



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**RECICLAJE DE DESECHOS DE PASTA
PARA EMBRAGUE AUTOMOTRIZ**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A :

JAIME MORALES PINEDA

A S E S O R :

I.Q. FERNANDO OROZCO FERREYRA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1997

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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 esta 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN



Departamento de
Exámenes Profesionales

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Reciclaje de desechos de pasta para embraque automotriz.

que presenta el pasante: Jaime Morales Pineda
con número de cuenta: 8419252-5 para obtener el TITULO de:
Ingeniero Químico

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautilian Izcalli, Edo. de Mex., a 25 de Junio de 1997

PRESIDENTE I.O. Fernando Orozco Ferrayra

VOCAL I.O. Margarita Castillo Agreda

SECRETARIO M. en C. Eligio P. Rivero Martínez

1er. SUPLENTE I.O. Gilberto A. Amaya Ventura

2do. SUPLENTE I.O. Ma. Elena Quiroz Macías

Con amor, respeto y admiración, dedico esta tesis a mis Padres a quienes les estoy infinitamente agradecido por todo lo que me han brindado.

Al amor de mi vida: Lucy,
Por todo el amor, apoyo y paciencia que ha depositado en mí.

A Marisol, Sergio, Mary, Sonia, Sr. Baldomero, Cuca, Gerardo.

A mis adorables sobrinos: Anton, Alfredo, Sergio, Alberto.

In memoriam a, Francisco de Borja, Gerardo Nuñez, Lucila Del Arco, Rodrigo Mora.

Con respeto y admiración dedico este trabajo al Ing. Fernando Orozco.

A mis compañeros de generación, en especial a: Rubén, Paco, Paty y amigos Alejandro Mora y Enrique Muñoz.

Jaime Morales Pineda

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	I
OBJETIVO.....	II
HIPÓTESIS.....	III
CAPÍTULO 1 EL EMBRAGUE AUTOMOTRIZ.....	1
1.1 Breve descripción del embrague y su funcionamiento.....	1
1.2 Componentes del embrague.....	3
1.2.1.- El Volante.....	3
1.2.2.- El Cojinete Piloto.....	3
1.2.3.- El Plato Opressor.....	3
1.2.4.- El Disco de Embrague.....	4
1.2.5.- El Collarín.....	5
1.2.6.- La Horquilla.....	5
1.3 Descripción y Características de las Pastas para Embrague Automotriz.....	6
CAPÍTULO 2 PROCESOS DE MANUFACTURA DE PASTAS PARA EMBRAGUE.....	8
2.1 Procesos más comunes de manufactura.....	8
2.1.1. Proceso de matriz tejida.....	8
2.1.2. Proceso de Matriz Moldeada en Húmedo.....	14
2.1.3. Proceso de Matriz Moldeada en Seco.....	15
CAPÍTULO 3 EXPERIMENTACIÓN.....	18
3.1 Introducción.....	18
3.2 Breve descripción de la función de los componentes principales para la elaboración de la pastas para embrague.....	19
3.2.1. Aglomerante.....	20
3.2.2. Las fibras.....	21
3.2.3. Las cargas.....	22
3.2.4. Los lubricantes.....	23
3.2.5. Los abrasivos suaves.....	23
3.3 Desarrollo experimental.....	24
CAPÍTULO 4 EVALUACIÓN Y CONCLUSIONES.....	32
4.1 Descripción de la evaluación de los parámetros a cumplir.....	32
4.2 Resultados obtenidos de las evaluaciones realizadas a cada experimentación.....	33
4.3 Discusión de resultados.....	34
4.4 Conclusiones.....	39
4.5 Gráficas y reportes.....	40
4.6 Anexos.....	82
BIBLIOGRAFIA.....	100

INTRODUCCIÓN:

En el proceso de fabricación de la pasta para embrague automotriz tipo tejida, existe una etapa del proceso la cual se denomina "desvaste", en donde se rebajan las piezas hasta un espesor determinado. En este proceso se genera un polvo ligeramente fibroso de color obscuro, el cual proviene del cuerpo de las piezas que se están procesando. Este tipo de residuo anteriormente se tiraban en basureros municipales sin ninguna prohibición de tipo ecológica. Actualmente esto ya no está permitido, ya que se considera como un residuo peligroso.

En el presente trabajo se propone un método y una formulación para reciclar la cantidad mayor posible de estos desperdicios, obteniendo un beneficio económico, utilizándolos en la fabricación de pasta tipo moldeada y cumpliendo con los requerimientos de calidad.

Se partirá de una formulación base y se sugerirán diferentes formulaciones hasta llegar a resultados que satisfagan los parámetros estipulados en la empresa donde se realizó el desarrollo.

OBJETIVO:

- Desarrollar una formulación de pasta para embrague automotriz tipo moldeado, utilizando desechos de pasta para embrague tipo tejida.
- Cumplir con los requerimientos de calidad estipulados.
- Evitar el confinamiento ecológico de dichos residuos peligrosos,
- Obtener un beneficio económico.

HIPÓTESIS:

Se piensa que es posible el reciclamiento de los residuos, ya que éstos formaron parte del cuerpo de la pasta, teniendo prácticamente las mismas propiedades de fricción; adicionando una proporción adecuada y moderada se podrán obtener excelentes resultados.

CAPÍTULO I

EL EMBRAGUE AUTOMOTRIZ.

1.1 Breve descripción del embrague y su funcionamiento.

Un vehículo automotriz consta principalmente de las siguientes partes mecánicas:

- 1.- El motor, que es la fuente de energía.
- 2.- El chasis y las ruedas, que soportan la carrocería.
- 3.- El tren de transmisión, que transmite la energía producida en el motor a las ruedas y que comprende: el embrague, la caja de cambios, el árbol de transmisión, el diferencial y los ejes.
- 4.- La carrocería.
- 5.- Los accesorios de la carrocería, incluyen calefacción, radio, parabrisas, luces, etc..

El Embrague o Clutch es un tipo de acoplamiento situado entre el motor y la caja de cambios, que permite al conductor conectar y desconectar el motor de dicha caja de cambios. Con el motor conectado, la energía se transmite a la caja; con el motor desconectado por acción del embrague, el motor gira libre, no entregando ninguna energía a la caja de cambios. Uno de los objetivos del embrague es desacoplar temporalmente el motor y la caja de cambios para que puedan cambiarse las relaciones de engranaje de la misma. Sin un medio como éste para interrumpir temporalmente el flujo de energía entre ambos, sería difícil engranar y desengranar los piñones de la caja de cambios. La presión existente entre los engranes por los que fluye energía, hace que al desengranarlos se requiera un esfuerzo considerable. Así mismo, cambiar los engranajes sin un embrague, sería un procedimiento arriesgado. Los piñones motrices, probablemente girarían a distinta velocidad que los piñones conducidos, lo cual provocaría la rotura de los dientes al intentar engranarlos. Al accionar el embrague se interrumpe el flujo de energía para que cuando se desacoplen los engranes, la presión entre sus dientes haya desaparecido. Cuando los

engranes están sueltos y el motor desconectado por acción del embrague, el piñón motor de la caja de cambios gira libre para que pueda alcanzar una velocidad sincrónica con otros engranes de la misma. De esa forma, el engranaje de los piñones puede llevarse a cabo sin que se produzcan choques.

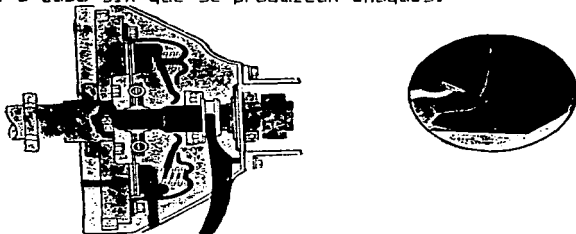


Fig. 1.1 Diagrama del embrague acoplado con el pedal sin accionar.

Embragado

Cuando el sistema de embrague es acoplado, el pedal del embrague está totalmente afuera o suelto, sin pisar. En esta 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 de embrague" transfiere la potencia al eje impulsor de la transmisión y a las ruedas tractoras del vehículo.

