aproximado para la tolva que contendrá Neg1 (tabla 4.13) en la ecuación A.6, se obtuvo:

$$\begin{aligned} V_{10\%} &= 0,10 \cdot (4,30 \text{ m}^3) \\ V_{10\%} &= 0,43 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Cálculo del error:

Aplicando el método de las derivadas parciales a la ecuación A.6 se obtiene:

$$\Delta V_{10\%} = 0,10 \cdot \Delta V$$

El error del volumen es cero por lo tanto:

$$\Delta V_{10\%} = 0$$

Finalmente:

$$V_{10\%} = 0,43 \text{ m}^3$$

Para calcular el volumen de sobrediseño al resto de las tolvas se siguió el mismo procedimiento, y los resultados se muestran en la tabla 4.13.

A.8. Cálculo del volumen total de la tolva

Se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$V_T = V + V_{10\%} \quad (\text{A.7})$$

Donde:

V_T : volumen total, m^3

Sustituyendo en la ecuación A.7 los volúmenes correspondientes a la tolva de Neg1, se obtiene:

$$\begin{aligned} V_T &= 4,30 \text{ m}^3 + 0,43 \text{ m}^3 \\ V_T &= 4,73 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Cálculo del error:

Aplicando el método de las derivadas parciales se obtiene:

$$\Delta V_T = \left| \frac{\partial V_T}{\partial V} \right| \cdot \Delta V + \left| \frac{\partial V_T}{\partial V_{10\%}} \right| \cdot \Delta V_{10\%}$$

Tomando en cuenta que el error del volumen total y el del sobrediseño no poseen error asociado, se obtiene:

$$\Delta V_T = 0$$

Por lo tanto:

$$V_T = 4,73 \text{ m}^3$$

A.9. Cálculo de la altura de la parte cilíndrica de la tolva.

Se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$h_1 = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D^2} \quad (\text{A.8})$$

Donde:

h_1 : altura de la parte cilíndrica de la tolva, m

D : diámetro de la parte cilíndrica de la tolva, m

Sustituyendo los valores de volumen y diámetro establecidos para la tolva que contendrá Neg1 se obtiene:

$$\begin{aligned} h_1 &= \frac{4 \cdot 4,30 \text{ m}^3}{\pi \cdot (1,5\text{m})^2} \\ h_1 &= 2,4333 \text{ m} \end{aligned}$$

Cálculo del error:

Aplicando el método de las derivadas parciales se obtiene:

$$\Delta h_1 = \left| \frac{\partial h_1}{\partial V} \right| \cdot \Delta V + \left| \frac{\partial h_1}{\partial D} \right| \cdot \Delta D + \left| \frac{\partial h_1}{\partial \pi} \right| \cdot \Delta \pi$$

Tomando en cuenta que el error del volumen es cero y que los valores teóricos no poseen error resultó:

$$\Delta h_1 = \left| \frac{\partial h_1}{\partial D} \right| \cdot \Delta D$$

$$\Delta h_1 = \left(\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D^3} \right) \cdot \Delta D$$

Sustituyendo los valores de volumen y diámetro de la tolva que contendrá Neg1 se obtuvo:

$$\Delta h_1 = \frac{4 \cdot (4,30 \text{ m}^3)}{\pi \cdot (1,5 \text{ m})^3} \cdot 0,001 \text{ m}$$

$$\Delta h_1 = 0,001622 \text{ m} \cong 0,002 \text{ m}$$

Por lo tanto:

$$h_1 = (2,433 \pm 0,002) \text{ m}$$

A.10. Cálculo de la altura de la parte cónica de la tolva.

Se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$h_2 = \frac{3 \cdot V_{10\%}}{\pi \cdot (R^2 + (r \cdot Fc_2)^2 + R \cdot r \cdot Fc_2)} \quad (\text{A.9})$$

Donde:

h_2 : altura de la parte cónica de la tolva, m

R : radio superior, m

r : radio inferior, plg

Fc_2 : factor de conversión, 0,0254 m/plg

Sustituyendo en la ecuación A.9 los valores correspondientes a la tolva para almacenar Neg1, resultó:

$$h_2 = \frac{3 \cdot (0,43 \text{ m}^3)}{\pi \cdot \left((0,750 \text{ m})^2 + \left(1 \text{ plg} \cdot 0,0254 \frac{\text{m}}{\text{plg}} \right)^2 + 0,750 \text{ m} \cdot 1 \text{ plg} \cdot 0,0254 \frac{\text{m}}{\text{plg}} \right)}$$

$$h_2 = 0,70529 \text{ m}$$

Cálculo del error:

$$\Delta h_2 = \left| \frac{\partial h_2}{\partial V} \right| \cdot \Delta V_{10\%} + \left| \frac{\partial h_2}{\partial R} \right| \cdot \Delta R + \left| \frac{\partial h_2}{\partial r} \right| \cdot \Delta r + \left| \frac{\partial h_2}{\partial \pi} \right| \cdot \Delta \pi + \left| \frac{\partial h_2}{\partial Fc_2} \right| \cdot \Delta Fc_2$$

