

108



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUIMICA

TRABAJO ESCRITO VIA EDUCACION CONTINUA

DESARROLLO DE UN PROGRAMA DE AUDITORIAS  
DE CALIDAD EN LA FABRICACION DE  
PASTA PARA EMBRAGUE

CRISTINA RODRIGUEZ NAVA  
INGENIERO QUIMICO

MEXICO, D.F.

1994



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

UNIVERSIDAD LA SALLE



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Jurado asignado

EXAMENES PROFESIONALES

Presidente: Prof. José Luis González Machado AC. DE QUÍMICA

Vocal: Prof. Gerardo Bazán Navarrete

Secretario: Prof. Domingo Alarcón Ortiz

1er Suplente: Prof. Guillermo Molina Gómez

2do Suplente: Prof. David Gutierrez Garavito

Sitio donde se desarrollo el tema: DURAMAX S.A. DE C.V.

Asesor del tema: Prof. José Luis González Machado

Sustentante: Srita. Cristina Rodriguez Nava

A mis Padres, Hermanos, Amigos y Maestros

INDICE

DESARROLLO DE UN PROGRAMA DE AUDITORIAS DE CALIDAD EN LA  
FABRICACION DE PASTAS PARA EMBRAGUE

Introducción	5
Capítulo I Funcionamiento del embrague	7
Capítulo II Métodos de fabricación	16
Capítulo III Materias Primas	24
Capítulo IV Auditoría de Materia Prima	38
Capítulo V Auditoría de Proceso	50
Capítulo VI Auditoría del Producto Terminado	59
Conclusiones	80
Bibliografía	82

## INTRODUCCION

En su sentido más amplio, la calidad es algo que puede mejorarse y está asociada no sólo con productos y servicios sino también con la forma en que la gente trabaja, la forma en que las máquinas son operadas y la forma que se trata con los sistemas y procedimientos.

El presente trabajo pretende desarrollar los procedimientos requeridos para llevar a cabo auditorías de calidad en el proceso de manufactura de pasta para embrague, seleccionando para ello la herramienta estadística adecuada para asegurar consistencia en la calidad del producto.

La fabricación de pasta para embrague resulta un tema muy interesante y del cual existe poca literatura. El presente trabajo aporta una recopilación de información referente a este tema.

El Capítulo 1 presenta una descripción breve del embrague así como de las partes que lo componen con objeto de comprender el funcionamiento de la pasta para embrague en el automóvil.

Los Capítulos 2 y 3 describen los métodos de fabricación y materias primas utilizadas comúnmente en la industria.

El Capítulo 4 presenta los procedimientos de auditoría de materia prima, el Capítulo 5 corresponde a los procedimientos

de auditoría de proceso y el Capítulo 6 los procedimientos de auditoría del producto terminado.

## Capítulo I FUNCIONAMIENTO DEL EMBRAGUE

### 1.1 Introducción

Para entender la función y características de la pasta en el embrague se requiere explicar primero el funcionamiento del mismo.

El embrague en vehículos de motor son acoplamientos que pueden separar o conectar el motor con la caja de velocidades o transmisión.

El embrague en los vehículos tienen dos funciones principales:

- Poder interrumpir la transmisión de fuerza para poder cambiar las velocidades.

- Para arrancar el vehículo compensando la diferencia de RPM entre el motor que está trabajando y el vehículo que al principio está parado.

Para poder cumplir su misión el embrague debe presentar las siguientes características:

- Seguridad suficiente en la transmisión de la fuerza (torque del motor).

- Resistencia a altas RPM y al desgaste.

- El vehículo no debe jalonearse ni vibrar en el arranque.

- Accionamiento rápido y fácil.

- Trabajar parcialmente como amortiguador de vibraciones.



Para ilustrar su funcionamiento a continuación se describe el embrague sencillo.

Cuando el sistema de embrague es acoplado, el pedal del embrague está totalmente afuera. En ésta operación el plato opresor fuerza el disco de fricción contra el volante del motor. Los tres componentes giran juntos. El disco de fricción o pasta transfiere la potencia al eje impulsor de la transmisión y ruedas tractoras del vehículo.

El sistema de embrague se desacopla cuando el pedal del embrague está complemente presionado. El volante del motor y el plato opresor siguen girando, pero el disco de fricción y el eje impulsor quedan inmóviles. Al collarín lo mueve hacia adelante la horquilla del embrague oprimiendo el plato opresor y desacoplándose el disco de fricción.

## 1.2 El volante

El volante del motor está unido al final del cigueñal girando constantemente a la velocidad de la máquina. Además de cumplir con las funciones críticas del motor, el volante sirve como una superficie de acoplamiento del disco de fricción. El disco de fricción se localiza entre el volante del motor y el plato opresor.

### 1.3 El plato opresor

El plato opresor también llamado conjunto tapa, está unido empernado al volante del motor. Existen dos tipos de plato opresor. El primero tiene un mecanismo de operación con resortes con la ventaja que su fuerza de apriete puede variarse según los resortes que se le monten pero con una baja resistencia a altas RPM. Estos embragues ya vienen ajustados, el ajuste se hace por medio de tornillos que unen en forma fija el plato opresor con las palancas de accionamiento. No es admisible modificar el ajuste. El otro tiene un mecanismo de operación de tipo de diafragma. La función y operación en ambos tipos son similares ya que las palancas son empujadas hacia adelante en el momento que el pedal del embrague se oprime. El extremo opuesto de las palancas se descargan y retraen el plato opresor. Esto permite que el disco de fricción se mueva, alejándose del volante del motor y del plato opresor.

Este embrague es resistente a altas RPM y se logra una alta fuerza de apriete con un mecanismo que ocupa poco lugar. En motores modernos de altas RPM se garantiza un comportamiento sin jalones ni vibraciones, así como una gran facilidad para el cambio rápido de velocidades.

La fuerza de apriete requerida se logra a través del diafragma de tal manera que no se requieren palancas de accionamiento.

Las ventajas del diafragma contra los resortes son las siguientes:

-El diafragma es resistente contra altas RPM.

-El embrague tiene poca altura con alta fuerza de apriete, y se requiere de poca fuerza para su accionamiento.

-El diafragma al mismo tiempo hace las veces de palanca para su accionamiento.

En el embrague con diafragma la fuerza de apriete del embrague es igual cuando las pastas están desgastadas que cuando son nuevas además se requiere de menos fuerza aplicada en el pedal para lograr un mayor espacio de despegue.

#### 1.4 El disco de embrague

El disco de embrague debe facilitar un arranque suave, transmitir el par motor y aislar las vibraciones torsionales antes de ser transmitidas al resto del tren motriz. Se aplica en unidades equipadas con transmisión manual.

Se distinguen dos tipos de discos de embrague:

-Rígidos con amortiguador de torsión.

-Discos con y sin muelle entre las pastas.

El tipo más sencillo de disco de embrague es el rígido sin muelle entre las pastas y se compone de:

-La maza con el estriado de la flecha de mando.

-La rondana de arrastre remachado con la maza.

-Las pastas remachadas por pares sobre la rondana de arrastre.

Sin embargo, en los vehículos modernos se usa exclusivamente el disco de embrague con amortiguador de torsión y muelle entre las pastas.

Básicamente el disco de embrague está compuesto de una maza con un perfil estriado por medio del cual se acopla la flecha de mando de la transmisión, un amortiguador torsional y dos pastas de fricción ensambladas en forma paralela. La fuerza de apriete del embrague genera un contacto por fricción de las pastas entre el volante del motor y el plato opresor y lo transmite a la flecha de mando de la transmisión. Cuando el conductor acciona el embrague se libera el disco de embrague interrumpiendo el flujo del torque. Para poder cumplir con las exigencias de confort actuales, pese a la construcción ligera y a velocidades adicionales en la transmisión, se necesitan sistemas sofisticados de amortiguadores con resortes.

Los motores de combustión interna debido a su funcionamiento, dan un momento de giro irregular. Este oscila con el encendido periódico y de ello resultan vibraciones torsionales en todo el tren motriz. En determinados estados de manejo puede entonces la transmisión producir ruido por lo que los amortiguadores de torsión filtran éstas irregularidades.

En las ventanas de la rondana de arrastre y de la rondana lateral se encuentran resortes que hacen posible una torsión

de la maza. Si se cambian intensionalmente las aberturas de las ventanas y los rangos de los resortes, se pueden producir diferentes curvas características de amortiguación.

El sistema de fricción en el caso más sencillo se logra por medio de la tensión axial en la brida de la maza. Sin embargo, la fricción de acero sobre acero tiene la desventaja de no obtener una fricción considerable. Además existe el peligro de bloqueo por oxidación entre las dos superficies de fricción.

Para contrarestar ésta deficiencia, se colocan anillos de fricción de material orgánico conocido comúnmente como pasta para embrague. Los materiales orgánicos tienen un alto coeficiente de fricción y resistencia al desgaste.

Las pastas del disco de embrague deben cumplir con los siguientes requerimientos:

- Alto coeficiente de fricción.
- Resistencia contra el desgaste.
- Resistencia térmica.
- Resistencia a altas RPM.
- En el momento del arranque el embrague no se jalonee.

Las pastas orgánicas básicamente se componen de material de asbesto con aglutinamiento de resinas sintéticas, a éste material se le agregan, según las características requeridas, materiales adicionales tales como hilos metálicos. Sin embargo, el coeficiente de fricción no es constante, sino que

está sujeto a ciertas variaciones dependientes de la temperatura.

Si debido al tipo de trabajo se espera una carga térmica más alta, se usan pastas o sectores de pasta inorgánicas de material cerámico o metálico. Se caracterizan por presentar una alta resistencia térmica y contra el desgaste pero son muy agresivas y presentan deficiencias en el comportamiento del arranque.