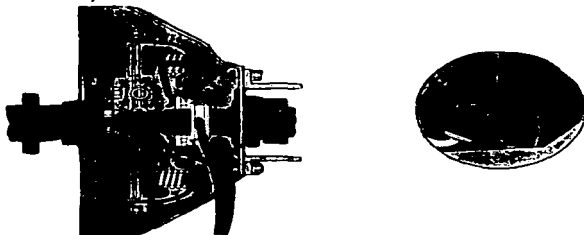


Fig. 1.2 Diagrama del embrague desacoplado con el pedal accionado

Desembragado

El sistema del embrague se desacopla cuando el pedal del embrague está completamente presionado. El volante del motor y el plato de presión siguen girando, pero el disco de fricción y el eje impulsor quedan inmóviles. Cuando se presiona el pedal, el mecanismo acciona la horquilla y ésta a su vez al collarín, el cual acciona al plato opresor liberando el disco de fricción.

1.2 Componentes del embrague:

1.2.1.- El Volante

El volante del motor está ubicado al final del cigüeñal, girando constantemente a la velocidad de la máquina, el volante sirve como una superficie de acoplamiento entre el disco de fricción y el motor.

1.2.2.- El Cojinete Piloto

El cojinete piloto del embrague se localiza al final del cigüeñal. Este sirve como guía para el eje impulsor de la transmisión.

Existen tres tipos de cojinetes, el tipo de buje hecho principalmente de bronce, otro tipo es de bolas o balines y finalmente el de rodamientos de agujas.

1.2.3.- El Plato Opresor

El plato opresor también llamado conjunto de tapa, está unido atornillado al volante del motor. Existen principalmente dos tipos de platos de presión. El primero tiene un mecanismo de operación de resortes con la ventaja que su fuerza de presión puede variarse según los resortes que se monten pero con una baja resistencia a altas revoluciones por minuto (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.

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 de presión. Esto permite que el disco de fricción se mueva, alejándose del volante del motor y del plato de presión (o plato opresor).

El embrague de diafragma a altas RPM logra una gran fuerza de apriete con un mecanismo que ocupa poco lugar. En motores modernos de altas RPM, se garantiza un comportamiento sin jaloneos ni vibraciones, así como una gran facilidad para el cambio rápido de las 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 frente al de resortes son las siguientes:

- El diafragma es resistente a 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 menor fuerza aplicada en el pedal para lograr un mayor espacio de despeje.

1.2.4.- 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.
- Discos con amortiguador de torsión.
 - Sin muelle entre pastas.
 - Con muelle entre pastas.

El tipo más sencillo de disco de embrague es el rígido sin

muelleo entre las pastas y se compone de:

- La maza con el ustribo 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 muelleo entre las pastas.

Básicamente el disco del 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 de presión y lo transmite a la flecha de mando de transmisión. Cuando el conductor acciona el embrague, se libera el disco de embrague interrumpiendo el flujo del torque. Para cumplir con las exigencias de confort actuales, pese a la construcción ligera y a velocidades adicionales a la transmisión, se necesitan sistemas sofisticados de amortiguadores de 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 estas irregularidades.

1.2.5. - El Collarín.

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

1.2.6. - La Horquilla.

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

1.3 Descripción y Características de las Pastas para Embrague Automotriz.

Las pastas para embrague automotriz son arillos rígidos con cierto grado de flexibilidad, que son termoformados a partir de un material friccionante, el cual está compuesto de fibras minerales, algunos metales y minerales los cuales les dan propiedades de abrasión, de fricción, estabilidad térmica y desgaste, también contienen algunos aglutinantes como son resinas sintéticas y en algunos casos hules vulcanizados. Al embragar y desembragar existe una porción de la energía transmitida que se transforma en energía calorífica por la fricción desarrollada en las superficies de trabajo del embrague, éstas están sometidas a un continuo trabajo a altas temperaturas y a altas revoluciones por minuto. Las pastas deben ser capaces de disipar el calor generado en la superficie metálica de acoplamiento y la superficie de contacto de la propia pasta; también disminuyen el movimiento relativo entre las dos superficies, lo cual disminuye la generación de calor.

Las pastas para embrague automotriz deben tener las siguientes características:

- Alto coeficiente de fricción y estabilidad del mismo.
- Resistencia al desgaste por trabajo.
- Resistencia térmica.
- Disipación térmica.
- Resistencia mecánica a las altas revoluciones por minuto.
- Transferencia de par motriz inicial sin vibración, ruidos, ni jaloneos.

Se requiere un determinado grado de fricción porque al embragar, las pastas deben transmitir suavemente y al 100% la energía proveniente del motor a la transmisión, evitando jaloneos o patinamientos, a esta acción se le denomina transferencia del par motriz, también deben tener resistencia al desgaste, ya que

trabajan en constante contacto con la superficie metálica del volante y del plato opresor y no se pueden estar cambiando pastas de embrague con relativa continuidad; se debe garantizar una vida útil, la resistencia térmica es muy importante, pues si las pastas no ofrecen esto, se corre el riesgo de que el desgaste se incremente en una forma descontrolada y en algunos casos la pasta se deshaga o se rompa por los cambios térmicos a los que usualmente están expuestos estos tipos de materiales. Por este motivo, las pastas deben tener una capacidad de disipación de calor aceptable para evitar que se degrade el material en cuestión, también es importante tener un tiempo de asentamiento corto para obtener un comportamiento óptimo del coeficiente de fricción lo más pronto posible una vez instaladas en el embrague. Además, se requiere cumplir con cierta resistencia mecánica del material, ya que las pastas giran a la misma velocidad que el motor cuando el embrague está acoplado.

En el siguiente diagrama se muestra los principales componentes de un embrague.

- 1.- Volante.
- 2.- Cojinete piloto.
- 3.- Plato opresor.
- 4.- Disco de embrague.
- 5.- Collarín.
- 6.- Horquilla.

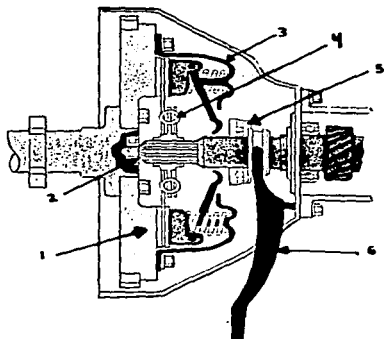


Fig. 1.3 Diagrama de los principales componentes del embrague.

CAPÍTULO 2 PROCESOS DE MANUFACTURA DE PASTAS PARA EMBRAGUE.

2.1 Procesos más comunes de manufactura.

Actualmente en el mundo existen muchos tipos de procesos de fabricación, pero en este trabajo sólo se mencionarán tres de los procesos más comunes en México.

2.1.1. Proceso de matriz tejida.

Este se divide en dos:

Impregnación de tela.-

Patente U.S. 3,956,545 (11 de Mayo de 1976), F. D. Afflerbach, I. Barnett (asignado a Johns Manville Corp.).

Se monta un rollo de tela de fibra de vidrio (1) en el rodillo (2). El eje es montado rotativamente en cojinetes y está libre para girar sobre su eje longitudinal para desenvolverse e impregnar la tela en la mezcla friccionante de 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) se monta en el fondo de la tina de mezcla para asegurar que la tela sea sumergida en la tina por un período de tiempo suficientemente largo para impregnarse completamente. Los rodillos exprimir (7) están 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. El medio de secado es aire, el cual se calienta con resistencias eléctricas o con serpentines en los cuales circula vapor, todo esto con el objeto de remover los volátiles de la mezcla friccionante con un ventilador de escape para remover los vapores volatilizables de la torre. La longitud y velocidad de la tela a través de la torre así como las temperaturas dentro de la propia torre de secado

se regulan de manera que los volátiles sean removidos de la mezcla friccionante 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 dicha tolva. El plato interior de la tolva es deslizable, de manera que el ancho de la ranura puede ser controlado. La cantidad de virutas de metal distribuido en la tela puede ser ajustado regulando la velocidad rotacional del tornillo y/o abertura de descarga de la ranura en el fondo de la tolva.

El husillo (12) se maneja por un motor para llevar el rollo de tela a través de la tina de impregnación, los rodillos exprimidores y la torre de secado hasta el husillo. La tela se enrolla espiralmente en el rodillo para formar un cilindro hueco. Debido a la velocidad relativamente baja a la cual la tela se enrolla en el husillo, el motor se acopla mediante un reductor de velocidad.

Una vez que se ha completado el embobinado se remueve el acoplamiento que conecta el reductor de velocidad al husillo. 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 del producto al final, después del moldeo.

Posteriormente se rota el husillo para cortar el cilindro de discos al espesor deseado. Una vez cortados, se remueven las matrices disquiformes del husillo. Debido a la fricción de las capas adyacentes de hilos y a la adhesión inherente de la composición de la mezcla, la preforma o matriz mantiene su forma de disco. Entonces, se coloca en la preforma sin curar en moldes entre platinas bajo presión en un rango de 2000 a 2500 psi y curadas parcialmente a una temperatura de 320 °F a 340°F durante 4 minutos. Posteriormente se completa polimerización de la resina mediante un post-calentamiento en un horno durante 6 hrs. a 320 °F y 2 horas a 400°F.