Tomando en cuenta que el error del volumen es cero y que los valores teóricos no tienen errores asociados se obtiene:

$$\Delta h_2 = \frac{3 \cdot V_{10\%} \cdot (2 \cdot R + r \cdot Fc_2)}{\pi \cdot (R^2 + (r \cdot Fc_2)^2 + R \cdot r \cdot Fc_2)^2} \cdot \Delta R$$

Sustituyendo se obtiene:

$$\Delta h_2 = \frac{3 \cdot 0,43 \text{ m}^3 \cdot \left(2 \cdot 0,750 \text{ m} + 1,5 \text{ plg} \cdot 0,0254 \frac{\text{m}}{\text{plg}} \right)}{\pi \cdot \left((0,750 \text{ m})^2 + \left(1 \text{ plg} \cdot 0,0254 \frac{\text{m}}{\text{plg}} \right)^2 + 0,750 \text{ m} \cdot 1 \text{ plg} \cdot 0,0254 \frac{\text{m}}{\text{plg}} \right)^2} \cdot 0,001 \text{ m}$$

$$\Delta h_2 = 0,001847 \text{ m} \cong 0,002 \text{ m}$$

Por lo tanto:

$$h_2 = (0,705 \pm 0,002) \text{ m}$$

A.11. Cálculo del ángulo de inclinación de la parte cónica de la tolva con respecto a la vertical.

Se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{R-r \cdot Fc_2}{h_2} \right) \quad (\text{A.10})$$

Donde:

α : ángulo de inclinación con respecto a la vertical, °.

Sustituyendo en la ecuación A.10 los valores de radio superior e inferior y altura de la tolva para almacenar Neg1 se obtuvo:

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{0,750 \text{ m} - 1 \text{ plg} \cdot 0,0254 \frac{\text{m}}{\text{plg}}}{0,705 \text{ m}} \right)$$

$$\alpha = 45,7734^\circ$$

Calculo del error:

Aplicando el método de las derivadas parciales a la ecuación A.10 resultado:

$$\Delta\alpha = \left| \frac{\partial\alpha}{\partial R} \right| \cdot \Delta R + \left| \frac{\partial\alpha}{\partial r} \right| \cdot \Delta r + \left| \frac{\partial\alpha}{\partial h_2} \right| \cdot \Delta h_2 + \left| \frac{\partial\alpha}{\partial Fc_2} \right| \cdot \Delta Fc_2$$

Tomando en cuenta que el radio inferior y el factor de conversión no poseen error asociado se obtiene:

$$\Delta\alpha = \left| \frac{\partial\alpha}{\partial R} \right| \cdot \Delta R + \left| \frac{\partial\alpha}{\partial h_2} \right| \cdot \Delta h_2$$

$$\Delta\alpha = \frac{\frac{1-r \cdot Fc_2}{h_2}}{\left(1 + \left(\frac{R-r \cdot Fc_2}{h_2}\right)^2\right)} \cdot \Delta R + \frac{\frac{R-r \cdot Fc_2}{h_2^2}}{\left(1 + \left(\frac{R-r \cdot Fc_2}{h_2}\right)^2\right)} \cdot \Delta h_2$$

$$\Delta\alpha = \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{R-r \cdot Fc_2}{h_2}\right)^2\right) \cdot h_2} \cdot \left[(1-r \cdot Fc_2) \cdot \Delta R + \frac{R-r \cdot Fc_2}{h_2} \cdot \Delta h_2 \right]$$

Sustituyendo los respectivos valores se obtiene:

$$\Delta\alpha = \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{0,750\text{m} - 1\text{plg} \cdot 0,0254 \frac{\text{m}}{\text{plg}}}{0,705 \text{ m}}\right)^2\right)} \cdot 0,705\text{m}$$

$$\cdot \left[\left(1 - 1\text{plg} \cdot 0,0254 \frac{\text{m}}{\text{plg}}\right) \cdot 0,001\text{m} + \frac{0,750\text{m} - 1\text{plg} \cdot 0,0254 \frac{\text{m}}{\text{plg}}}{0,705 \text{ m}} \cdot 0,002\text{m} \right]$$

$$\Delta\alpha = 0,002089^\circ \cong 0,002^\circ$$

Finalmente:

$$\alpha = (45,7734 \pm 0,002)^\circ$$

A.12. Cálculo del volumen de la tolva pesadora

Se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$V_{TP} = \frac{m}{\rho} \cdot Fc_3 \quad (\text{A.11})$$

Donde:

V_{TP} : volumen de la tolva pesadora, l

Fc_3 : factor de conversión 3, $1 \frac{\text{g} \cdot \text{l}}{\text{kg} \cdot \text{cm}^3}$