Las pastas son remachadas a los segmentos, el muelle producido entre las pastas causan en el momento del embragado un suave incremento del par. Además la elasticidad de los segmentos proporciona un contacto uniforme de las pastas en el área de fricción de tal manera que incrementa la vida útil del producto.

El plato opresor del embrague hace su presión contra los segmentos del sistema de muelle, el disco por su parte lo hace contra el volante.

El deslizamiento del disco puede hacer que las RPM de la transmisión se adapten lentamente a las del motor con cierta acción retardada. Las ventajas son las siguientes:

- Carga uniforme en las pastas.
- Desgaste favorable.
- Comportamiento suave en el arranque sin jaloneo.

Se distingue principalmente entre los siguientes tipos de muelle entre las pastas:

El muelleo por laminilla es el diseño más antiguo. La rondana de arrastre llega hasta el diámetro exterior de las pastas está ranurada y ondulada. La lámina de la rondana de arrastre es relativamente gruesa y no muellea lo suficiente y presenta un alto momento de inercia.

El muelleo con láminas intermedias. En un lado del disco entre la rondana de arrastre y la pasta se intercala una lámina muelle ondulada en forma de sector. Presenta un alto momento de inercia del disco y el muelle sólo trabaja a un lado.

El muelleo por segmentos. Las pastas de ambos lados se remachan sobre dos segmentos delgados ondulados que van remachados por su parte en la rondana de arrastre. El muelleo es más fácil de dosificar y el momento de inercia del disco es menor.

El muelleo por segmentos dobles. En este caso las pastas se remachan sobre dos segmentos encimados y con tensión entre ellos, éstos sectores van remachados en la rondana de arrastre en la misma forma que en el muelleo de segmento sencillo.

La pre-tensión hace que el recorrido del muelleo sea mejor aprovechado. Presenta mayor momento de inercia y es más caro.

### 1.5 El collarín

El collarín es un rodamiento que acciona el embrague, el cual se mueve hacia adelante para oprimir las palancas del plato opresor y desembragar el sistema.

### 1.6 La horquilla

La horquilla del embrague es el enlace entre la articulación del pedal de embrague y el collarín. Todas las horquillas tienen un punto de acción y un punto de pivoteo.

El eje impulsor de la transmisión enlaza el motor y la transmisión. Se extiende desde el cojinete piloto en el cigueñal, pasando a través de la masa estriada del disco, a través del retén del eje impulsor y a través del rodamiento delantero de la transmisión. Cuando el pedal del embrague se suelta, la parte estriada del eje impulsor se acopla, con la masa estriada del disco de fricción. En ésta posición el sistema está embragado y la potencia del motor se transfiere a las ruedas tractoras.



## Capítulo II METODOS DE FABRICACION

### 2.1 Patente 3,966,545 asignado a Johns Manville Corp.

Un rollo de tela de fibra de vidrio (1) es montado en el rodillo (2). El eje es montado rotativamente en cojinetes y es libre de girar a lo largo de su eje longitudinal para desdoblar e impregnar la tela de mezcla friccionante hule fenólico (3) curable al calor. La tina de impregnación comprende un depósito (4) y un par de rodillos locos (5) y (6) que dirigen la tela a través de la tina. El rodillo loco (6) es montado en el fondo de la tina de mezcla para asegurar que la tela sea inmersa en la tina por un periodo de tiempo suficientemente largo para ser completamente impregnado. Los rodillos para exprimir (7) son montados en ejes paralelos a la tela pasando los rodillos intermedios. Los cilindros medios hidráulicos (8) son para ajustar el espacio entre los rodillos para controlar la impregnación. La torre de secado es de 25 pies de alto e incluye un par de rodillos locos (9) y (10) montados rotativamente para guiar la tela a través de la torre. La torre es calentada eléctricamente o por vapor a la temperatura deseada con objeto de remover los volátiles de la mezcla con un ventilador de escape para remover los vapores volátiles de la torre. La longitud y velocidad de la tela a través de la torre así como las temperaturas dentro de la torre de secado son reguladas de manera que los volátiles sean

removidos de la mezcla sin causar el curado prematuro del mismo.

Por otro lado, una tolva (11) distribuye virutas de metal sobre la superficie de la tela antes de enrollarse en el husillo (12). La tolva cuenta con un tornillo que se extiende en una ranura longitudinal en el fondo de la tolva. El plato inferior de la tolva es deslizante de manera que el ancho de la ranura puede ser ajustado. La cantidad de virutas de metal distribuido en la tela puede ser regulado ajustando la velocidad rotacional del tornillo y/o la abertura de descarga de la ranura en el fondo de la tolva.

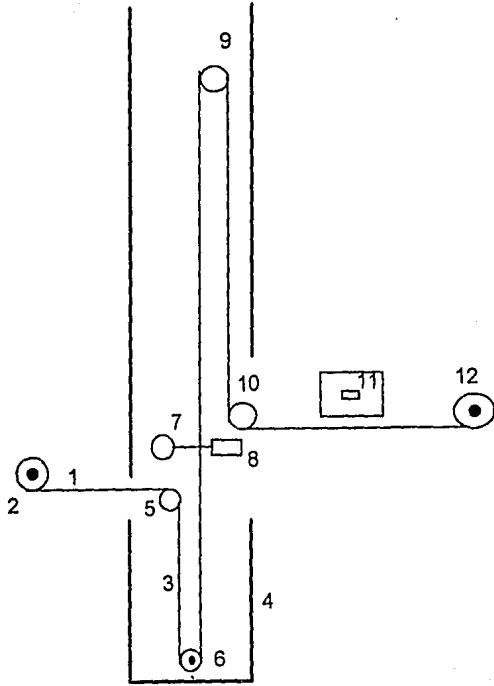
El husillo (12) es manejado por un motor para llevar el rollo de tela a través de la tina de impregnación, los rodillos exprimidores y la torre de secado al husillo. La tela es enrollada espiralmente en el rodillo para formar un cilindro hueco. Debido a la velocidad relativamente baja a la cual la tela es enrollada en el husillo, el motor es acoplado al husillo a través de un reductor de velocidad. El acoplamiento que conecta el reductor de velocidad al husillo se separa para permitir que el husillo sea removido una vez que se ha completado el embobinado.

Una cierta tensión debe mantenerse en la tela para asegurar que sea enrollada firmemente en el husillo. Si el husillo tiene un diámetro exterior semejante al diámetro

interior de la preforma se minimiza el maquinado final del producto después del moldeo.

Posteriormente el husillo es rotado para cortar el cilindro en discos al espesor deseado. Una vez cortados, los discos como preformas son removidos del husillo. Debido a la fricción de las capas adyacentes de hilos y la adhesión inherente de la composición de la mezcla, la preforma mantiene su forma de disco. La preforma sin curar es entonces colocada entre platinas bajo presión en un rango de 2000 a 2500 psi y curadas parcialmente a una temperatura de 320°F a 340°F por 4 minutos. Se completa posteriormente la polimerización de la resina mediante un postcalentamiento en un horno a 6 horas a 320°F y 2 horas a 400°F.

Así, los discos son terminados al espesor requerido, barrenadas y avellanadas según la aplicación correspondiente.



## 2.2 Patente 3,756,910 asignado a Johns Manville Corp.

Un conjunto de filamentos de fibra de vidrio forma un roving los cuales son impregnados con mezcla y después de un secado parcial son enrollados en forma helicoidal con alambre de metal suave. Posteriormente, el roving impregnado forma un disco para ser curado con calor y presión para definir una pasta para embrague.

Varias bobinas de roving (1) pasan a través de un dispositivo semejante a un peine (2) donde son mantenidos ligeramente distantes mientras pasan a través del rodillo (3) en la tina de mezcla (4). Este espacio da la oportunidad para que la mezcla impregne con más facilidad todos los filamentos de roving. La mezcla se mantiene en una tina a un nivel determinado para asegurar la impregnación completa de cada roving durante el tiempo que pasa en forma ascendente hacia el ojillo (5). La abertura del ojillo es poco más grande que el volúmen completo de rovings, el cual limpia el exceso de mezcla regresándolo hacia la tina. Los rovings son nuevamente separados en el disco (6) donde también se remueve cualquier exceso remanente.

El roving pasa en forma ascendente a través de la torre de secado (7) donde el vapor a 335°F entra a través del puerto (8) a la torre y con salida en el puerto (9) a 275°F. El vapor en la torre se mezcla con los volátiles de la mezcla reduciéndose el peligro de explosión.

El roving parcialmente seco pasa arriba de la torre por un sistema de poleas (10) a arriba de la segunda torre (11). Mientras pasa el roving hacia abajo de la mezcla se expone a aire caliente de 350°F a 400°F, el cual es suministrado por el puerto de enmedio (12) y con salida en el puerto superior (13) a inferior (14). Así los rovings pasan a través de ambas torres en forma individual ya que a la entrada de la torre son separados.

La mezcla puede estar compuesta de muchas formulaciones comunes en la manufactura de pastas para embrague como hule del 30 al 40%, acelerador y agente de curado del 20 al 30%, resina del 15 al 30% y cargas del 20 al 30%.