De esta manera las pastas o discos son terminados

espesor requerido, barrenados y avellanados según plano correspondiente.

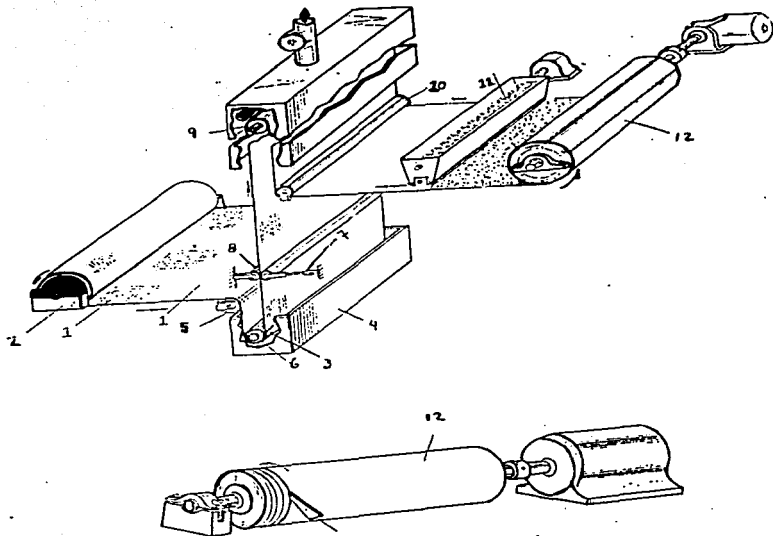


Fig. 2.1 Procesos de Fabricación de pasta para embrague por el método de impregnación de tela.

Impregnación de cuerdas. -

Patente U.S. 3,756,910 (4 de Septiembre de 1973), W.B. Peters, Barnett (asignada a Johns-Manville Corp.).

Un conjunto de filamentos de fibra de vidrio forma lo que se conoce como un roving, los cuales se impregnan con mezcla friccionante la cual se compone principalmente de hule sintético resina fenólica y cargas; después de un secado parcial, se enrollan en forma helicoidal (o en forma senoidal como es el caso de la patente 4,384,640 asignada a Raymark Corporation, Trumbull, Conn. y 4,349,595 asignada a Raybestos-Manhattan, Inc., Trumbull, Conn.) 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 se mantienen ligeramente distantes mientras pasan a través del rodillo (3) en la tina de mezcla (4). Este espacio da la oportunidad para que la mezcla friccionante impregne con más facilidad todos los filamentos del 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 volumen 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 de mezcla.

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) hacia la parte superior de la segunda torre (11). Mientras pasa el roving hacia abajo en ésta, 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 inferior

(14). Así los rovings pasan a través de ambas torres en forma individual ya que a la entrada de la torre se separan.

La mezcla puede estar compuesta de muchas formulaciones comunes en la manufactura de pastas para embrague, como hule vulcanizable del 30% al 40% , acelerador y agente de vulcanizado 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 enrollan helicoidalmente (16) alrededor de varios rovings reteniéndolos en un sólo manajo, 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 con carretes de alambre de latón que giran alrededor de rovings para envolverlos helicoidalmente en un manajo continuo. La plataforma tiene una entrada axial que permite a los rovings pasar verticalmente a través de ella. Un motor conectado a través de un engrane sinfín 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. La envoltura puede hacerse con otros materiales como el rayón, nylon o fibra de vidrio. El objetivo de la envoltura es mantener un manajo continuo para facilitar su manejo y formación de la preforma. Esto proporciona una superficie de fricción deseada y facilita la transferencia de calor entre las superficies de contacto. La plataforma es montada rotativamente en una caja para proteger al equipo y a los trabajadores.

Cuando el carrete ha juntado la cantidad necesaria de manajo continuo, éste es partido y el carrete completo se remueve. 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 se remueve del molde y se cura por varias horas bajo alta presión y temperatura.

Posteriormente, la forma curada o vulcanizada es terminada al diámetro, maquinada al espesor, barrenada y avellanada según el plano del número de parte correspondiente.

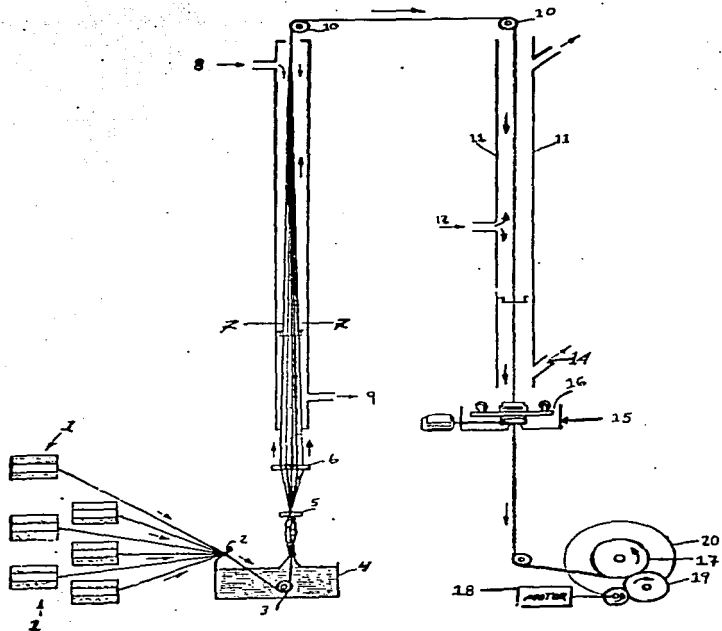


Fig. 2.2 Proceso de fabricación de pastas para embrague por el método de impregnación de cuerdas.

2.1.2. Proceso de Matriz Moldeada en Húmedo.-

De la patente U.S. No. 4,617,162 (14 de Octubre de 1986),
Wolff G. von Rex; Hans Fetzer; (asignada a Rex Patent Graf von
Rex GmbH and Schwäbisch Hall, Fed. Rep. of Germany).

Este método de producción se realiza en húmedo. Normalmente se usa agua en combinación con agentes activos plastificantes, en una mezcladora tipo Eirich por mencionar alguna, ya que existen varios diseños. Se agregan las fibras previamente abiertas, las cargas, los aglutinantes, el agente plastificante y el agua, (normalmente se usa una relación de agua/sólidos de 1:3 a 1:7) y se mezcla durante aprox. 20 min. La mezcla obtenida tiene una apariencia de pasta, que se extruye en el molde de una prensa hidráulica, en la cual se le da dimensiones burdas a la pastilla. Posteriormente se evapora el agua del cuerpo de la pastilla en un horno con aire tibio; las pastillas, una vez secas, se pasan a una prensa de termoformado, colocadas en un molde donde la pastilla toma la forma y dimensiones aproximadas por medio de presión y temperatura. En seguida son enviadas a un horno de curado donde con aire caliente se polimerizan los aglutinantes. Las piezas ya horneadas pasarán al área de terminado donde se le dará las dimensiones adecuadas y se barrenará conforme al número de parte según plano.

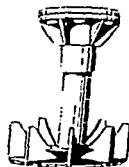
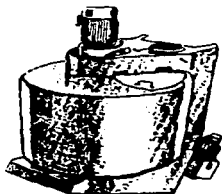


Fig. 2.3 Diagrama de la mezcladora tipo Eirich para fabricación de pastas para embrague tipo moldeado en húmedo.

2.1.3. Proceso de Matriz Moldeada en Seco.-

De la patente U.S. No. 4,137,214 (30 de Enero de 1979), Henry A. Sochalski, Trenton, N.J. (asignada a Thiokol Corporation, Newton, Pa.).

En este método de producción, la diferencia más notable es en el proceso de mezclado. En este se agregan todos los ingredientes en seco, como se menciona en esta patente, donde se usa una mezcladora marca Patterson-Kelley. Este equipo opera con el principio de flujo Divergente; esta mezcladora combina los flujos de dos cilindros inclinados, cuenta con una barra que es localizada en el eje de rotación del equipo, en el cual están sujetas las propelas de agitación, siendo éstas las responsables de lograr un contacto íntimo entre los materiales logrando un mezclado homogéneo. En el proceso de mezclado en seco, normalmente no se agregan todos los ingredientes al mismo tiempo. Generalmente se agregan al inicio las fibras y posteriormente los demás ingredientes, donde la mayoría son polvos.