Sustituyendo en la ecuación A.11 la cantidad máxima que se pesara en la tolva y los correspondientes valores de densidad y factor de conversión se obtiene:

$$V_{TP} = \frac{25,230 \text{ kg}}{1,82 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} \cdot 1 \frac{\text{g} \cdot \text{l}}{\text{kg} \cdot \text{cm}^3}$$

$$V_{TP} = 13,8626 \text{ l}$$

Cálculo del error:

Aplicando el método de las derivadas parciales a la ecuación A.11 resultado:

$$\Delta V_{TP} = \left| \frac{\partial V}{\partial m} \right| \cdot \Delta m + \left| \frac{\partial V}{\partial \rho} \right| \cdot \Delta \rho + \left| \frac{\partial V}{\partial Fc_3} \right| \cdot \Delta Fc_3$$

Simplificando:

$$\Delta V_{TP} = \frac{Fc_3}{\rho} \cdot \Delta m$$

Sustituyendo los respectivos valores se obtiene:

$$\Delta V_{TP} = \frac{1 \frac{\text{g} \cdot \text{l}}{\text{kg} \cdot \text{cm}^3}}{1,82 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} \cdot 0,001 \text{ l}$$

$$\Delta V_{TP} = 0,000549 \text{ l} \cong 0,001 \text{ l}$$

Finalmente:

$$V_{TP} = (13,863 \pm 0,001) \text{ l}$$

A.13. Cálculo del consumo promedio trimestral de aceite.

Para determinar el consumo promedio trimestral de aceite se utilizó la siguiente ecuación:

$$CPT = 3 \cdot \frac{CP}{\rho} \cdot Fc_1 \quad (\text{A.12})$$

Donde:

CPT: consumo promedio trimestral, m³

Sustituyendo el consumo promedio mensual del aceite ACE2 (tabla 4.15) en la ecuación A.12 resultado:

$$CPT = 3 \cdot 4147,29 \text{ kg} \cdot 1 \frac{\text{cm}^3}{\text{g}} \cdot 0,001 \frac{\text{g} \cdot \text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{cm}^3}$$

$$CPT = 12,44187 \text{ m}^3$$

Cálculo del error:

Aplicando el método de las derivadas parciales a la ecuación A.12 se obtuvo:

$$\Delta CPT = \left| \frac{\partial CPT}{\partial CP} \right| \cdot \Delta CP + \left| \frac{\partial CPT}{\partial \rho} \right| \cdot \Delta \rho + \left| \frac{\partial CPT}{\partial Fc_1} \right| \cdot \Delta Fc_1$$

Considerado que el consumo promedio mensual del aceite ACE2, la densidad y el factor de conversión son valores teóricos, resulta:

$$\Delta CPT = 0$$

Finalmente:

$$CPT = 12,44 \text{ m}^3$$

A.14. Cálculo del costo a disminuir por año en mano de obra e insumos perdidos por carga reprocessada.

Para determinar la disminución costos de mano de obra y de servicios por cada carga reprocesada se utilizó la siguiente ecuación:

$$C_{R\%} = Pc \cdot C_T \cdot \%R \cdot C_{MO,S} \cdot NT \cdot DT \cdot F_{C_4} \quad (\text{A.13})$$

Donde:

Pc : peso por carga, kg/carga

C_T : cargas por turno, 45 cargas/turno

$\%R$: porcentaje de reproceso, Adim.

$C_{MO,S}$: costos mano de obra y servicio por kilogramo de goma, 2,2236 Bs/kg

NT : número de turnos, 3 turnos/día

DT : días trabajados, 22 días/mes

F_{C_4} : factor de conversión 4, 12 $\frac{mes}{año}$

$C_{R\%}$: costo de mano de obra e insumos al reprocesar el R% de las cargas, Bs/año

Sustituyendo los respectivos valores en la ecuación A.13 se obtiene:

$$C_{5\%} = 53,5 \frac{kg}{carga} \cdot 45 \frac{carga}{turno} \cdot 5\% \cdot 2,2236 \frac{Bs}{kg} \cdot 3 \frac{turno}{día} \cdot 22 \frac{día}{mes} \cdot 12 \frac{mes}{año}$$

$$C_{5\%} = 211991,35 \frac{Bs}{año}$$

Cálculo del error:

Aplicando el método de las derivadas parciales a la ecuación A.13 se obtiene:

$$\Delta C_{5\%} = \left| \frac{\partial C_{5\%}}{\partial Pc} \right| \cdot \Delta Pc + \left| \frac{\partial C_{5\%}}{\partial C_T} \right| \cdot \Delta C_T + \left| \frac{\partial C_{5\%}}{\partial \%R} \right| \cdot \Delta \%R + \left| \frac{\partial C_{5\%}}{\partial C_{MO,S}} \right| \cdot \Delta C_{MO,S} + \left| \frac{\partial C_{5\%}}{\partial NT} \right| \cdot \Delta NT + \left| \frac{\partial C_{5\%}}{\partial DT} \right| \cdot \Delta DT + \left| \frac{\partial C_{5\%}}{\partial F_{C_4}} \right| \cdot \Delta F_{C_4}$$