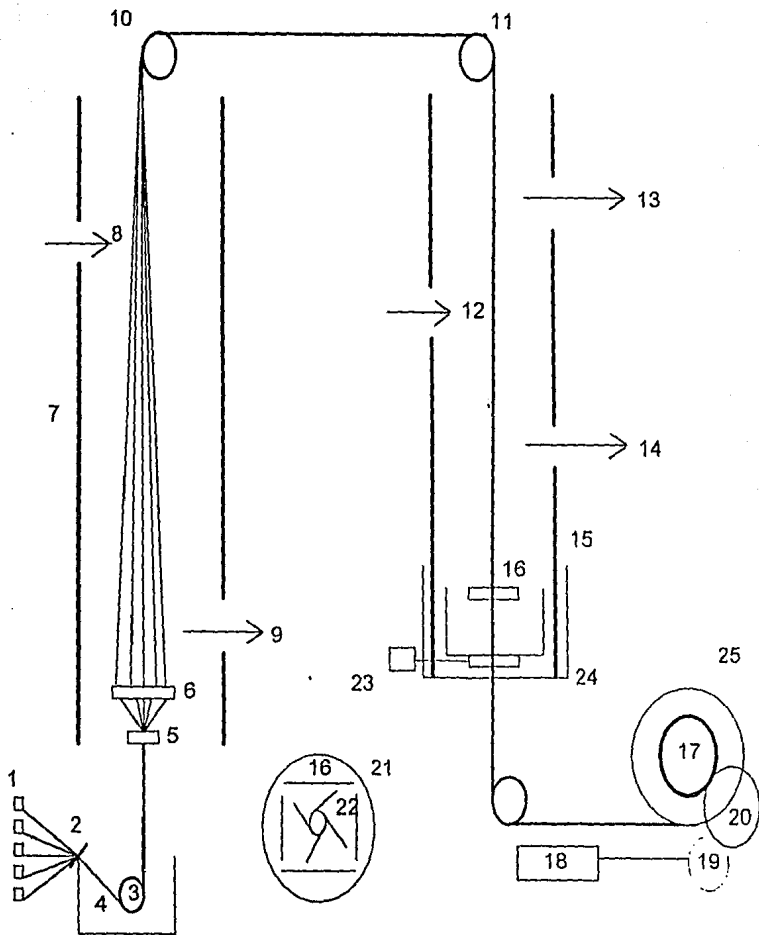
Los rovings bajan al fondo de la torre a través de una embobinadora (15) donde los filamentos tal como alambre de latón se enrolla helicoidalmente (16) alrededor de varios rovings reteniéndolos en un manojo, los cuales son enrollados posteriormente en un carrete (17) que es rotado por un motor (18) conducido a través de un engrane reducido y rodillos de fricción (19) y (20).

El aparato embobinador consiste en una plataforma (21) con carretes de alambre de latón que gira alrededor de rovings para envolverlos helicoidalmente en un manojo continuo. La plataforma tiene una entrada axial (22) que permite a los rovings pasar verticalmente a través de ella. Un motor (23) conducido a través de un engrane sin fin hace girar la

plataforma para colocar helicoidalmente alambre de latón u otro filamento alrededor de varios rovings a cierto avance. Los carretes son colocados a diferentes alturas para permitir que los alambres se enrollen en el manajo de roving en hélices espaciadas. El alambre comprende del 2 al 4 % en peso del manajo. La envoltura puede hacerse con otros materiales como el rayón, nylon o fibra de vidrio. El objetivo de la envoltura es mantener en un manajo continuo para facilitar su manejo y formación de la preforma. Esto proporciona una superficie de fricción deseada y define la transferencia de calor de la superficie de contacto con un miembro friccionante. La plataforma es montada rotatoriamente en una caja (24) para proteger el equipo como a los trabajadores.

Cuando el carrete ha juntado la cantidad necesaria de manajo continuo (25), el manajo es partido y el carrete completo es removido. Se coloca un carrete vacío para enrollar un manajo continuo y así sucesivamente.

El manajo continuo enrollado es removido del carrete para formar un disco en condición semiseca. El disco es removido del molde y curado por varias horas bajo alta presión y temperatura. Posteriormente, la forma curada es terminada al diámetro, maquinado al espesor, barrenadas y avellanadas.





### Capítulo III MATERIAS PRIMAS

Los materiales de fricción tienen como función principal convertir la energía cinética en calor y después absorber o disipar el calor mientras mediante la fricción se reduce el movimiento relativo entre el material de fricción y la parte a la cual está acoplada. Para obtener éstos objetivos, el coeficiente de fricción debe ser alto, independientemente de las condiciones de operación y la conversión de energía debe acompañarse por un desgaste mínimo de las partes en contacto. El material de fricción, además de tener un coeficiente de fricción relativamente alto deber ser durable y estable al calor y generar poco o ningún ruido mientras esté en fricción con la parte ensamblada.

En resumen, un material de fricción controla, absorbe o disipa el calor generado durante el contacto por deslizamiento. Retarda el movimiento relativo entre dos superficies, convirtiendo el movimiento en calor y después disipándolo.

La selección de material para elaborar una pasta para embrague se ilustra enumerando los diversos materiales utilizados así como sus propiedades.

La formulación típica de una pasta para embrague se basa en un compuesto de hule, el cual está constituido principalmente por los siguientes materiales:

### 3.1 Aglomerante

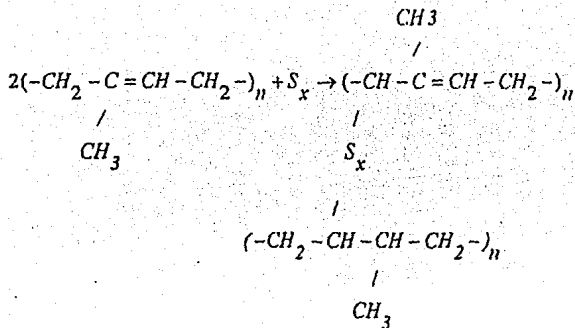
El aglomerante mantiene la forma del producto, incrementa el nivel de fricción y disminuye el desgaste mejorando la vida útil.

#### 3.1.1 Mezcla elastómero, acelerador y carga reforzante

Las propiedades mecánicas obtenidas al utilizar el elastómero puro son definitivamente pobres, por lo que es necesario hacer uso de diversos materiales que modifican el comportamiento del compuesto tanto en sus propiedades físicas como químicas.

La vulcanización es un proceso por medio del cual el hule se transforma de un material en estado plástico a un estado elástico. La vulcanización involucra la formación de enlaces entrecruzados entre las cadenas moleculares del polímero, por la acción de un agente vulcanizante tal como el azufre.

Los sistemas de vulcanización requieren la presencia de una insaturación en las cadenas del polímero. Así la química de la vulcanización del hule natural con azufre ocurre de la siguiente manera:



Cuando los polímeros no tienen en su molécula dicha insaturación se requiere de otro tipo de agentes vulcanizantes tal como peróxidos, óxidos metálicos y resinas fenólicas.

Los aceleradores pueden clasificarse de acuerdo a a la velocidad y seguridad que imparten en la vulcanización. Los principales activadores los constituyen los óxidos metálicos, siendo el óxido de zinc el más activo seguido por el óxido de magnesio.

El óxido de zinc es una carga reforzante que ha tenido aceptación como acelerador de hules pero también se puede usar para dar alta resistencia al calor y conductividad térmica. El óxido de zinc se obtiene principalmente por dos métodos:

En el americano, el mineral que contiene el zinc se muele y se mezcla con polvo de carbón mineral y se calienta a alta temperatura. El zinc del mineral se reduce a zinc metálico y es volatilizado. Los vapores de zinc alcanzan la parte

superior del horno donde se mezcla con aire para obtener óxido de zinc. Una vez enfriado el óxido es separado de la corriente de aire por filtros.

El óxido obtenido por el proceso americano contiene pequeñas cantidades de plomo, cadmio, fierro o azufre, éstas impurezas se encuentran tanto en el mineral de zinc como en el carbón mineral.

En el método francés, el zinc metálico es obtenido electrolíticamente de soluciones de sales de zinc o por reducción calorífica del mineral del zinc. El metal es volatilizado como el proceso americano y quemado a óxido.

Las cargas reforzantes son materiales que modifican las características de un compuesto, obteniéndose vulcanizados con mayor resistencia al desgarre y resistencia a la abrasión.

La capacidad de reforzamiento de una carga depende básicamente del tamaño de partícula. A menor tamaño de partícula mayor es la capacidad de reforzamiento debido a una mayor área superficial y por lo tanto una mayor interacción entre polímero y carga. Las cargas reforzantes más comúnmente empleados son los negros de humo y el dióxido de silicio.

El negro de humo de horno es fabricado por la descomposición térmica de alquitrán aromático y está compuesto por átomos de carbón que forman núcleos aromáticos formando un cierto número de láminas alineadas paralelamente entre ellas.

Así donde las láminas se juntan o discontinúan los átomos de carbón no pueden alcanzar la perfecta alineación graffica.

Algunos átomos de carbón se presentan en estructura no aromática lo que representa la cantidad total de átomos de carbón en el negro de humo.

Existen tres factores que determinan la influencia del comportamiento de una carga reforzante en los elastómeros:

El factor extensidad es la cantidad total de área superficial por  $cm^3$  de compuesto en contacto con el elastómero. El área superficial aunque está directamente relacionada con el tamaño de partícula existen diferencias ocasionadas por la porosidad, rugosidad y actividad superficial. Existen diversos métodos para determinar el tamaño de partícula tal como la absorción de aceite y el índice de negrura. La negrura es una medida del tamaño de partícula, mientras más negro es un negro de humo tiene un tamaño de partícula menor y una mayor área superficial. Un factor secundario de negrura es la estructura que determina el grado de formación de cadenas disminuyendo el área superficial y negrura. El área superficial es medida por la adsorción de nitrógeno o yodo.