El proceso de mezclado depende de varios factores como son:

El diseño (o marca) del equipo mezclador.

La formulación.

Las características de las materias primas a mezclar.

La cantidad de materia prima a mezclar.

Realmente no existe un procedimiento de mezclado general que brinde excelentes resultados, normalmente cuando se adquiere un equipo de mezclado, los proveedores proporcionan un procedimiento base y los técnicos en planta deben ajustar tal procedimiento a sus necesidades muy particulares. Existe también un mezclador muy usado, es del tipo Littleford, el cual consta de un cilindro horizontal que tiene por el centro un eje, el cual tiene a su vez un juego de propelas, las cuales giran con el eje central, también tiene un juego de espas por un extremo del cilindro el

cual gira a altas revoluciones, combinando el movimiento de ambos juegos de aspas da como resultado un excelente mezclado. Para el desarrollo de esta tesis se utilizará este tipo de mezclador. En el proceso en seco, una vez terminada la mezcla, pasa a la etapa de pastillado, en la cual se forma la matriz en frío con una prensa hidráulica, esto se logra únicamente aplicando presión al material contenido en un molde. En este paso se le da una forma burda, ya que después pasará al proceso de termoformado dándole forma y dimensiones, esto se logra colocando la matriz en un molde metálico el cual está en una prensa hidráulica a temperaturas arriba de los 100 °C. Posteriormente se pasará a la etapa de horneado donde se polimeriza el aglutinante, normalmente son temperaturas por arriba de los 120 °C durante varias horas; en esta etapa en ocasiones existe una vulcanización dependiendo de la fórmula que se esté empleando, ya que para que esto se efectúe es necesario que parte del aglutinante esté compuesto por algún tipo de hule y algún vulcanizante. Posteriormente pasará al área de terminado en donde se le dará dimensiones exactas de espesor, diámetro interior y exterior; en esa misma área, se perforará y avellanará según el número de parte que corresponda.

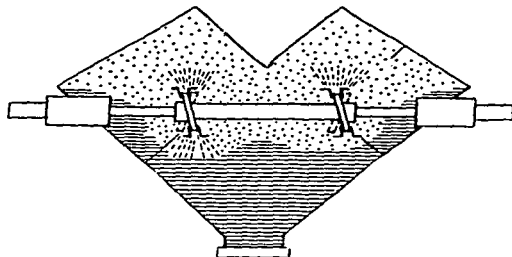


Fig. 2.4 Diagrama de la mezcladora tipo Patterson-Kelley para la fabricación de pasta para embrague en seco.

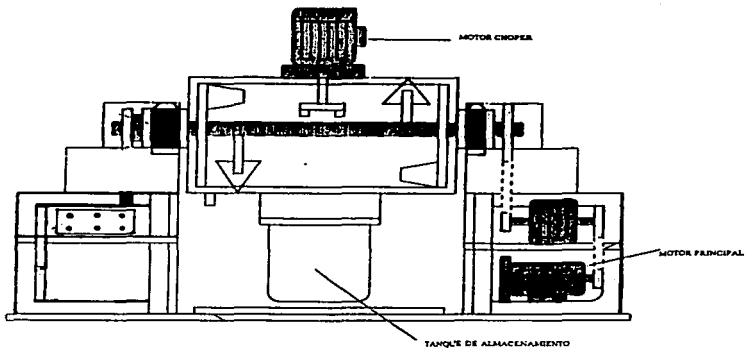


Fig.2.5 Diagrama la mezcladora tipo Littleford para la fabricación de pastas para embrague en seco.

CAPÍTULO 3 EXPERIMENTACIÓN

3.1 Introducción.

El desperdicio que se pretende reciclar es generado en una de las etapas del proceso; en dicha etapa se desvistan las piezas por ambas caras para darle el espesor final, la consistencia de este desperdicio es la de un polvo fino de color oscuro ligeramente fibroso. Se piensa que se puede reutilizar dicho desperdicio, ya que forma parte del cuerpo de la pieza, teniendo casi las mismas propiedades de fricción. Las figuras 3.1 y 3.2 muestran los diagramas de bloques para los procesos de fabricación de pastas para embrague tipo tejida en donde se genera el polvo a reciclar, y de tipo moldeada en la cual se pretende utilizar.

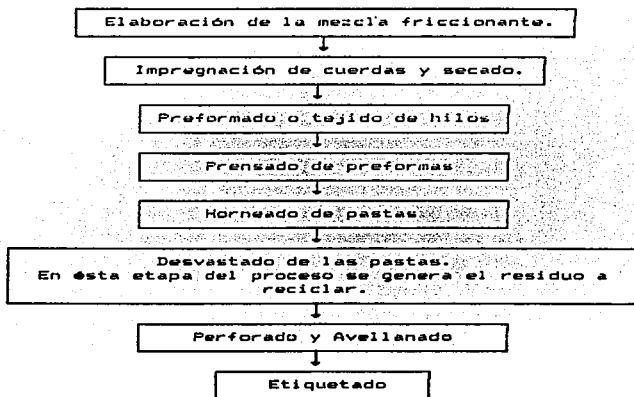


Figura 3.1 Diagrama del proceso de fabricación de pastas para embrague de tipo tejida.

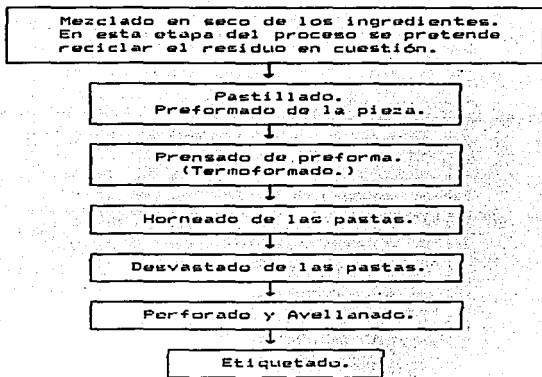


Figura 3.2 Diagrama del proceso de fabricación de pastas para embrague de tipo moldeado.

3.2 Breve descripción de la función de los componentes principales para la elaboración de la pastas para embrague.

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 cumplir estos 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, debe ser durable y estable al calor y

generar poco o ningún ruido mientras esté friccionando con la parte ensamblada.

En resumen, un material de fricción retarda el movimiento relativo entre dos superficies, convirtiendo el movimiento en calor y controlando, absorbiendo o disipando el calor generado durante el contacto por deslizamiento. Es importante conocer los constituyentes principales para la elaboración y formulación de una pasta para embrague. A continuación se describen, en términos generales, los principales componentes para la elaboración de pasta para embrague tipo moldeada:

3.2.1. Aglomerante.

Una de las principales funciones del aglomerante es mantener la forma del producto, envolviendo los componentes y manteniéndolos unidos, mejorando la vida útil de la pieza y, en ocasiones, contribuir a aumentar el nivel de fricción. Por ejemplo: resina fenólica y hule sintético o natural que resultan buenos aglomerantes.

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

Las resinas más comunes son las de tipo fenólico y las materias primas más importantes en su elaboración son fenol y formaldehído. Las aminas primarias o secundarias además de servir como catalizador pueden formar productos de reacción intermedios con el aldehído y el fenol. El fenol contribuye con 85 al 90% en peso en una resina fenólica. Estructuralmente consiste de un anillo bencénico con un átomo de hidrógeno remplazado 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.

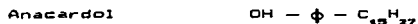
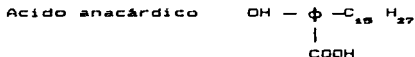
Con las dos posiciones reactivas, el fenol puede ser entrecruzado con grupos metilénicos derivados del formaldehído, para formar una red tridimensional pero no necesariamente uniforme en su

arreglo, en esta forma el polimero es infundible e insoluble.

En la química de los polimeros, los fenoles son referidos como polimeros 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 amoniaco por medio de una reacción de un sólo paso en comparación de una reacción en cadena típica de los polimeros vinílicos.

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

Uno de los modificadores de las resinas fenol-formaldehído o fenólicas utilizado comúnmente en materiales de fricción es el aceite de cashew, el cual le proporcionará a la resina fenólica un alto grado de fricción. 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.



El tipo de resina que se utilizará en este trabajo es una resina fenólica, catalizada con hexametiltetramina ((CH₂)₆N₄).