Considerando que solamente posee error el peso por carga, se tiene:

$$\Delta C_{5\%} = \left| \frac{\partial C_{5\%}}{\partial Pc} \right| \cdot \Delta Pc$$

$$\Delta C_{5\%} = \left(45 \frac{carga}{turno} \cdot 5\% \cdot 2,2236 \frac{Bs}{kg} \cdot 3 \frac{turno}{día} \cdot 22 \frac{día}{mes} \cdot 12 \frac{mes}{año} \right) \cdot 0,05 \frac{kg}{carga}$$

$$\Delta C_{5\%} = 198 \frac{Bs}{año} \cong 200 \frac{Bs}{año}$$

Finalmente la disminución por costos de mano de obra y servicio resulta:

$$C_{5\%} = (211991 \pm 200) \frac{Bs}{año}$$

De igual manera se realizan los cálculos cuando el reproceso es de 3% (Lean Manufacturing) y 1% (automatización de pesado).

El ahorro total viene dado por la ecuación A. 14

$$C_R = C_{5\%} - C_{R\%} \quad (\text{A.14})$$

Donde:

C_R : costos por reproceso, Bs/año.

Sustituyendo los respectivos valores en la ecuación anterior se tiene:

$$C_R = (211991 - 42398) \frac{Bs}{año}$$

$$C_R = 169593 \frac{Bs}{año}$$

Cálculo del error:

Aplicando el método de derivadas parciales:

$$\Delta C_R = \left| \frac{\partial C_R}{\partial C_{5\%}} \right| \cdot \Delta C_{5\%} + \left| \frac{\partial C_R}{\partial C_{R\%}} \right| \cdot \Delta C_{R\%}$$

Sustituyendo y simplificando se obtiene:

$$\Delta C_R = 1 \cdot 200 \frac{Bs}{año} + 1 \cdot 150 \frac{Bs}{año}$$

$$\Delta C_R = 350 \frac{Bs}{año}$$

Finalmente la disminución en costos viene dada por:

$$C_R = (169593 \pm 350) \frac{Bs}{año}$$

A.15. Cálculo de la disminución del costo por 100 libras de producción de compuestos de gomas.

Actualmente el costo de producción por 100 libras elaboradoras por el área de elaboración de compuestos es de $\frac{157,6 \$}{100 lb}$, al disminuir dichos valores la ganancia para la empresa aumenta.

Dicho valor se obtiene a partir de la siguiente ecuación A.15:

$$\frac{Costos}{100 lb} = \frac{C_f + C_v}{100 lb} \quad (\text{A.15})$$

Dónde:

$\frac{Costos}{100 lb}$: costos por 100 libras de producción, \$/lb

C_f : costos fijos por 100 libras de producción, \$

C_v : costos variables por 100 libras de producción, \$

Como la producción en la elaboración de compuestos aumentará 24% (correspondientes a las 10 cargas por turnos), se asume que los costos variables correspondientes a beneficios para mano de obra e insumos (como guantes, bolsas, servicios, polietileno, etc) también aumentarán en un 24% al valor actual, al igual que la producción realizada. Mientras que los costos fijos relacionados con el salario de los trabajadores se mantendrán iguales ya que no se están modificando la cantidad de operadores que trabajan en el área.

Por cada 100 libras elaboradas en el área de elaboración de compuestos los costos fijos son de 70,92 \$.

Sustituyendo en la ecuación A.15, se tiene:

$$\frac{Costos}{100 lb} = \frac{70,92 \$ + 86,68 \$ \cdot 1,24}{100 lb \cdot (1 + 0,24)}$$

$$\frac{Costos}{100 lb} = \frac{143,87 \$}{100 lb}$$

Cálculo del error:

Aplicando el método de derivadas parciales:

$$\Delta \frac{Costos}{100 lb} = \left| \frac{\partial \frac{Costos}{100 lb}}{\partial C_f} \right| \cdot \Delta C_f + \left| \frac{\partial \frac{Costos}{100 lb}}{\partial C_v} \right| \cdot \Delta C_v$$

Como los costos fijos y variables el error correspondiente a los costos por 100 libras de producción corresponde:

$$\Delta \frac{Costos}{100 lb} = 0$$

Finalmente:

$$\frac{\text{Costos}}{100 \text{ lb}} = \frac{143,87 \$}{100 \text{ lb}}$$

El ahorro bien dado por la siguiente ecuación:

$$A_{\frac{c}{100 \text{ lb}}} = \frac{157,6 \$}{100 \text{ lb}} - \frac{\text{Costos}}{100 \text{ lb}} \quad (\text{A.16})$$