El segundo factor es la intensidad que es la actividad específica de la superficie sólida por  $cm^2$  de interfase, determinado por la naturaleza física y química de la superficie de la carga en relación con el elastómero. La

naturaleza de la superficie sólida puede variar químicamente por la presencia de diferentes grupos químicos y físicamente por diferente energía de adsorción en la superficie. El negro de humo contiene pequeñas pero importantes cantidades de hidrógeno y oxígeno combinados químicamente y mediante la medición del pH del agua de lechada se determina acidez de la superficie.

El tercer factor es el geométrico definido por la estructura de la carga y el cual determina el volumen de vacíos.

### 3.1.2 Resinas fenólicas

Las resinas fenólicas imparten propiedades de resistencia a la temperatura y contribuyen a propiedades de fricción específicas en una amplia gama de condiciones de proceso.

Las materias primas más importantes en su elaboración son el fenol, formaldehído, cresol y aldehídos de alto peso molecular. Las aminas primarias o secundarias además de servir como catalizadores pueden formar productos de reacción intermedios con el formaldehído y fenol.

Las estructuras importantes para la química de las resinas son las siguientes:

Fenol	$\phi-OH$	Formaldehído	$CH_2=O$
Amonia	$NH_3$	Hexametiltetramina	$(CH_2)_6N_4$

El fenol contribuye del 85 al 90% en peso de una resina fenólica. Estructuralmente consiste de un anillo bencénico con un átomo de hidrógeno reemplazado por un grupo hidroxilo. La presencia de un grupo hidroxilo aumenta la reactividad de las posiciones orto y para. Para propósitos prácticos, las posiciones meta del fenol no son reactivas. El anillo bencénico es una estructura plana y rígida que imparte un alto punto de fusión a los polímeros donde está presente.

Con las tres posiciones reactivas, el fenol puede ser entrecruzado con grupos metilénicos derivados del formaldehído, para formar una red tridimensional pero no necesariamente uniforme en su arreglo. En esta forma, el polímero es infusible e insoluble.

En la química de los polímeros, los fenoles son referidos como polímeros de condensación. Esto significa que durante el incremento en el peso molecular de una resina durante el curado ocurre la eliminación de moléculas de bajo peso molecular, tal como el agua o amonía por medio de una reacción de un solo paso en comparación con la reacción en cadena típica de los polímeros vinílicos.

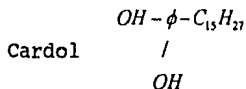
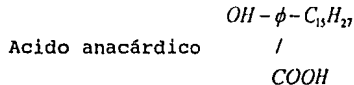
Por simplicidad las resinas fenólicas están divididas en dos grupos: de un solo paso y de dos pasos. El término de un paso significa que la fórmula de la resina contiene todo el formaldehído necesario para curar junto con un catalizador básico. El término dos pasos indica que una novolaca ha sido

preparada por una reacción catalizada por un ácido con menos de una mol de formaldehído por mol de fenol y la adición posterior de un agente de curado, tal como el hexametilтетramina.

Cuando se agregan otros materiales con objeto de obtener propiedades especiales las resinas se denominan resinas fenólicas modificadas.

Otros fenoles utilizados son los cresoles cuya fuente principal es el alquitrán del carbón. El orto y para cresol tienen solo dos posiciones reactivas y por lo tanto no puede formar realmente estructuras termofijas con formaldehído. Mezclado con fenol producen resinas más suaves y lentas que aquellos con fenol.

Uno de los modificadores de las resinas fenol-formaldehído utilizado comúnmente en materiales de fricción es el aceite de cashew. El aceite de cashew es un fenol sustituido, su compatibilidad y reactividad con resinas fenólicas simples es excelente. El aceite de cashew está compuesto químicamente por una mezcla de ácido anacárdico, anacardol y cardol.





Las resinas fenólicas con cashew son de dos pasos conteniendo hexametiltetramina para obtener propiedades termofijas.

### 3.2 Cargas y modificadores de fricción

Las cargas forman una parte importante del volumen total de una formulación bajando el costo del mismo. Sin embargo, en la selección de la carga debe considerarse un posible beneficio en las propiedades del producto tal como impartir densidad, resistencia y modificando la fricción en varios rangos de temperatura como por ejemplo el polvo de aceite de cashew polimerizado, carbonato de calcio, wallastonita, hule nitrilo en polvo, óxidos, sulfatos, silicatos y fosfatos de bario, cobre, plomo y antimonio.

El polvo de aceite polimerizado es el producto de la condensación de un aldehído con el aceite de cashew y alcanza una fricción elevada y uniforme con excelente desgaste y resistencia a temperaturas elevadas. La alta capacidad de absorción de calor a temperaturas elevadas reduce la tendencia a degradar el material y disminuir la fricción.

La wallastonita es un silicato de calcio natural siendo un excelente reforzante de bajo costo para sistemas poliméricos. Las propiedades generales de la wallastonita es baja absorción

de humedad, excelente aislante térmico y bajo coeficiente de expansión.

La composición típica de la wallastonita es el 48.3% de óxido de calcio y 51.7% de óxido de silicio.

El carbonato de calcio se puede usar en cantidades grandes sin aumentar la rigidez, pero con pobre resistencia al desgarre y a la abrasión. Existen varios tipos dependiendo de su método de obtención en molido, precipitado y marino además hay un rango muy amplio de tamaños de partícula según se requiera.

### 3.3 Reforzantes

Las fibras constituyen la mayor parte de una pasta para embrague, aumenta la fricción, tiene propiedades de conductividad térmica y aumenta la resistencia del producto terminado.

#### 3.3.1 Asbesto

Existen varios tipos de asbesto y todos son silicatos hidratados de metal con cambios en la parte catiónica. El tipo crisolito es el asbesto más utilizado y es un silicato de magnesio hidratado con fórmula  $[Mg_3(OH)_4Si_2O_5]_2$ .

Bajo condiciones continuas y prolongadas a altas temperaturas hay una pérdida de agua estructural en la fibra

de 750°F a 1110°F. Tiene un punto de fusión de 2770°F. Sin embargo, bajo condiciones periódicas, el crisolito retiene su estructura en un rango alto de temperaturas.

El asbesto tiene una excelente resistencia al medio ambiente y en compuestos de asbesto mejora la resistencia al deslizamiento, imparte resistencia a la flexión, disminuye el coeficiente de expansión y controla la fluidez de la resina.

La fibra de asbesto se clasifica por su tipo, longitud y abertura. En la industria está disponible en hilados de fibras de asbesto que se clasifican según el peso por metro y por el número y tipo de inserciones de metal.

Sin embargo, el uso del asbesto está restringido debido a problemas de salud asociados con el mineral ocasionados por su mal manejo por lo que es necesario tomar precauciones en su procesamiento.

El desarrollo de sustitutos de asbesto ha proporcionado productos con cualidades inferiores a un costo más elevado. Por otro lado, es importante considerar que la sustitución del asbesto requiere de una combinación de materiales que proporcionen las propiedades del asbesto. Entre los materiales utilizados para sustituir el asbesto se encuentran la fibra de vidrio, fibras de silicato de calcio y aluminio, fibras basálticas, fibras de carbón y fibras aramídicas.

### 3.3.2 Fibra de vidrio

La fibra de vidrio es una mezcla de silicatos preparada mediante la fusión del óxido de silicio con óxidos metálicos y carbonatos. El óxido de silicio es el compuesto más importante en la formación del vidrio pero debido a su alta viscosidad de fusión se requiere el uso de otros óxidos o agentes fundentes dependiendo de las propiedades requeridas.

La estabilización del vidrio por modificadores óxidos disueltos en la mezcla fundente ha dado como resultado una gran variedad de vidrios.

El vidrio utilizado en compuestos de hule para reforzamiento es un vidrio de cal-borosilicato clasificado como tipo E.

Por lo anterior, es importante considerar su composición química para relacionarlo con parámetros de desempeño del producto terminado.

La densidad, resistencia a la tensión y elongación son propiedades importantes de la fibra de vidrio. El punto de fusión del vidrio es uno de los principales indicadores de su dureza térmica y su uniformidad en proceso asiste para mantener los diámetros del filamento dentro de especificación.

El vidrio se encuentra disponible en bobinas de filamento continuo de diferente peso por metro llamado roving y en fibra cortada en diferentes tamaños.

### 3.4 Lubricantes

Los lubricantes es una formulación de pasta para embrague promueven un deslizamiento uniforme, mantiene la temperatura de operación por debajo del punto de fusión, mejora el desgaste y la vida útil del producto. Los lubricantes más utilizados son el grafito, coque calcinado del petróleo, antracita, carbones bituminosos, disulfuro de molibdeno y metales de bajo punto de fusión.

El grafito es una forma particular del carbono que se distingue por su cristalinidad hexagonal y se caracteriza por ser incoloro, no tóxico y químicamente inerte. La estructura en placa, las características químicas, la resistencia a altas temperaturas y su conductividad lo hacen un lubricante sobresaliente en productos de fricción.

El grafito amorfo se encuentra en la naturaleza en betas de grafito, formadas por el metamorfismo del carbón mineral o sedimentos ricos en carbono. Los grafitos amorfos son suaves con un lustre negro en contraste con el lustre metálico del grafito cristalino. El contenido de carbono varía en un rango del 60 al 85% en grados comerciales accesibles. Las impurezas o cenizas del grafito son principalmente los óxidos metálicos de silicio, aluminio y fierro.

El grafito cristalino es encontrado en depósitos de vetas cristalinas acumuladas, tiene una densidad alta y un contenido de carbono del 60 al 99%.