3.2.2 Las fibras.

Las principales funciones que tienen las fibras en una formulación para pastas para embrague automotriz son: contribuir

en una gran parte a la resistencia mecánica, proporcionar volumen y densidad apropiadas y, en ocasiones, mejorar el nivel de fricción. Un ejemplo típico de estos materiales son: fibras de asbesto, fibra de vidrio, etc.

Existen varios tipos de asbesto, aunque el tipo crisolito es el que se utiliza en la fabricación de pasta para embrague; éste es un silicato de magnesio hidratado con fórmula $[Mg_3(OH)_4Si_2O_{10}]_n$. Bajo condiciones continuas y prolongadas a altas temperaturas hay una pérdida de agua estructural en la fibra, de 750 °F a 1110 °F y tiene un punto de fusión de 2770 °F.

El asbesto tiene una excelente resistencia al medio ambiente y en compuestos de asbesto mejora la resistencia al deslizamiento, imparte resistencia a la flexión y disminuye el coeficiente de expansión. La fibra de asbesto se clasifica por su tipo, longitud de fibra, 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 inserción de metal, esta presentación se utiliza ampliamente en la fabricación de pasta para embrague tipo tejida.

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. Por tal motivo, las autoridades ecológicas prohíben depositar los residuos de este tipo de material en tiraderos municipales; estos deberán ser confinados en cementerios industriales.

3.2.3 Las cargas.

Forman parte importante del volumen total de una formulación, en algunos casos bajando el costo de la misma. Sin embargo, en la selección de la carga debe considerarse un posible beneficio en las propiedades del producto, tales como impartir densidad, resistencia y modificando la fricción en varios rangos de temperatura, como por ejemplo el polvo de aceite de caseo polimerizado, carbonato de calcio, óxidos, sulfatos, silicatos y fosfatos de Bario, Cobre, Plomo y Antimonio principalmente.

El polvo polimerizado es el producto de una reacción de condensación de un aldehído con el aceite de cashew, que permite alcanzar una fricción elevada uniforme, presentando poco desgaste y buena resistencia a temperaturas elevadas. La alta capacidad de absorción de calor a temperaturas elevadas reduce las tendencias 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 son baja absorción de humedad, bajo coeficiente de expansión y costo moderado.

La Barita es un mineral que está compuesto principalmente por Sulfato de Bario, el cual proporciona poca absorción de humedad, elevada densidad, propiedades de reforzamiento y bajo costo.

La Vermiculita es el nombre que se le da a un grupo de minerales laminados e hidratados que están constituidos por silicatos de hierro, magnesio, potasio y calcio con una apariencia semejante a la mica, las propiedades generales son baja densidad, costo moderado y la más importante es que el deslizamiento entre superficies es muy suave.

3.2.4. Los lubricantes.

Los lubricantes en una formulación para pasta para embrague proporcionan un acoplamiento uniforme del embrague, mantienen la temperatura de operación relativamente baja, prolongando la vida útil del producto. Los lubricantes más utilizados son el grafito, coque calcinado del petróleo y disulfuro de molibdeno.

El grafito amorfo es uno de los lubricantes más usados para esta aplicación, se encuentra en la naturaleza en betas formadas por 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. Se compone de un 60 a 85% de contenido de carbono y la diferencia se compone principalmente por óxidos de silicio, aluminio y hierro.

3.2.5. Los abrasivos suaves.

Estos pulen las superficies metálicas de contacto y en ocasiones incrementan el nivel de fricción. Normalmente se utilizan compuestos metálicos suaves como son zinc, latón, óxidos de plomo, sulfatos de plomo y bronce.

3.3 Desarrollo experimental.

Existe actualmente una infinidad de formulaciones para la elaboración de pastas para embrague; no existe una receta a seguir, ya que cada productor tiene su "sazón" muy propio. Cuando se empieza a desarrollar una formulación, usualmente se parte de una "formulación base" o guía, para ir haciendo los ajustes necesarios experimentalmente.

El presente desarrollo tiene como objetivo reciclar la mayor proporción posible del desecho. Se partirá de una formulación base, la cual se mencionará más adelante, se propondrán varias formulaciones hasta encontrar resultados aceptables. Los parámetros a evaluar estarán definidos por las especificaciones manejadas en la empresa donde se realizó la experimentación, los procedimientos de evaluación estarán descritos en los anexos de esta tesis.

A continuación se describe la formulación base la cual fué consultada en: Technical Information "Good Year Chemicals", Chemigum Powdered Nitrile Elastomers, Akron, Ohio, U.S.A., 1973.

La formulación base es la siguiente:

Componentes	Partes en peso
Fibra de Asbesto 4T-400	200
Resina fenólica RP 222	120
Chemigum P 86	30
Sulfato de Bario	90
Partículas de fricción	25
(Collan 10 A M-40)	

Estos materiales se caracterizan como sigue:

Fibras.- Se utiliza fibra de asbesto, como ya se mencionó

anteriormente; contribuye principalmente a la resistencia mecánica, proporciona volumen y densidad. La fibra de asbesto que se va utilizar en este trabajo es clasificada como fibra de longitud medianamente larga y su clave es 4T 400 LAB Chrysolite.

Aglomerante. - Se emplea una resina fenólica sintética sin modificar, con hexametilentetramina, con clave RP 222, que ayuda a mantener unidos a todos los componentes y va a impartir resistencia al desgaste. Contiene otro aglomerante que impartirá elasticidad al producto final y también va a disminuir el desgaste. Se trata de un hule sintético denominado Polibutadieno-Acrilonitrilo desarrollado por Good Year Chemicals, con clave Chemigum P 86.

Carga. - La carga que se propone en la formulación base es el sulfato de bario, el cual le proporciona a la pasta densidad, cuerpo y ligero reforzamiento a la trama de dicha formulación, es un polvo fino de alta densidad, de color blanco.

Agentes Modificantes de Fricción. - Conocidos comúnmente como partículas de fricción, las cuales impartirán un alto coeficiente de fricción al producto terminado. Son fabricadas a partir de la reacción de un aldehído y el aceite de cashew. Se utilizarán partículas denominadas Collan 10 A M-40. Es común usar este tipo de partícula para la fabricación de balatas y pastas para embrague, ya que alcanza un elevado y uniforme grado de fricción y una excelente resistencia a las altas temperaturas.

Se considera que el polvo que se pretende reciclar tiene propiedades que principalmente proporcionan dos características a la pasta para embrague:

- 1.- Propiedades de fricción, ya que proviene del cuerpo de la misma pasta, teniendo las mismas propiedades de fricción.

2.- Reforzamiento mecánico, debido a su consistencia de polvo ligeramente fibroso.

Aparentemente, para la experimentación se tendrían que tomar en cuenta estos dos factores, pero se ha encontrado que el polvo realmente no tiene una participación importante en la resistencia mecánica, ya que la longitud de la fibra es muy corta comparada con la longitud de la fibra de asbesto, resultando varias veces más larga; por esta razón el modelo experimental se reduce a sólo variar dos factores o ingredientes; en otras palabras, sólo variarán las concentraciones de las partículas de fricción y las cantidades del polvo a reciclar.

Del seminario "El collar en la fabricación de la balata, pastas para embrague y otros"¹⁰ se recomienda usar de 8 a 16 % en peso de partículas de fricción. Esta cantidad recomendada servirá para definir los niveles de experimentación. La formulación base indica que se deben usar 25 partes en peso de partículas, esto representa un 5.37% en peso de la fórmula. Para fines prácticos sólo se trabajarán tres niveles, ya que el experimentar con más niveles representaría realizar un número considerable de corridas de experimentación; por ejemplo, se podrían manejar diez niveles para la cantidad recomendada, esto implicaría manejar una diferencia entre nivel y nivel de 0.8 % en peso, la cual es pequeña para este tipo de productos; sin embargo, si se experimenta con tres niveles, la diferencia entre ellos sería de 2.6 %, la cual es una cantidad diferencial adecuada para este tipo de producto. Un problema común al realizar un diseño de experimentos con muchos niveles son los recursos designados al desarrollo de la experimentación, para este caso en específico se requirió solucionar el problema en el menor tiempo posible.

Para definir cuantitativamente los niveles, de pruebas preliminares se tomó el valor recomendado para el primer nivel y se duplicará el valor para el segundo nivel, y para el tercer nivel se duplicará el valor de segundo nivel. De esta manera se estará muy cerca de los rangos recomendados; estos valores serán usados también para el otro parámetro que corresponde al polvo de

desperdicio, ya que se considera que tienen prácticamente las mismas propiedades de fricción que la pasta tipo tejida. Concretamente se propone un modelo factorial donde se variarán dos factores o parámetros con tres niveles cada uno, es decir, numéricamente equivale a 3^2 , lo cual representa 9 condiciones experimentales.