Sustituyendo lo respectivos valores:

$$A_{\frac{c}{100 \text{ lb}}} = \frac{157,6 \$}{100 \text{ lb}} - \frac{143,87 \$}{100 \text{ lb}}$$

$$A_{\frac{c}{100 \text{ lb}}} = \frac{13,73 \$}{100 \text{ lb}}$$

Para la estimación del ahorro anual se tiene:

$$Aa = A_{\frac{c}{100 \text{ lb}}} \cdot F_{C_6} \cdot PM \cdot F_{C_4} \quad (\text{A.17})$$

Dónde:

Aa : ahorro anual, Bs/año

F_{C_6} : factor de conversión 6, 4,3 Bs/\$

PM : producción mensual, lb

Sustituyendo se obtiene:

$$Aa = \frac{13,73 \$}{100 \text{ lb}} \cdot 4,3 \frac{\text{Bs}}{\$} \cdot 223146 \text{ lb} \cdot 12 \frac{\text{mes}}{\text{año}}$$

$$Aa = 1580918 \frac{\text{Bs}}{\text{año}}$$

A.16. Relación costo beneficio.

Se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$R_{C/B} = \frac{Ci}{B} \quad (\text{A.18})$$

Dónde:

$R_{C/B}$: Relación costo beneficio

Ci : costos de implementación, Bs

B : beneficios, Bs/año

Sustituyendo en la ecuación A.18 para el caso de la implementación de un sistema de manufactura esbelta los valores fueron obtenidos de la tabla 4.21

$$R_{C/B} = \frac{50000 \text{ Bs}}{169593 \frac{\text{Bs}}{\text{año}}}$$

$$R_{C/B} = 0,29 \text{ año}$$

De igual manera se realiza el cálculo para la relación costo beneficio de la implementación de un sistema automático de pesado (tablas 4.22 y tabla 4.23)

$$R_{C/B} = 0,25 \text{ año}$$

APÉNDICE B TABLAS Y FIGURAS

TABLA B.1

PRODUCCIÓN PROMEDIO DE COMPUESTOS DE GOMA EN LOS MESES DESDE MARZO A AGOSTO DEL 2010

COMPUESTO DE GOMA	CANTIDAD PRODUCIDA (kg)						
	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	PROMEDIO MENSUAL
COMP1	20.918,50	1.500,00	21.935,10	35.735,70	0,00	11.250,00	15.223,22
COMP2	14.996,00	9.495,00	11.430,00	13.725,00	9.540,00	600,00	9.964,33
COMP3	4.644,02	6.300,00	7.750,00	9.400,00	9.450,00	10.400,00	7.990,67
COMP4	9.032,32	6.550,00	7.000,00	8.200,00	6.750,00	9.100,00	7.772,05
COMP5	506,00	1.575,00	5.490,00	720,00	675,00	37.000,00	7.661,00
COMP6	7.314,00	7.130,00	7.912,00	6.578,00	2.392,00	9.200,00	6.754,33
COMP7	1.060,71	1.000,00	1.050,00	4.050,00	3.350,00	4.400,00	2.485,12
COMP8	1.605,00	1.033,16	1.291,45	2.066,32	0,00	3.500,00	1.582,66
COMP9	1.690,80	541,00	1.244,30	2.055,80	2.272,20	1.500,00	1.550,68
COMP10	1.350,00	1.302,50	1.146,20	1.823,50	781,50	1.400,00	1.300,62
COMP11	1.066,17	766,50	1.073,10	1.226,40	0,00	900,00	838,70
COMP12	486,86	270,50	54,10	54,10	162,30	3.950,00	829,64
COMP13	457,47	300,00	500,00	1.350,00	1.550,00	500,00	776,25
COMP14	0,00	850,00	524,20	1.150,00	1.500,00	0,00	670,70
COMP15	0,00	0,00	272,10	1.200,00	1.600,00	0,00	512,02

TABLA B.1 (CONTINUACIÓN).

PRODUCCIÓN PROMEDIO DE COMPUESTOS DE GOMA EN LOS MESES DESDE MARZO A AGOSTO DEL 2010

COMPUESTO DE GOMA	CANTIDAD CONSUMIDA (kg)						PROMEDIO MENSUAL
	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	
COMP16	1.850,00	0,00	0,00	550,00	0,00	50,00	408,33
COMP17	152,00	200,00	760,00	500,00	600,00	150,00	393,67
COMP18	199,12	0,00	0,00	550,00	800,00	0,00	258,19
COMP19	0,00	200,00	189,32	500,00	0,00	500,00	231,55
COMP20	1.058,00	0,00	0,00	300,00	0,00	0,00	226,33
COMP21	439,28	0,00	439,28	0,00	0,00	350,00	204,76
COMP22	365,19	255,50	102,20	102,20	204,40	0,00	171,58
COMP23	0,00	0,00	865,60	0,00	150,00	0,00	169,27
COMP24	0,00	100,00	0,00	600,00	0,00	0,00	116,67
COMP25	400,00	0,00	0,00	0,00	200,00	0,00	100,00
COMP26	400,00	0,00	111,18	50,00	0,00	0,00	93,53
COMP27	100,04	0,00	200,76	100,38	0,00	0,00	66,86
COMP28	265,30	0,00	0,00	45,00	0,00	0,00	51,72
COMP29	0,00	0,00	0,00	0,00	250,00	0,00	41,67
COMP30	102,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,03