El grafito es escamas consiste en partículas en forma laminar encontradas en rocas metamórficas tal como marmol y mica de cuarzo. El contenido de carbono varía del 60 al 96% pero con un tratamiento adicional con ácido se obtienen purezas mayores al 99%.

#### Capítulo IV AUDITORIA DE MATERIA PRIMA

La auditoría de materia prima se caracteriza por:

-Recepción de materia prima en diversas formas de presentación tal como sacos, pacas, 1000 lt, etc.

-Evaluación de características químicas y/o físicas de cada una de las materias primas para determinar si cumplen o no con cierta especificación.

-En la industria es común evaluar un material a partir de una muestra representativa obtenida al mezclar las muestras tomadas del lote de acuerdo con un plan de muestreo. Sin embargo, existe la incertidumbre si el material corresponde a diferentes lotes de producción o bien es una mezcla de ellos, por lo que es necesario que los proveedores separen e indiquen claramente lotes de producción diferentes para su evaluación en forma independiente. En caso de presentarse un lote no homogéneo es muy probable aceptar el lote con lo cual existe el riesgo de utilizar materia prima que no cumple con los requerimientos ya que el lote de material no se mezcla antes de ser utilizado sino que se va utilizar paulatinamente según la producción programada.

Considerando el tiempo y costo del análisis de la materia prima se propone un plan de muestreo por variables ya que el tamaño de muestra es menor que por atributos además de que la evaluación se realiza mediante una medición numérica.

El procedimiento para el análisis de materia prima está basado en el plan de muestreo por variables lote a lote de la Norma MIL STD 414, y para la cual se considera lo siguiente:

-Las características de calidad de las materias primas tienen una distribución normal, las cuales se han clasificado por su importancia en críticas, mayores y menores.

-El Nivel de Calidad Aceptable (AQL) para las características críticas, mayores y menores es de 1.5, 2.5 y 4.0 respectivamente.

-La variabilidad de las características de calidad es desconocida. Sin embargo, es conveniente utilizar una Carta de Rangos o Desviación Estándar de los resultados de cada lote para obtener cierta información del estado de control estadístico del proceso de manufactura. En caso de indicar control estadístico será entonces posible cambiar a un plan de variabilidad conocida, con lo cual se reduciría el tamaño muestral requerido.

Como se desconoce la variabilidad del lote se utiliza el método de la desviación estándar y forma 2 tanto para especificaciones unilaterales como bilaterales ya que el método de la amplitud necesita un tamaño muestral más grande.

-En el caso de especificaciones bilaterales se considera un AQL igual para ambos límites de especificación.

-La unidad de producto para llevar a cabo el muestreo se ha definido para cada material en base a su presentación.



#### 4.1 Clasificación de características de materias primas

En base a las consideraciones anteriores se tiene la siguiente clasificación de las características de cada una de las materias primas utilizadas comúnmente en la fabricación de pastas para embrague:

##### I. OXIDO DE ZINC

Característica	Unidad producto: 25 Kg.		
Pureza	Unilateral	Crítico	AQL=1.5
Mallaje	Unilateral	Mayor	AQL=2.5
Insolubles en ácido	Unilateral	Menor	AQL=4.0
Densidad	Unilateral	Menor	AQL=4.0

##### II. NEGRO DE HUMO

Característica	Unidad producto: 25 Kg.		
Indice de yodo	Unilateral	Crítico	AQL=1.5
Mallaje	Unilateral	Mayor	AQL=2.5
Humedad	Unilateral	Menor	AQL=4.0
Densidad	Unilateral	Menor	AQL=4.0

## III. OXIDO DE PLOMO

Característica	Unidad producto: 25 Kg.		
Pureza	Unilateral	Crítico	AQL=1.5
Mallaje	Unilateral	Mayor	AQL=2.5
Insolubles en ácido	Unilateral	Menor	AQL=4.0
Plomo libre	Unilateral	Menor	AQL=4.0

## IV. HILO DE ASBESTO

Característica	Unidad producto: 3 Kg.		
Rendimiento	Bilateral	Crítico	AQL=1.5
% Asbesto	Unilateral	Crítico	AQL=1.5
Resistencia a la tensión	Unilateral	Mayor	AQL=2.5
Humedad	Unilateral	Menor	AQL=4.0

## V. HILO DE FIBRA DE VIDRIO

Característica	Unidad producto: 22 Kg.		
Rendimiento	Bilateral	Crítico	AQL=1.5
Resistencia a la tensión	Unilateral	Mayor	AQL=2.5
Materia orgánica	Unilateral	Menor	AQL=4.0
Humedad	Unilateral	Menor	AQL=4.0

## VI. GRAFITO

Característica	Unidad producto: 25 kg.		
% Carbón	Unilateral	Crítico	AQL=1.5
Humedad	Unilateral	Mayor	AQL=2.5
Mallaje	Unilateral	Mayor	AQL=2.5
% Volátiles	Unilateral	Menor	AQL=4.0

## VII. SOLVENTE ORGANICO

Característica	Unidad del producto: 1000 lt.		
Rango de destilación	Bilateral	Crítico	AQL=1.5
% Recuperado	Unilateral	Mayor	AQL=2.5
% Evaporado	Unilateral	Mayor	AQL=2.5
% Residual	Unilateral	Mayor	AQL=2.5
Peso específico	Bilateral	Menor	AQL=4.0

## VIII. RESINA FENOLICA

Característica	Unidad producto: 30 Kg.		
Punto de fusión	Bilateral	Crítico	AQL=1.5
Tiempo de curado	Bilateral	Crítico	AQL=1.5
Flujo	Bilateral	Mayor	AQL=2.5
Mallaje	Unilateral	Mayor	AQL=2.5
% $(CH_2)_6N_4$	Bilateral	Menor	AQL=4.0

**IX. AZUFRE**

Característica	Unidad producto: 20 kg.		
Pureza	Unilateral	Crítico	AQL=1.5
% Cenizas	Unilateral	Mayor	AQL=2.5
Mallaje	Unilateral	Mayor	AQL=2.5
Insoluble en $CS_2$	Unilateral	Menor	AQL=4.0

**X. ELASTOMERO**

Característica	Unidad del producto: 45 Kg.		
Viscosidad	Bilateral	Crítico	AQL=1.5
Mooney			
Peso específico	Bilateral	Mayor	AQL=2.5
Cenizas	Unilateral	Mayor	AQL=2.5
Materia volátil	Unilateral	Menor	AQL=2.5

4.2 Procedimiento de muestreo de aceptación de materia prima basado en la MIL STD 414.

-El Nivel de Calidad Aceptable (AQL) para características críticas, mayores y menores es de 1.5, 2.5 y 4.0 respectivamente.

-Se obtiene el tamaño de lote en base a la unidad del producto en particular. •

-En la Tabla A-1 obtener la conversión del AQL.

-La Tabla A-2 proporciona la letra clave del tamaño de muestra para cualquier tamaño de lote utilizando el Nivel IV para Inspección Normal.

-En la Tabla B-3 obtener el tamaño de muestra "n" y el porcentaje defectuoso máximo admisible "M" a partir de la letra clave y el Nivel de Calidad Aceptable.

-Seleccionar la muestra y medirla.

-Calcular la media y desviación estándar de la muestra.

$$s = \sqrt{\frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n-1}} \quad \bar{X} = \frac{\sum x}{n}$$

#### 4.2.1 Especificación unilateral

-Determinar el Índice de Calidad.

$$Q_s = \frac{(S - \bar{X})}{s} \quad Q_i = \frac{(\bar{X} - L)}{s}$$

donde  $l$  es el Límite inferior de especificación y  $S$  el Límite superior de especificación.

-En la Tabla B-5 estimar el porcentaje defectuoso en el lote " $p_s$ " o " $p_l$ " a partir del Índice de Calidad " $Q_s$ " o " $Q_l$ " y del tamaño de muestra " $n$ ".

-El criterio de aceptación es el siguiente: Si  $p_l < M$  o  $p_s < M$  se acepta el lote.

#### 4.2.2 Especificación bilateral

-Determinar los Índices de Calidad.

$$Q_s = \frac{S - \bar{X}}{s} \quad Q_l = \frac{\bar{X} - l}{s}$$

-En la Tabla B-5 estimar el porcentaje defectuoso en el lote " $p_s$ " y " $p_l$ " a partir del Índice de Calidad correspondiente y del tamaño de muestra " $n$ ".

-Estimar el porcentaje defectuoso del lote como  $p = p_s + p_l$ .

-Si  $p$  es igual o menor que el porcentaje defectuoso máximo admisible  $M$ , el lote se acepta; si  $p > M$  o si cualquier Índice de Calidad es negativo entonces el lote se rechaza.

#### 4.2.3 Criterio para Inspección Normal, Severa y Reducida.

Al iniciar la inspección debe usarse la Inspección Normal a menos que la autoridad responsable determine otra cosa. Se requiere calcular el promedio defectuoso del proceso con los

resultados de la inspección de muestreo de los 10 lotes precedentes para determinar el criterio de Inspección Normal, Severa y Reducida como se indica a continuación:

-La Inspección Rigurosa se exige cuando el promedio estimado del proceso es mayor que el AQL y el número de lotes cuyo porcentaje defectuoso estimado es mayor que el AQL supera un cierto número T. Los valores de T se buscan en la Tabla B-6 para las medias calculadas de los últimos 10 lotes.

-Se reinstala Inspección Normal si la media del proceso de los lotes bajo Inspección Severa es igual o menor al AQL.

-Para iniciar la Inspección Reducida, los 10 lotes anteriores tienen que haberse aceptado y el porcentaje estimado de cada uno de esos lotes precedentes tiene que haber sido menor que un límite inferior establecido en la Tabla B-7.