El cuadro experimental quedará de la siguiente manera:

Componentes	B se	Codificiones Experimentales								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Asbesto 4T400	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Resina RP 222	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
Chemigum P 86	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
BaSO ₄	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
Collan 10A40	25	25	25	25	50	50	50	100	100	100
Polvo a reciclar	0	25	50	100	25	50	100	25	50	100

Es importante mencionar que las experimentaciones se realizarán en un orden totalmente aleatorio. Esto se recomienda hacer para no tener ninguna tendencia o preferencia por alguna de estas experimentaciones.

El orden resultante fue:

Orden de realización	Número de experimentación
1	3
2	8
3	1
4	5
5	2
6	6
7	7
8	9
9	4

Descripción de actividades realizadas en el desarrollo de la experimentación:

1.- Elaboración de la mezcla.

La mezcla de los ingredientes fué hecha en un equipo de mezclado en seco tipo "Littleford" de 10 kg. de capacidad, el cual cuenta con dos juegos de aspas diseñadas para mezclar en forma eficiente y rápida en vía seca, como se puede apreciar en la figura 2.5, y que ya fué descrito en el capítulo anterior.

El procedimiento de mezclado consta de los siguientes pasos:

- Se agrega el asbesto y se mezcla durante tres minutos funcionando ambos juegos de aspas.
- Se agregan los demás ingredientes incluyendo el polvo a reciclar.
- Se mezcla durante quince minutos funcionando ambos juegos de aspas.
- Se descarga la mezcladora.

2.- Procesado de la mezcla y terminado del producto final.

Una vez hecha la mezcla se procede a preformarla. En este proceso la mezcla se prensa en frío con el objeto de tener una forma burda de las piezas a fabricar; primeramente se pesa cierta cantidad de mezcla, la cantidad está definida por el número de parte a preformar (el número de parte es la clave que corresponde a ciertas dimensiones especificadas), en el caso específico se pesan 190 g. para preformar el número de parte denominado 736 VW, la mezcla es vertida en un molde en el cual por la acción de un pistón es comprimida durante 10 segundos a una presión de 100 kg/cm², el pistón es accionado por una unidad hidráulica la cual se encarga de entregar la presión al pistón; a este conjunto se le denomina pastilladora o preformadora, la cual se describe gráficamente en la figura 3.3.

Una vez preformada la mezcla con dimensiones aproximadas, se coloca en la prensa de termoformado (Fig. 3.4), la cual consiste en un conjunto de platinas las cuales tienen cavidades interiores

por las cuales pasan vapor para ser calentadas a la temperatura de prensado, las platinas son accionadas por un sistema hidráulico de mayor potencia en comparación a la de la pastilladora, el ciclo de prensado está controlado por un contador electrónico, el cual es programable para poder modificar los tiempos de prensado; los moldes son colocados entre platina y platina para lograr una buena transferencia de calor; la pastilla o preforma es colocada en un molde al cual ya tiene las dimensiones correctas y es prensada la pastilla a 150 kg/cm^2 de presión y $145 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 3 minutos; una vez prensada la pasta, pasa posteriormente a un horneado donde se termina de curar la resina.

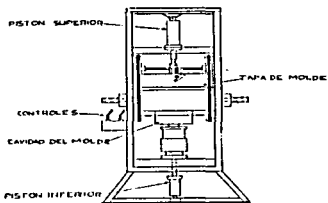


Fig. 3.3 Diagrama de la máquina pastilladora.

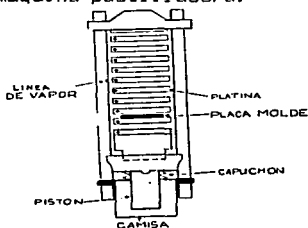


Fig. 3.4 Diagrama de la prensa termoformadora.

El proceso de horneado tiene una duración de 5 hr. a una temperatura de 145 °C.. El horno consta de un quemador de gas L.P., en la cámara de combustión pasa una corriente de aire el cual es calentado, pasando a la cámara de curado. en esta cámara habrá una transferencia de calor entre el aire caliente y las piezas a curar, las pastas son empalmadas una sobre otra en carros metálicos especialmente diseñados para esta operación, en la cámara de curado existe una recirculación interna del aire caliente para lograr una transferencia de calor homogénea a lo largo del proceso de horneado. Una vez cumplido el tiempo de residencia del aire caliente, éste pasará a la chimenea del horno. Este cuenta con un programador de temperatura y tiempo en el cual se puede programar el tiempo de horneado y la temperatura de curado, ver figura 3.5.

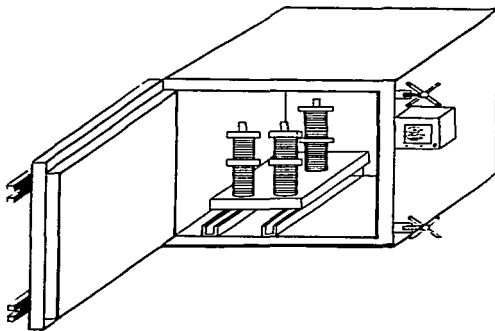


Fig. 3.5 Diagrama del horno de curado.

Una vez horneadas y extraídas las piezas se pasarán al área de desvastado, donde la pasta se termina a su espesor según el número de parte. Para este caso específico, las piezas se terminaron a 0.137 pulgada de espesor; para lograr esto se cuenta con desvastadoras de piedras, estas máquinas cuentan con un sistema de extracción de polvos, los cuales son generados al desvastar las pastas de embrague, ver figura 3.6.

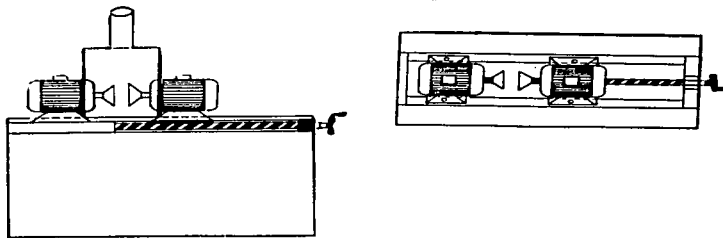


Fig. 3.6 Diagrama de máquina desvastadora de piedras

Posteriormente las piezas son perforadas con taladros según el número de parte correspondiente, apoyándose en cajas de perforar, estas cuentan con una matriz en la cual se tiene la disposición exacta de las perforaciones. En los mismos taladros se avellana sólo cambiando el tipo de broca; se entienda por avellanado al proceso de perforar en forma cónica, normalmente usado en este tipo de productos. Este tipo de corte o perforación sirve para embonar el remache de sujeción, el cual fija la pasta en el disco.

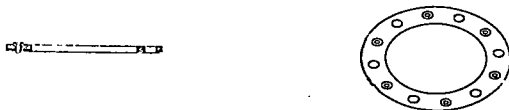


Fig. 3.7 Diagrama del avellanado y del remache.

CAPÍTULO 4 EVALUACIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

4.1 Descripción de la evaluación de los parámetros a cumplir.

Como ya se mencionó en el capítulo 1 de esta tesis, es necesario que la pasta para embrague cumpla con ciertas características, por lo cual, una vez terminadas las piezas, fueron evaluadas en el laboratorio donde se determinaron los siguientes parámetros:

- Nivel del coeficiente de fricción y comportamiento. Máquina: Friction Assessment Screening Test, (FAST)
- Disipación térmica. (máquina FAST)
- Desgaste en espesor. (máquina FAST)
- Tiempo de asentamiento. (máquina FAST)
- Densidad del material.
- Dureza Shore D-2.
- Resistencia a la fuerza centrífuga.