TABLA B.2
PARÁMETROS REOMÉTRICOS DEL COMPUESTO COMP1

Número de carga	Muestra	t ₂	t ₅₀	t ₉₀	M _L	M _H	M ₉₀	Mt ₂	TpU	TpL
		(± 0,01) min			(± 0,01) lb.plg			(± 0,01) °C		
1	A	1,02	1,31	1,63	9,58	34,22	31,76	11,58	190,84	191,32
	B	1,08	1,37	1,67	9,62	33,58	31,18	11,62	190,64	191,10
	C	1,10	1,47	1,75	9,78	34,27	31,82	11,78	190,42	190,68
2	A	1,05	1,35	1,64	9,58	35,07	32,52	11,58	190,46	190,52
	B	1,03	1,34	1,62	9,67	34,10	31,66	11,67	190,68	191,08
	C	1,04	1,35	1,64	9,24	34,12	31,63	11,24	190,64	191,23
3	A	0,97	1,25	1,55	9,10	33,37	30,94	11,10	190,76	191,11
	B	0,99	1,29	1,59	9,81	34,75	32,26	11,81	190,58	190,92
	C	0,97	1,27	1,59	9,76	34,46	31,99	11,76	190,76	191,47
4	A	1,04	1,34	1,66	8,86	34,37	31,82	10,86	190,54	190,58
	B	1,00	1,29	1,60	9,39	34,78	32,24	11,39	190,68	191,28
	C	0,97	1,26	1,54	8,91	34,14	31,62	10,91	190,82	191,80
5	A	1,03	1,36	1,68	9,15	33,56	31,12	11,15	190,64	191,16
	B	1,04	1,35	1,69	9,15	33,66	31,21	11,15	190,68	191,40
	C	1,06	1,38	1,67	9,48	33,84	31,40	11,48	190,68	191,50
6	A	0,97	1,27	1,56	9,24	33,52	31,09	11,24	190,72	191,56
	B	0,99	1,28	1,59	9,48	33,66	31,24	11,48	190,69	191,35
	C	0,98	1,28	1,59	9,48	33,94	31,49	11,48	190,80	191,71

TABLA B.2 (CONTINUACIÓN)
PARÁMETROS REOMÉTRICOS DEL COMPUESTO COMP1

Número de carga	Muestra	t _{s,2}	t ₅₀	t ₉₀	M _L	M _H	M ₉₀	Mt _{s,2}	TpU	TpL
		(± 0,01) min			(± 0,01) lb.plg			(± 0,01) °C		
7	A	1,06	1,36	1,67	9,67	34,61	32,12	11,67	190,42	190,77
	B	0,98	1,26	1,60	9,62	34,89	32,36	11,62	190,73	191,50
	C	0,94	1,23	1,53	9,48	34,98	31,76	11,58	190,82	191,90
8	A	1,03	1,35	1,69	9,29	34,13	32,43	11,48	190,82	191,58
	B	1,04	1,37	1,69	9,24	34,84	31,65	11,29	190,68	191,38
	C	1,02	1,36	1,67	9,24	35,12	32,28	11,24	190,73	191,60
9	A	0,99	1,30	1,58	9,12	34,63	32,53	11,24	190,92	191,98
	B	1,01	1,32	1,59	9,05	35,26	32,08	11,12	190,70	191,40
	C	1,02	1,33	1,60	9,05	34,91	32,64	11,05	190,73	191,57
10	A	1,03	1,38	1,70	9,20	33,89	32,32	11,05	190,67	191,40
	B	1,10	1,41	1,68	9,34	33,66	31,42	11,20	190,54	190,97
	C	1,05	1,37	1,68	9,10	33,51	31,23	11,34	190,64	191,23

TABLA B.3
CONSUMO PROMEDIO DE RELLENOS EN LOS MESES DE MARZO A AGOSTO DEL 2010

INGREDIENTE	CANTIDAD CONSUMIDA (kg)						
	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	PROMEDIO
Neg1	3.583,06	3.614,67	2.019,56	3.041,17	4.236,76	30.512,54	7.834,63
Neg2	5.662,32	4.601,24	5.505,93	5.513,91	4.971,91	17.592,37	7.307,95
Neg3	3.893,82	3.878,38	5.369,21	5.327,32	4.381,57	9.211,62	5.343,65
Neg4	4.794,59	180,18	180,18	29,12	18,86	18,86	870,30
Rel1	899,70	935,37	477,90	529,78	591,03	1353,98	797,96
Rel2	617,92	766,22	652,97	816,98	744,42	1184,91	797,24
Rel3	509,26	453,88	242,49	308,17	320,45	1852,49	614,46
Rel4	63,45	50,90	44,67	106,82	129,57	116,95	85,39
Rel5	91,09	104,01	106,74	46,52	49,86	73,54	78,63
Rel6	41,25	54,64	7,49	2,08	0,00	0,00	17,58
Neg5	42,46	38,43	4,36	12,99	0,00	0,00	16,37
Neg6	0,00	56,09	0,00	0,00	0,00	0,00	9,35
Neg7	2,26	4,91	4,22	0,00	0,00	0,00	1,90