-Se reinstala Inspección Normal si se rechaza un lote, la media del proceso es mayor al AQL, el proceso se desestabiliza o es irregular o bien cuando otras condiciones garantizan una determinación sensata.

Para la aplicación del presente procedimiento se requiere de la Norma MIL STD 414, sin embargo se han extraído de la misma el plan de muestreo requerido para la Inspección Normal, Severa y Reducida para un AQL de 1.5, 2.5 y 4.0.

TABLA A-2 MIL STD 414

Tamaño del lote, N	Letra código	Tamaño del lote, N	Letra código
3-8	B	66-110	F
9-15	B	111-180	G
16-25	C	181-300	H
26-40	D	301-500	I
41-65	E		

TABLA B-3 Porcentaje defectuoso máximo admisible, M  
para Inspección Normal

Letra código	Tamaño muestra	AQL=1.5	AQL=2.5	AQL=4.0
B	3	↓	7.59	18.86
C	4	5.5	10.92	16.45
D	5	5.83	9.8	14.39
E	7	5.35	8.4	12.2
F	10	4.77	7.29	10.54
G	15	4.31	6.56	9.46
H	20	4.09	6.17	8.92
I	25	3.97	5.97	8.63



**TABLA B-3 Porcentaje defectuoso máximo admisible, M  
para Inspección Severa**

Letra código	Tamaño muestra	AQL=1.5	AQL=2.5	AQL=4.0
B	3	↓	↓	7.59
C	4	1.53	5.5	10.92
D	5	3.32	5.83	9.8
E	7	3.55	5.35	8.4
F	10	3.26	4.77	7.29
G	15	3.05	4.31	6.56
H	20	2.95	4.09	6.17
I	25	2.86	3.97	5.97

**TABLA B-4 Porcentaje defectuoso máximo admisible, M  
para Inspección Reducida**

Letra código	Tamaño muestra	AQL=1.5	AQL=2.5	AQL=4.0
B	3	7.59	18.86	26.94
C	3	7.59	18.86	26.94
D	3	7.59	18.86	26.94
E	3	7.59	18.86	26.94
F	4	10.92	16.45	22.86
G	5	9.8	14.39	20.19
H	7	8.4	12.2	17.35
I	10	7.29	10.54	15.17

TABLA B-6 Valores de T para Inspección Severa

Letra código	AQL=1.5 No.Lotes=10	AQL=2.5 No.Lotes=10	AQL=4.0 No.Lotes=10
B	*	4	5
C	4	5	6
D	5	6	6
E	6	6	7
F	6	7	7
G	7	7	7
H	7	7	8
I	7	7	8

TABLA B-7 Límites para el % defectuoso estimado del lote para  
Inspección Reducida

Letra código	AQL=1.5 No.Lotes=10	AQL=2.5 No.Lotes=10	AQL=4.0 No.Lotes=10
B	*	[42]**	[28]**
C	[31]**	[22]**	[15]**
D	[18]**	[13]**	[9]**
E	0.1	0.68	2.65
F	0.74	1.8	3.56
G	1.14	2.23	3.94
H	1.31	2.4	4
I	1.39	2.48	4

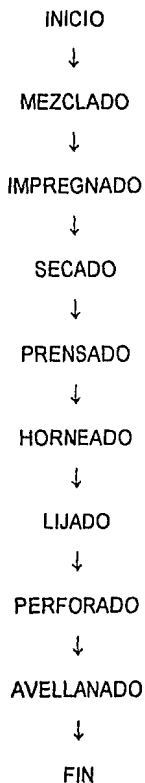
**Capítulo V AUDITORIA DE PROCESO**

Se considera la producción de tres tamaños diferentes de pasta para embrague cuyas dimensiones son las siguientes:

Letra código	Diámetro		Espesor
	Exterior	Interior	
Pasta 1	200 mm.	130.2 mm.	3.3 mm.
Pasta 2	279.4 mm.	165.1 mm.	3.6 mm.
Pasta 3	387 mm.	277 mm.	4.7 mm.

### 5.1 Diagrama de flujo de proceso

El diagrama de flujo que se muestra a continuación contiene las operaciones básicas para el procesamiento de la pasta para embrague.



## 5.2 Variables de proceso

### 5.2.1 Mezclado

La viscosidad de la mezcla obtenida es la característica de calidad más importante. La mezcla se elabora por lotes, y debido a que la producción del lote tarda varias horas, la tasa de producción es demasiado lenta como para permitir tamaños muestrales mayores a uno.

Característica	Clasificación		
Densidad	Mayor		
Viscosidad	Crítica		
Temperatura	Mayor		
Característica	Procedimiento	Tamaño de muestra	Frecuencia
Viscosidad	Carta de Medias Móviles	1	Lote

## 5.2.2 Impregnado y Secado

Característica	Clasificación
Temperatura	Crítica
Velocidad	Crítica
Peso/metro	Crítica

Característica	Procedimiento	Tamaño de muestra	Frecuencia
Temperatura	Carta $\bar{X}$ -R	5	4 hr.
Velocidad	Carta $\bar{X}$ -R	1	4 hr.
Peso/metro	Carta $\bar{X}$ -R	5	4 hr.

## 5.2.3 Preformado

Característica	Clasificación
Peso de preforma	Crítica
Diámetro exterior	Mayor
Diámetro interior	Mayor

Característica	Procedimiento	Tamaño de muestra	Frecuencia
Peso de preforma	Carta $\bar{X}$ -R	5	1 hr.

## 5.2.4 Prensado

Característica	Clasificación
Temperatura de platinas	Crítica
Presión de vapor	Mayor
Presión hidráulica	Mayor

Característica	Procedimiento	Tamaño de muestra	Frecuencia
Temperatura de platinas	Carta $\bar{X}$ -R	5	1 hr.

## 5.2.5 Horneado

Característica		Clasificación	
Temperatura máxima		Crítica	
Tiempo a temperatura máxima		Crítica	
Tiempo de calentamiento		Mayor	
Tiempo de enfriamiento		Mayor	
Característica	Procedimiento	Tamaño de muestra	Frecuencia
Temperatura máxima	Carta de Medias Móviles	1	Lote
Tiempo a Temperatura máxima	Carta de Medias Móviles	1	Lote



## 5.2.6 Lijado

Característica	Clasificación
Espesor	Crítica
Paralelismo	Crítica

Característica	Procedimiento	Tamaño de muestra	Frecuencia
Espesor	Carta $\bar{X}$ -R	6	30 min.
Paralelismo	Carta $\bar{X}$ -R	6	30 min.

## 5.2.7 Perforado

Característica	Clasificación
Diámetro de barreno chico	Crítica
Localización	Mayor
Diámetro de barreno pasado	Menor

Característica	Procedimiento	Tamaño de muestra	Frecuencia
Diámetro de barreno chico	Carta $\bar{X}$ -R	5	30 min.

## 5.2.8 Avellanado

Característica	Clasificación
Altura avellanado	Crítica

Característica	Procedimiento	Tamaño de muestra	Frecuencia
Altura avellanado	Carta $\bar{X}$ -R	5	30 min.

## 5.3 Defectos de proceso

El área de oportunidad de la ocurrencia de un defecto varía según el tamaño de pasta, por lo que es conveniente elaborar una Carta de Control del Número de Defectos c, para los diferentes tamaños de pasta en cada uno de los procesos.

En cada proceso se inspecciona la muestra y se identifica el número de defectos ocasionados por el proceso en cuestión.

Los defectos más importantes en cada uno de los procesos son los siguientes:

Proceso	Defectos
Preformado	Bajo peso, mal tejido
Prensado	Ampulas, poros, lastimadas
Horneado	Marcas, pandeadas
Lijado	Lastimadas
Perforado	Estrelladas, Falta de barrenos
Avellanado	Falta de avellanado

El tamaño de muestra para todos los procesos es de las últimas 20 piezas producidas con la misma frecuencia de muestreo de la auditoría de proceso.

## Capítulo VI AUDITORIA DEL PRODUCTO TERMINADO

La inspección del producto terminado consta de la inspección dimensional por variables, atributos y defectos.

### 6.1 Inspección dimensional por variables

-Las variables del producto se clasifican según el tipo de especificación en unilaterales y bilaterales.

-Es necesario determinar el número de mediciones por pasta ya que el área y número de barrenos depende del tamaño de la misma.

-La inspección del espesor está en función del área de la pasta por lo que se ha tomado como unidad de muestreo  $16 \text{ cm}^2$ .

Variables	Especificación
Espesor	Bitateral
Paralelismo	Unilateral
Diámetro de barreno chico	Bitateral
Altura de avellanado	Bitateral
Diámetro de barreno pasado	Unilateral

Pasta	Area ( $cm^2$ )	Unidad muestreo (16 $cm^2$ )
1	181	11
2	399	25
3	779	49

Pasta	Díámetro Barreno chico	Altura de avellanado	Díámetro Barreno pasado
1	8	8	8
2	24	24	12
3	30	30	0

-El plan de muestreo para la inspección de variables se basa en la Norma Militar Estándar 414 considerando variabilidad desconocida y el mismo Nivel de Calidad Aceptable (AQL) para especificaciones bilaterales. Se emplea el método de la desviación estándar y forma 2.

-El tamaño del lote de inspección es fijo con 500 piezas.

-Las variables del producto se han clasificado según su importancia estableciendo un Nivel de Calidad Aceptable (AQL) para cada uno de ellos.

Variable	Clasificación	AQL
Espesor	Crítica	1.5
Paralelismo	Crítica	1.5
Diámetro Barreno chico	Mayor	2.5
Altura de avellanado	Mayor	2.5
Diámetro Barreno pasado	Menor	4

El procedimiento de la inspección por variables es el siguiente:

-Determinar el tamaño del lote,  $N=500$ .