Al evaluar el nivel del coeficiente de fricción, automáticamente se obtienen resultados de los siguientes parámetros:

Comportamiento, desgaste en espesor. Procedimiento de evaluación está apoyado en la Norma Oficial Mexicana (NOM-D-153-1979)⁶⁶; cabe mencionar que adicionalmente se determinará la temperatura del disco de fricción de la máquina FAST, para estimar la disipación térmica, ya que se cuenta con un sensor infrarrojo el cual manda la señal de la lectura a una computadora donde es almacenada la información para su posterior impresión junto con los demás datos de la prueba FAST, este procedimiento se presenta en el anexo 2 de esta tesis, también es el caso del procedimiento para la determinación de la resistencia a la fuerza centrífuga (Anexo 3). Para determinar la dureza se usará un durómetro de aguja cónica tipo D ASTM D2240; el procedimiento se encuentra descrito en la norma correspondiente que se presenta en el anexo 4 de esta tesis. La densidad será determinada de acuerdo al procedimiento descrito en el anexo 5. El comportamiento del

coeficiente de fricción debe ser uniforme y con pocas variaciones en el nivel de fricción que marca el estándar, se permiten picos o valles, fuera del rango de aceptación, con duración de dos minutos como máximo.¹⁴

4.2 Resultados obtenidos de las evaluaciones realizadas a cada experimentación.

A continuación se presentan los resultados más importantes de las evaluaciones en forma condensada y ordenada para tener una visión más clara de los mismos, anexando al final de este capítulo cada una de las hojas reporte y gráficas correspondientes. Los estándares posteriormente mencionados están apoyados en la Norma de Especificaciones técnicas para Pastas para Embrague, LUK Alemania¹⁵.

Resultados de evaluación en máquina FAST:

Formulación	Coefficiente de fricción	Disipación Térmica	Desgaste Espesor	Tiempo de Asentamiento
Estándar ¹⁵	0.50 - 0.65	Tem. máx. 200 °C	De 15% a 20%	De 0 a 20 min
Base ^D	0.44 - 0.59	Máx. 219 °C	19.62 %	20 min.
1	0.44 - 0.65	Máx. 190 °C	15.38 %	20 min.
2	0.45 - 0.62	Máx. 189 °C	18.07 %	10 min.
3	0.49 - 0.69	Máx. 180 °C	19.61 %	15 min.
4	0.41 - 0.54	Máx. 196 °C	16.53 %	25 min.
5	0.47 - 0.63	Máx. 190 °C	17.30 %	40 min.
6	0.55 - 0.65	Máx. 190 °C	16.53 %	20 min.
7	0.58 - 0.78	Máx. 230 °C	14.23 %	55 min.
8	0.55 - 0.71	Máx. 218 °C	16.53 %	55 min.
9	0.58 - 0.70	Máx. 230 °C	16.92 %	45 min.

Para fines prácticos calificaremos el comportamiento del coeficiente de fricción como malo (M), regular (R) y bueno (B), en la siguiente tabla:

Formulación	Base	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Comportamiento	R	R	B	R	R	R	B	M	M	M

Resultados de evaluación de las siguientes propiedades físicas:

Formulación	Dureza Shore D-2	Densidad $\frac{g}{cm^3}$	Centrifugación
Estandar ¹⁵	83 a 85	De 1.8 a 1.90	10,025 R.P.M.
Base ⁶	83.53	1.9750 gr/cm ³	10,025 R.P.M.
1	85.03	1.9816 gr/cm ³	10,025 R.P.M.
2	84.63	1.8975 gr/cm ³	10,025 R.P.M.
3	84.43	1.9117 gr/cm ³	10,025 R.P.M.
4	84.60	1.9031 gr/cm ³	10,025 R.P.M.
5	85.13	1.8940 gr/cm ³	10,025 R.P.M.
6	84.53	1.8463 gr/cm ³	10,025 R.P.M.
7	85.90	1.7480 gr/cm ³	10,025 R.P.M.
8	84.95	1.7296 gr/cm ³	10,025 R.P.M.
9	84.43	1.7480 gr/cm ³	10,025 R.P.M.

4.3 Discusión de resultados.

Es importante mencionar que la reproducibilidad y validez de los resultados obtenidos al evaluar las características de un material de fricción en la máquina F.A.S.T., está avalada por la Society of Automotive Engineers (S.A.E.) en Automotive Engineering Congress; Detroit, Mich., U.S.A.; January 9-13, 1967.¹⁶

Comentarios sobre las formulación:

Formulación base:

En la evaluación en la máquina F.A.S.T., se obtiene una variación aceptable del coeficiente de fricción (curva A), aunque no excelente, ya que pierde nivel a partir del minuto 90. La variación de la presión normal (curva B) es ligeramente alta. La gráfica muestra una disipación térmica (curva C) no deseable, ya que presenta una temperatura máxima de 219 °C, siendo mayor al permisible, el desgaste está dentro de los parámetros establecidos y el tiempo de asentamiento aceptable como se puede apreciar en la gráfica correspondiente. Exhibe una dureza Shore D-2 ligeramente arriba del parámetro mínimo establecido, una densidad ligeramente elevada y una resistencia a la centrifugación buena.

Formulación uno:

Se observa de los resultados de la evaluación, que el coeficiente de fricción (curva A) muestra una variación más acentuada después del minuto 100, perdiendo nivel de fricción hasta el término de la evaluación. Esta formulación presenta un comportamiento similar a la gráfica de la formulación base esto podría deberse por la pequeña proporción de polvo que se le adicionó. Exhibe una disipación térmica aceptable sin muchas variaciones, un desgaste del 13.38 % el cual es moderado, y el tiempo de asentamiento de 20 min. estando en el límite permisible. La dureza exhibida está ligeramente arriba del estándar máximo establecido, lo cual no es recomendable. La densidad es ligeramente alta y la resistencia a la centrifugación es buena.

Formulación dos:

Se observa que el coeficiente de fricción es más estable con respecto a las formulaciones base y uno, solo del minuto 10 al 45 pierde nivel de fricción. Presenta una disipación térmica estable, la cual cumple con el parámetro establecido. La presión normal presenta una variación aceptable, el desgaste del material es del 18.07% el cual está dentro del estándar. El tiempo de asentamiento que presenta esta formulación es muy bueno, ya que

solo tarda 10 min. en estabilizarse el coeficiente de fricción. La dureza obtenida está dentro de especificación, La densidad del material es adecuada y la resistencia mecánica es buena.

Formulación tres:

Esta formulación presenta un incremento del coeficiente de fricción a partir del minuto 85, saliéndose del rango permisible. Se observa que la presión normal tiene una variación fuerte en el minuto 70 que no es recomendable, puesto que este comportamiento representa inconsistencia de la formulación. Se observa una disipación térmica muy buena, teniendo en cuenta el nivel del coeficiente de fricción que presenta esta formulación. El desgaste del espesor está dentro del rango permisible, el tiempo de asentamiento es de 15 min. el cual se concidera un buen tiempo para estabilizar el coeficiente de fricción. La dureza obtenida esta dentro de los parametros establecidos y la densidad calculada esta fuera de especificación y la resistencia mecánica es buena.

Formulación cuatro:

El coeficiente de fricción de esta formulación presenta variaciones a lo largo de toda la evaluación. Esto no es recomendable puesto que representa cierta inconsistencia del mismo. También se observa cierta variación en la presión normal sobre todo en los primeros 30 min. de la evaluación. La disipación térmica es deficiente, además presenta un aumento de temperatura anormal en el min. 60. El desgaste se encuentra dentro de los parámetros requeridos y el tiempo de asentamiento resultó de 25 min. el cual es ligeramente alto. La dureza exhibida es aceptable, la densidad calculada está fuera de la especificación. Finalmente, la resistencia mecánica es buena.

Formulación cinco:

Se observa una variación no deseable en toda la evaluación del coeficiente de fricción sobre todo en el minuto 150, en el cual se detecta una disminución de hasta 0.46. El tiempo de asentamiento es largo siendo este de 40 min.. La presión normal presenta una

variación hasta el min. 100, despues la variación disminuye junto con el coeficiente de fricción, se observa que la temperatura máxima alcanzada es de 190 °C la cual muestra una disipación térmica adecuada. La dureza promedio determinada es aceptable, la densidad calculada esta dentro del rango a cumplir y finalmente presenta una buena resistencia mecánica.

Formulación seis:

Los resultados muestran una variación aceptable del coeficiente de fricción, se detecta en los minutos finales una ligera pérdida del nivel de fricción, siendo esta despreciable, ya que sigue estando en el rango permitido. También se observa que la presión normal aplicada al espécimen presenta una variación menor y es mucho más uniforme que las demás formulaciones. El tiempo de asentamiento es de 20 minutos cumpliendo con el requerimiento. El desgaste obtenido fue de 16.53% cumpliendo con este parametro de durabilidad. El gráfico muestra una temperatura máxima de 190 °C teniendo una disipación térmica suficiente. La dureza evaluada esta dentro de especificación. La densidad calculada esta en el rango requerido, Finalmente la resistencia mecánica evaluada es buena.