TABLA B.4
CONSUMO PROMEDIO DE ACEITES Y PLASTIFICANTES EN LOS MESES DE MARZO A AGOSTO DEL 2010

INGREDIENTE	CANTIDAD CONSUMIDA (kg)						
	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	PROMEDIO
ACE1	3661,61	3938,99	5394,25	5140,16	4064,11	9105,44	5217,43
ACE2	3375,86	1623,55	2033,41	1873,77	2261,78	13715,40	4147,29
ACE3	519,55	458,86	294,08	466,26	573,05	538,37	475,03
PLAS1	45,30	52,06	13,69	9,48	8,61	8,61	22,96
ACE4	18,05	18,05	18,05	18,05	18,05	18,05	18,05
PLAS2	0,00	11,73	0,00	0,00	0,00	0,00	1,96

TABLA B.5
VALORES DE DENSIDAD PARA ALGUNOS NEGROS DE HUMO.

Nombre comercial	Nombre químico	Densidad (g/cm³)
MTF – 990	N990	1,820
ASTM FEF – 550	FEF No manchante	1,820
C-267 Acetileno Blak 100% Comp	Negro humo de Acetileno	1,820
ASTM HAF – 330	HAF Con Aceite (Higt-Abrasion -Furnace)	1,820
ASTM ISAF -220	ISAF (Intermediate- Super-Abrasion Furnace)	1,820
ASTM GPF – 660	GPF No manchante (General - Purpose - Furnace)	1,820
ASTM HAF -347	HAF de alta estructura	1,820
ASTM HAF LS – 326	HAF estructura y módulo bajo	1,820
ASTM HAF -HS -339	HAF de alta estructura	1,820
ASTM SRF -762	SRF No manchante (Semireinforcing - Furnace)	1,820
Cabot Monarth 700	Monarth 700	1,820

Fuente: Fernández y Zambrano (2001).

<i>Tipo</i>	<i>Símbolo</i>	<i>ASTM</i>	<i>Tamaño medio (µm)</i>	<i>Área superficial (mg g⁻¹)</i>	<i>pH</i>
REFUERZO					
Horno de superabrasión	SAF	N110	14-20	120-140	9-10
Horno de superabrasión intermedia	ISAF	N219 N220 N231 N242 S315 N326	18-24	110-120	8.5-9
Horno de alta abrasión	HAF	N327 N330	24-28	75-95	8-9
Canal de tratamiento difícil	HPC		22-25	100-110	3.7-4
Canal de tratamiento medio	MPC		25-29	90-105	3.8-4
Canal de tratamiento fácil	EPC		29-33	80-90	3.8-5
REFUERZO MEDIO					
Horno de extrusión rápida	FEF	N550	30-50	45-70	9-10
Horno fino	FF	N440	40-45	55-70	9-10
Horno de propósito general	GPF	N600	50	45	9-10
Horno de módulo alto	HMF	N601	45-65	30-60	9.5-10
Horno de semirrefuerzo	SRF	N761 N762 N770 N774	60-85	25-45	9.5-10
Negro de humo	LB		100-150	13-25	4
CONDUCTOR					
Horno superconductor	SCF	N294	16-20	120	9.5
De horno conductor	CF	N293 N296	24	110	9
Canal conductor	CC		17-23	100-150	3.5-4
Acetileno	-		40-45	40-70	7-9
OTROS					
Térmico fino	FT	N880	120-200	15-35	8.5-9
Térmico medio	MT	N990	250-500	5-10	7-9

Figura B.1. Propiedades de algunos negros de humo. Fuente: Fernández y Zambrano (2001).

TABLA B.6
VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS TIPOS DE ACTUADORES

Tipo de actuador	Ventajas	Desventajas
Resorte y diafragma	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo, • Sencillez • Acción inherente de falla sin peligro • Requiere baja presión de funcionamiento • Ajustable • Facilidad de mantenimiento • Puede estrangular sin ubicador. 	<ul style="list-style-type: none"> • Baja torsión disponible • Gama limitada de temperaturas • Inflexibilidad en los cambios de las condiciones de servicio • Neumático de pistón
Neumático de pistón	<ul style="list-style-type: none"> • Alta capacidad de torsión • Compacto, ligero de peso • Adaptable a alta temperatura ambiente • Adaptable a requisitos variables de torsión de la válvula • Puede tener carrera rápida • Alta rigidez relativa del actuador 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere accesorios para falla sin peligro • Necesita ubicador para estrangulación • Precio más alto • Necesita alta presión de suministro
Motor eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> • Compacto • Adaptable para control remoto 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo y relación de torsión elevados • No tiene falla sin peligro • Capacidad limitada para estrangulación • Carrera lenta • No es ajustable
Electrohidráulico o hidráulico	<ul style="list-style-type: none"> • Alta torsión • Rigidez muy alta del actuador • Buena rigidez para estrangulación • Carrera rápida 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto costo • Complejidad • Grande y pesado • Requiere accesorios para fallas sin peligro

Fuente: Greene, R.