-Seleccionar la variable a inspeccionar.

-Determinar el número de unidades de la variable en el lote.

-En la Tabla A-2 seleccionar la letra clave para un Nivel de Inspección IV y el tamaño del lote de la variable.

-En la Tabla B-3 seleccionar el tamaño de muestra según la letra clave.

-Seleccionar el tamaño de muestra del lote en forma aleatoria y obtener las lecturas de la característica en cuestión.

-Calcular la media,  $\bar{X}$  y la desviación estándar muestral,

s.

-Determinar los índices de calidad,  $Q_1$  y/o  $Q_2$ .

-En la Tabla B-5 obtener el porcentaje estimado fuera de especificación,  $p_1$  y/o  $p_s$ . Si la especificación es bilateral el porcentaje defectuoso estimado  $p$ , es  $p_1 + p_s$ .

-En la Tabla B-3 determinar el porcentaje máximo admisible,  $M$  a partir de la letra clave y del Nivel de Calidad Aceptable (AQL) para la variable en cuestión.

-El criterio de aceptación es el siguiente: Si  $p < M$ ,  $p_1 < M$  o  $p_s < M$  se acepta el lote.

-Si el porcentaje defectuoso de los últimos 10 lotes consecutivos es mayor a los valores de  $T$  dados en la Tabla B-6 se cambia de Inspección Normal a Inspección Severa.

-Para Inspección Severa los tamaños de muestra son los mismos que en Inspección Normal pero con diferente porcentaje máximo admisible.

-Se reinstala Inspección Normal si la media de los 10 lotes bajo Inspección Severa es igual o menor al Nivel de Calidad Aceptable (AQL).

-Si los últimos 10 lotes se han aceptado y el porcentaje defectuoso de los mismos es menor que el límite dado en la Tabla B-7 se cambia de Inspección Normal a Inspección Reducida.

-Se reinstala Inspección Normal si en Inspección Reducida se rechaza un lote, la media del proceso es mayor al AQL, el proceso se desestabiliza, es irregular o alguna otra razón que lo justifique.

-En la Tabla B-4 se determina el tamaño de muestra y el porcentaje defectuoso máximo admisible para Inspección Reducida.

### ESPESOR

Unidad de muestreo: 16  $cm^2$

Pasta	Unidades/pza.	Unidades/Lote
1	11	11*500=5500
2	25	25*500=12000
3	49	49*500=24500

### PARALELISMO

Unidad de muestreo: 1 pieza

Pasta	Unidades/pza.	Unidades/Lote
1	1	500
2	1	500
3	1	500

### DIAMETRO DE BARRENO CHICO

Unidad de muestreo: Barrenos chicos

Pasta	Unidades/pza.	Unidades/Lote
1	8	8*500=4000
2	24	24*500=12000
3	30	30*200=15000



**ALTURA DE AVELLANADO**

Unidad de muestreo: Barrenos chicos

Pasta	Unidades/pza.	Unidades/Lote
1	8	8*500=4000
2	24	24*500=12000
3	30	30*200=15000

**DIAMETRO DE BARRENO PASADO**

Unidad de muestreo: Barrenos pasados

Pasta	Unidades/pza.	Unidades/Lote
1	8	8*500=4000
2	12	12*500=6000
3	0	0

**ESPESOR**

TABLA A-2 Letras código para el tamaño de muestra

Pasta	Tamaño de lote	Letra clave
1	5500	M
2	12000	N
3	24500	O

**PARALELISMO****TABLA A-2 Letras código para el tamaño de muestra**

Pasta	Tamaño de lote	Letra clave
1	500	I
2	500	I
3	500	I

**DIAMETRO DE BARRENO CHICO****TABLA A-2 Letras código para el tamaño de muestra**

Pasta	Tamaño de lote	Letra clave
1	4000	M
2	12000	N
3	15000	N

**ALTURA DE AVELLANADO****TABLA A-2 Letras código para el tamaño de muestra**

Pasta	Tamaño de lote	Letra clave
1	4000	M
2	12000	N
3	15000	N

### DIAMETRO DE BARRENO PASADO

**TABLA A-2 Letras código para el tamaño de muestra**

Pasta	Tamaño de lote	Letra clave
1	4000	M
2	8000	M
3	0	-

**TABLA B-3 Tamaño de muestra para Inspección Normal**

Pasta	Espesor	Paralelismo
1	50 piezas	25 piezas
2	75 piezas	25 piezas
3	100 piezas	25 piezas

**TABLA B-3 Tamaño de muestra para Inspección Normal**

Pasta	Diámetro de Barreno chico	Altura de A vellanado	Diámetro de Barreno pasado
1	50 piezas	50 piezas	50 piezas
2	75 piezas	75 piezas	50 piezas
3	75 piezas	75 piezas	0 piezas

TABLA B-3 Porcentaje defectuoso máximo admisible, M para Inspección Normal

Pasta	Espesor AQL=1.5	Paralelismo AQL=1.5
1	3.45	3.97
2	3.20	3.97
3	3.07	3.97

TABLA B-3 Porcentaje defectuoso máximo admisible, M para Inspección Normal

Pasta	Diámetro de Barreno chico AQL=2.5	Altura de Avellanado AQL=2.5	Diámetro de Barreno pasado AQL=4.0
1	5.20	5.20	7.61
2	4.87	4.87	7.61
3	4.87	4.87	-

TABLA B-6 Valores de T para Inspección Severa

Pasta	Espesor	Paralelismo
1	8	7
2	8	7
3	8	7

TABLA B-6 Valores de T para Inspección Severa

Pasta	Diámetro de Barreno chico	Altura de Avellanado	Diámetro de Barreno pasado
1	8	8	8
2	8	8	8
3	8	8	-

TABLA B-3 Porcentaje defectuoso máximo admisible, M para Inspección Severa

Pasta	Espesor AQL=1.5	Paralelismo (AQL=1.5)
1	2.49	2.86
2	2.29	2.86
3	2.20	2.86

TABLA B-3 Porcentaje defectuoso máximo admisible, M para Inspección Severa

Pasta	Diámetro de Barreno chico AQL=2.5	Altura de Avellanado AQL=2.5	Diámetro de Barreno pasado AQL=4.0
1	3.45	3.45	5.20
2	3.20	3.20	5.20
3	3.20	3.20	-

TABLA B-4 Tamaño de muestra para Inspección Reducida

Pasta	Espesor	Paralelismo
1	20 piezas	10 piezas
2	25 piezas	10 piezas
3	30 piezas	10 piezas

TABLA B-4 Tamaño de muestra para Inspección Reducida

Pasta	Diámetro de Barreno chico	Altura de Avellanado	Diámetro de Barreno pasado
1	20	20	20
2	25	25	20
3	25	25	-

Tabla B-4 Porcentaje defectuoso máximo admisible, M para Inspección Reducida

Pasta	Espesor AQL=1.5	Paralelismo AQL=1.5
1	6.17	7.29
2	5.97	7.29
3	5.86	7.29

**Tabla B-4 Porcentaje defectuoso máximo admisible, M para Inspección Reducida**

Pasta	Díámetro de Barreno chico AQL=2.5	Altura de Avellanado AQL=2.5	Díámetro de Barreno pasado AQL=4.0
1	8.92	8.92	12.99
2	8.63	8.63	12.99
3	8.63	8.63	-

### 6.2 Inspección por atributos

La inspección por atributos se lleva a cabo a través de dispositivos "pasa" "no pasa".

Los atributos a inspeccionar se han clasificado por su importancia asignando un Nivel de Calidad Aceptable (AQL) para cada uno de ellos como se muestra a continuación:

Atributo	Clasificación	AQL
Planicidad	Crítica	1.5
Localización	Crítica	1.5
Díámetro exterior mayor	Mayor	2.5
Díámetro interior menor	Mayor	2.5
Díámetro exterior menor	Menor	4.0
Díámetro interior mayor	Menor	4.0

El procedimiento de Inspección de éstos atributos lote a lote se basa en la Norma Militar Estándar 105D y es el siguiente:

-Determinar el tamaño del lote,  $N=500$ .

-Seleccionar el Nivel de Inspección, Nivel II.

-Determinar en la Tabla I la letra clave para el tamaño de lote y el Nivel de Inspección. Para  $N=500$  y Nivel II la letra clave es H.

-Encontrar el plan de muestreo simple para Inspección Normal en la Tabla II según la letra clave y el Nivel de Calidad Aceptable (AQL) en particular.

-Si al utilizar Inspección Normal se rechazan 2 de 5 lotes consecutivos se cambia a Inspección Severa.

-Si en Inspección Severa se aceptan 5 lotes en forma consecutiva se cambia a Inspección Normal.

-En la Tabla II B encontrar el plan de muestreo simple para Inspección Severa.

-Si en Inspección Normal se aceptan 10 lotes en forma consecutiva, el número total de defectuosas de esos 10 lotes resulta igual o menor al número límite dado en la Tabla VIII y el proceso se mantiene a un ritmo estable se cambia a Inspección Reducida.

-El número límite se obtiene para el número de unidades inspeccionadas en los últimos 10 lotes y según el Nivel de Calidad Aceptable (AQL). Si el número de unidades



inspeccionadas con un tamaño de lote de 500 es 50, entonces el número de unidades inspeccionadas en los últimos 10 lotes es de 500. En la Tabla VIII se obtienen los números límite para Inspección Reducida de 3, 7 y 14 para un Nivel de Calidad Aceptable, AQL de 1.5, 2.5 y 4.0.

-El plan de muestreo simple para Inspección Reducida se obtiene de la Tabla II C de la Norma.

**Tabla II A Planes de muestreo simples para Inspección Normal**

	Planicidad	Diámetro exterior mayor	Diámetro exterior menor
	Localización	Diámetro interior menor	Diámetro interior mayor
<b>AQL</b>	1.5	2.5	4
<b>n</b>	50	50	50
<b>Ac</b>	2	3	5
<b>Re</b>	3	4	6

**Tabla II B Planes de muestreo simples para Inspección Severa**

	Planicidad	Diámetro exterior mayor	Diámetro exterior menor
	Localización	Diámetro interior menor	Diámetro interior mayor
<b>AQL</b>	1.5	2.5	4
<b>n</b>	50	50	50
<b>Ac</b>	1	2	3
<b>Re</b>	2	3	4

Tabla II C Planes de muestreo simples para Inspección Reducida

	Planicidad	Diámetro exterior mayor	Diámetro exterior menor
	Localización	Diámetro interior menor	Diámetro interior mayor
AQL	1.5	2.5	4
n	20	2	20
Ac	1	1	2
Re	3	4	5

### 6.3 Inspección de defectos

El número de defectos por cada 100 unidades permitido es de cero defectos. Se consideran todos los defectos identificados en la muestra y los cuales son los siguientes:

- Falta de material en diámetros.
- Ampulas.
- Poros.
- Marcas profundas.
- Lastimadas en la pista u orilla.
- Estrelladas.
- Falta de barrenos.
- Falta de avellanado.

El procedimiento de Inspección de defectos está basado en la Norma Militar Estándar 105 D para el número de defectos por cada 100 unidades.

- Determinar el tamaño del lote,  $N=500$ .
- Seleccionar el Nivel de Inspección, Nivel II.
- Determinar la letra clave para  $N=500$  y Nivel II, H.
- Encontrar el plan de muestreo simple para la Inspección Normal en la Tabla II A para un AQL igual a 0.
- Utilizar los mismos criterios de Inspección Normal, Severa y Reducida descritos en la Inspección dimensional por atributos.

Sin embargo, el número de unidades inspeccionadas de las muestras de los últimos 10 lotes no es suficiente para utilizar la Inspección Reducida dado un Nivel de Calidad Aceptable (AQL) igual a 0 como lo muestra la Tabla VIII para números límite.

PLAN DE MUESTREO PARA INSPECCIÓN DE DEFECTOS

	Normal	Severa	Reducida
	TABLA II A	TABLA IIB	TABLA IIC
n	50	50	20
Ac	0	0	0
Re	1	1	1

#### 6.4 Inspección de propiedades físicas y químicas

Las propiedades físicas y químicas del producto terminado son el resultado de la calidad de la materia prima y de las condiciones de manufactura durante el proceso de producción.

La producción de material fuera de especificación en cualquiera de las propiedades se debe a causas específicas tales como fallas de horneado y problemas en la elaboración de la mezcla.

Estas propiedades no están en función del tamaño del producto a excepción de la resistencia al estallamiento y para la cual se calcula la resistencia mínima requerida para un diámetro en particular.

Por otro lado, las pruebas son destructivas y lentas por lo que se requiere de un tamaño de muestra pequeño.

El procedimiento de inspección se basa en la Norma Militar Estándar 414 ya que la evaluación se hace por variables con la ventaja de tener un tamaño de muestra menor que por atributos.

Los lotes de producción son de 500 piezas, las cuales se procesan bajo las mismas condiciones con lo que la unidad de muestreo es un lote de producción.

Por lo tanto, si la producción diaria es de 5,000 piezas se tienen 10 lotes de producción.

El procedimiento de inspección es el siguiente:

-Determinar el tamaño de lote,  $N=10$ .

-Seleccionar el Nivel de Inspección, Nivel IV.

-En la Tabla A-2 seleccionar la letra clave para  $N=10$  y Nivel IV, B.

-En la Tabla B-3 seleccionar el tamaño de muestra para la letra clave B, 3.

-Seleccionar para cada muestreo dos piezas ya que se requiere una pieza para la prueba de resistencia al estallamiento y otra pieza para efectuar las pruebas restantes.

-Efectuar las pruebas correspondientes.

-Calcular la media y desviación estándar muestral de los resultados obtenidos para cada prueba.

-Calcular los índices de calidad,  $Q_i$  y  $Q_s$ .

-En la Tabla B-3 obtener el porcentaje defectuoso máximo admisible según el Nivel de Calidad Aceptable (AQL) para cada propiedad en particular.

-En la Tabla B-5 obtener el porcentaje estimado fuera de especificación,  $p_i$  y/o  $p_s$ , siendo  $p = p_i + p_s$  para especificaciones bilaterales.

-Si  $p$ ,  $p_i$  o  $p_s < M$  se acepta el lote.

-Utilizar los criterios de Inspección Normal, Severa y Reducida.

-En la Tabla B-3 obtener el porcentaje defectuoso máximo admisible según la letra clave y el Nivel de Calidad Aceptable (AQL) para Inspección Severa.

-En la Tabla B-4 obtener el tamaño de muestra para la letra clave B y el porcentaje defectuoso máximo admisible, M según el Nivel de Calidad Aceptable (AQL) para Inspección Reducida.

Prueba	Clasificación	AQL	Especificación
Coefficiente de fricción	Crítica	1.5	Bilateral
Resistencia al estallamiento	Crítica	1.5	Unilateral
Gravedad específica	Mayor	2.5	Bilateral
Humedad	Mayor	2.5	Unilateral
Cenizas	Mayor	2.5	Unilateral

Tabla B-3 Porcentaje defectuoso máximo admisible, M para Inspección Normal

Prueba	AQL	M
Coefficiente de fricción	1.5	5.5
Resistencia al estallamiento	1.5	5.5
Gravedad específica	2.5	7.59
Humedad	2.5	7.59
Cenizas	2.5	7.59

**Tabla B-3 Porcentaje defectuoso máximo admisible, M para Inspección Severa**

Prueba	AQL	M
Coefficiente de fricción	1.5	1.53
Resistencia al estallamiento	1.5	1.53
Gravedad específica	2.5	5.5
Humedad	2.5	5.5
Cenizas	2.5	5.5

**Tabla B-6 Valores de T para Inspección Severa**

Prueba	AQL	T
Coefficiente de fricción	1.5	*
Resistencia al estallamiento	1.5	*
Gravedad específica	2.5	4
Humedad	2.5	4
Cenizas	2.5	4

**Tabla B-4 Porcentaje máximo admisible, M para Inspección Reducida**

Prueba	AQL	M
Coefficiente de fricción	1.5	7.59
Resistencia al estallamiento	1.5	7.59
Gravedad específica	2.5	18.86
Humeda	2.5	18.86
Cenizas	2.5	18.86

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Tabla B-7 Números Límite para Inspección Reducida

Prueba	AQL	Número
Coefficiente de fricción	1.5	*
Resistencia al estallamiento	1.5	*
Gravedad específica	2.5	[42]**
Humeda	2.5	[42]**
Cenizas	2.5	[42]**



## CONCLUSIONES

Todas las filosofías de calidad tienen como principio la mejora continua, lo cual requiere de un cambio de actitud para ver los problemas como una oportunidad para mejorar.

En los sistemas tradicionales de auditorías de calidad la memoria del auditor constituye un factor fundamental ya que éstas consisten en una acumulación de información y con la cual resulta poco práctico detectar con certeza la existencia de una causa de variación y evaluar en un periodo determinado el comportamiento de un proceso.

Por otro lado, en los procesos de producción existen numerosos factores que pueden afectar el resultado obtenido en un proceso particular por lo que al presentarse un problema se hacen suposiciones sobre la posible causa del mismo.

Así, en un proceso de producción se generan un sin número de problemas y los cuales deben resolverse tomando alguna acción correctiva. Sin embargo, es indispensable dedicar la mayor parte del tiempo en analizar los problemas para tomar una acción que prevenga la ocurrencia del mismo.

El Control Estadístico de Proceso es una herramienta aplicada en los procesos de producción para conocer, controlar y mejorar los mismos con múltiples ventajas tal como la prevención de defectos.

El Control Estadístico de Proceso ayuda a terminar cómo y dónde nos encontramos con respecto a la calidad de los procesos de producción además de facilitar la identificación de los problemas a tiempo para definir sus causas y tomar la acción adecuada. Así, se reafirman los conocimientos del proceso al verificar el efecto de los diferentes factores en el proceso de producción.

Es importante la planeación completa de las auditorías de calidad en todo el proceso de producción antes de implementarlas con objeto de definir los puntos de control considerando la relación entre los procesos y así determinar la herramienta estadística más apropiada para dichos puntos de control.

El sistema de auditorías de calidad debe ser dinámico y tener flexibilidad para modificar los procedimientos de auditoría según se requiera..

En un principio las auditorías de calidad tanto de materia prima como del producto terminado requieren del Muestreo de Aceptación ya que aún no está controlado.

Sin embargo, a medida que el Control Estadístico de Proceso se implemente en los procesos de los proveedores como en el propio se permitirán mayores riesgos en el Muestreo de Aceptación o bien hasta su completa eliminación.

## BIBLIOGRAFIA

Control Estadístico de Calidad

Grant & Leavenworth

CECSA, 1986

Control Estadístico de Calidad

Montgomery

Grupo Editorial Iberoamérica, 1985

Defect Prevention

Kane

ASQC Quality Press

Friction Materials Recent Advances

Chemical Technology Review No. 100

Noyes Data Corporation, 1978