TABLA B.7
CARACTERÍSTICAS DE LOS MÓDULOS I/O PARA EL CONTROLADOR
LÓGICO PROGRAMABLE

Comparación de Características	Tipo de módulo	Entradas digitales (DI)	Salidas digitales (DO)	Entradas analógicas (AI)	Salidas analógicas (AO)
Entrada analógica AI-1	Módulo de Entrada			8	
Entrada analógica de alto Rendimiento AI-10				8	
Contacto seco de entrada digital DI-5		16			
Entrada digital Inteligente AC/DC DI-10		16			
Salida de corriente analógica AO-2	Módulo de Salida				4
Salida de relé aislada NO/NC DO-1			8		
Salida de relé NO DO-2			16		
Salida de controlador de Relé DO-5			16		
Módulo E/S digital de combinación IO-2	Módulo Multi I/O	8	8		
Módulo E/S digital analógico de combinación IO-3		4	4	4	1
Módulo E/S digital analógico de combinación IO-4		8	2	2	

Fuente: Identificación pesaje y control.

TABLA B.8
CARACTERÍSTICAS DE LA VÁLVULA DE BOLA CON ACTUADOR

Características	Propiedades
Construcción	Válvula de bola de dos vías, actuador giratorio
Tipo de accionamiento	Eléctrico neumático
Posición de montaje	Indistinto
Tipo de fijación	Con rosca interior CNOMO
Conexión de las válvulas de proceso	Rp1
Indicación de la posición de conmutación	Sentido del botón = sentido del flujo
Diámetro nominal DN	25
Presión de funcionamiento del accionamiento por válvulas de bola	1 - 8,4 bar
Presión nominal de válvulas de proceso	40
Temperatura del medio	-20 - 150 °C
Temperatura ambiente	-20 - 80 °C
Indicación sobre el material	Contiene sustancias perjudiciales para la pintura
Homologado para la industria alimentaria	No
Peso del producto	1.800 g
Clase de resistencia a la corrosión KBK	1

Fuente: Festo Venezuela.

TABLA B.9
CARACTERÍSTICAS DEL CONTROLADOR LÓGICO
PROGRAMABLE CONTROLLOGIX

Características	Propiedades
Opciones	<ul style="list-style-type: none"> • Controladores ControlLogix estándar, los controladores GuardLogix seguridad y ControlLogix-XT extendida controladores de temperatura. • Memoria de usuario varía de 2 a 32 MB, dependiendo del tipo de controlador.
Módulos de comunicación	<ul style="list-style-type: none"> • Ethernet / IP, ControlNet, DeviceNet, Data Highway Plus, E / S remotas, Foundation Fieldbus, de serie, DH-485, y SynchLink. • Instalación de los módulos de interfaz múltiples de comunicación en el backplane
Módulos de movimiento integrado	<ul style="list-style-type: none"> • SERCOS o módulos de interfaz analógica. • Un bloque de terminales extraíble (RTB) necesaria para los módulos de interfaz analógico.
Módulos I/O	<ul style="list-style-type: none"> • Las opciones incluyen: digitales, analógicas, termopares, RTD, el movimiento, y los módulos de especialidad. • Las densidades varían de 4 a 32 puntos por módulo. • Los módulos son IP20 tasa, Clase I, División 2/Zone 2. • Algunos módulos tienen diagnósticos del lado del campo, la fusión de electrónica, o las entradas individualmente aisladas y salidas. • Un bloque de terminales remotas (RTB) o un sistema de cableado se requiere para cada módulo E / S.
Fuente de alimentación	<ul style="list-style-type: none"> • Fuentes de alimentación ControlLogix se utilizan con el chasis de 1756 para proporcionar 1,2 V, 3,3 V, 5V y 24V de corriente continua directamente al backplane del chasis.
Chasis	<ul style="list-style-type: none"> • ControlLogix estándar o chasis ControlLogix-XT. • Chasis estándar disponibles con 4, 7, 10, 13, o 17 ranuras. • Chasis ControlLogix-XT disponibles con cinco o siete ranuras.
Software	<ul style="list-style-type: none"> • La selección de módulos y la configuración de red determina qué paquetes de software que necesita para configurar y programar el sistema. • ControlLogix puede ser programado con el software RSLogix 5000 Enterprise Series. • El diseño de los productos adicionales y de configuración incluyen RSNetworkx y el software RSLinx.
Interfaz con el operador	<ul style="list-style-type: none"> • PanelView Plus y PanelView Plus CE.

Fuente: Allen Bradley.