Formulación siete:

Esta formulación tiene un tiempo de asentamiento muy largo, una variación del coeficiente de fricción muy marcado despues del minuto 120. La presión normal tambien presenta una variación considerable, la temperatura máxima registrada fue de 230 °C, lo cual muestra una mala disipación de calor. La dureza que presenta esta formulación es ligeramente superior al valor máximo permitido. La densidad calculada de esta formulación es menor al valor mínimo requerido no cumpliendo con este parametro. La resistencia a la fuerza centrifuga es buena.

Formulación ocho:

Se observa un tiempo de asentamiento muy largo, el coeficiente de fricción muestra una variación muy marcada a partir del minuto 120, la presión normal presenta cierta variación en

toda la evaluación. El desgaste obtenido es adecuado, se detecta una temperatura máxima del disco de 218 °C, la cual muestra una disipación térmica deficiente, la dureza obtenida fue de 84.95, siendo esta adecuada. La densidad calculada resultó menor al valor mínimo estipulado no cumpliendo con este parámetro, la resistencia mecánica evaluada es buena.

Formulación nueve:

Como se puede observar en la gráfica el tiempo de asentamiento presentado es de 45 minutos, el cual es demasiado largo, el coeficiente de fricción muestra una variación notable a partir del minuto 120. El desgaste presentado es aceptable. La disipación térmica es deficiente, puesto que se registró temperaturas de hasta 230 °C. La densidad calculada es menor al rango permitido, La dureza obtenida está dentro de los valores permitidos y finalmente la resistencia mecánica determinada es buena.

Cuadro final de resultados respecto del intervalo de valores de la norma.

Parámetro	Formulaciones								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Coefficiente de Fricción	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO
Disipación Térmica	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO
Desgaste	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Tiempo de Asentamiento	SI	SI	SI	NO	NO	SI	NO	NO	NO
Dureza D-2	NO	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI
Densidad	NO	SI	NO	NO	SI	SI	NO	NO	NO
Resistencia Centrifuga	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Comportamiento.	NO	SI	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO

4.4 Conclusiones.

Analizando los resultados de los cuadros anteriores solo la formulación 6 cumple con todas las especificaciones requeridas, aunque un estudio menos riguroso de formulaciones, daría como resultado que la número 2 también podría funcionar.

De los resultados obtenidos de las formulaciones 6 y 2 se puede concluir que la relación óptima entre partículas de fricción y el polvo a reciclar es de 1 parte de partículas por el doble de polvo a reciclar.

Por otra parte se descarta la teoría de que el polvo a reciclar tiene las mismas propiedades de fricción que la pasta de embrague de donde proviene, al menos en formulaciones propuestas en esta tesis. Es decir, el polvo sí contribuye a aumentar el coeficiente de fricción, pero no de manera predominante.

Finalmente, se han cumplido los objetivos planteados inicialmente en su totalidad, ya que se ha encontrado una formulación funcional que cumple con los requerimientos de calidad estipulados, mejorando la calidad de la formulación anteriormente usada.

Al utilizar este residuo se resuelve el problema de confinamiento especial para este tipo de material de desecho, ya que está prohibido desecharlo en tiraderos comunes.

Con la formulación propuesta se está reciclando el 17% en peso, lo cual representa un ahorro en la inversión en materias primas del 28%, los costos indirectos son los mismos para la formulación propuesta y la anteriormente usada.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

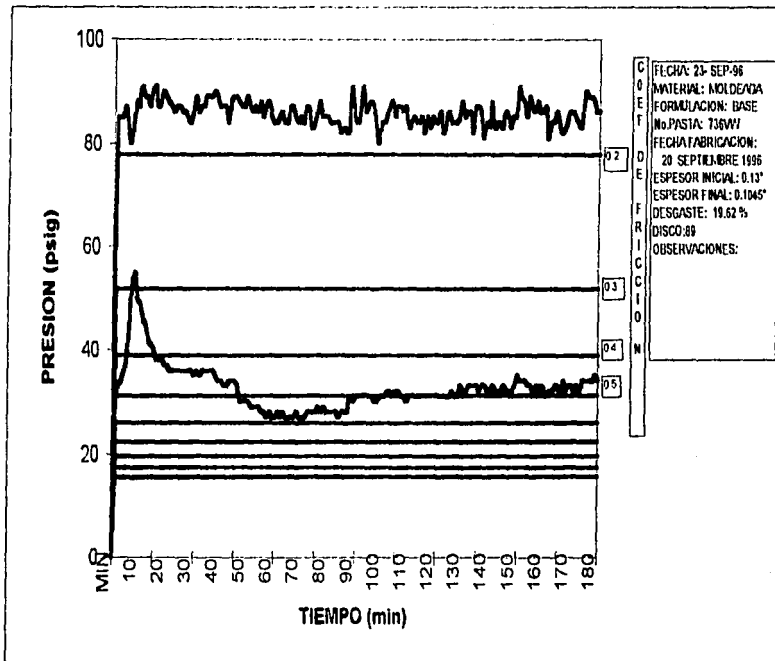
ANEXO 1

GRÁFICAS Y REPORTES

PASTAS PARA
EMBRAGUE

FRICCIÓN ASSESSMENT
AND SCREENING TEST

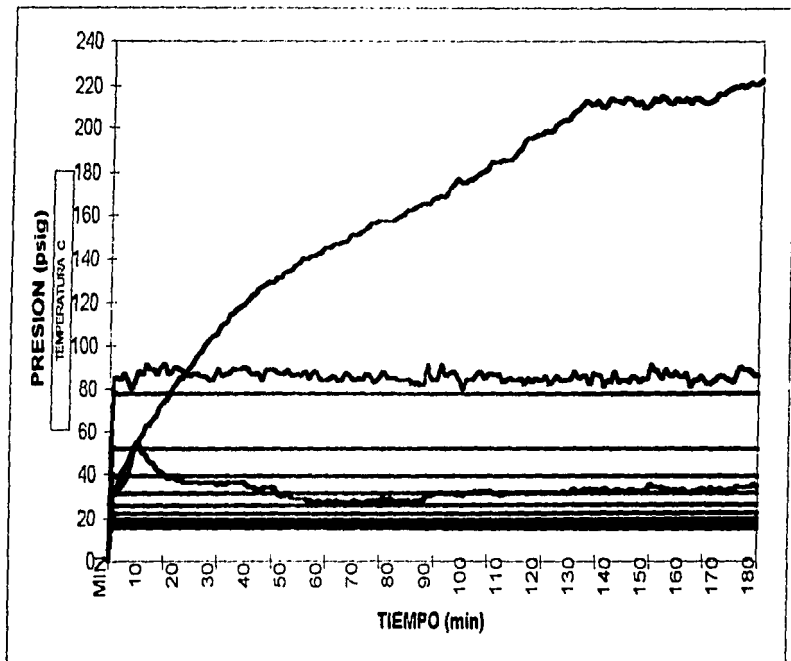
FORMULACIÓN
BASE



PASTAS PARA
EMBRAGUE

FRICCIÓN ASSESSMENT
AND SCREENING TEST

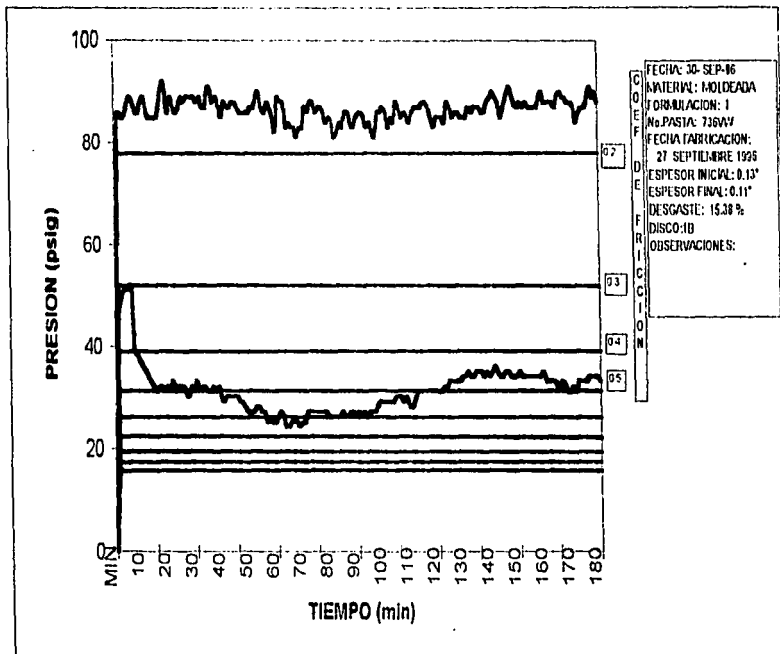
FORMULACIÓN
BASE

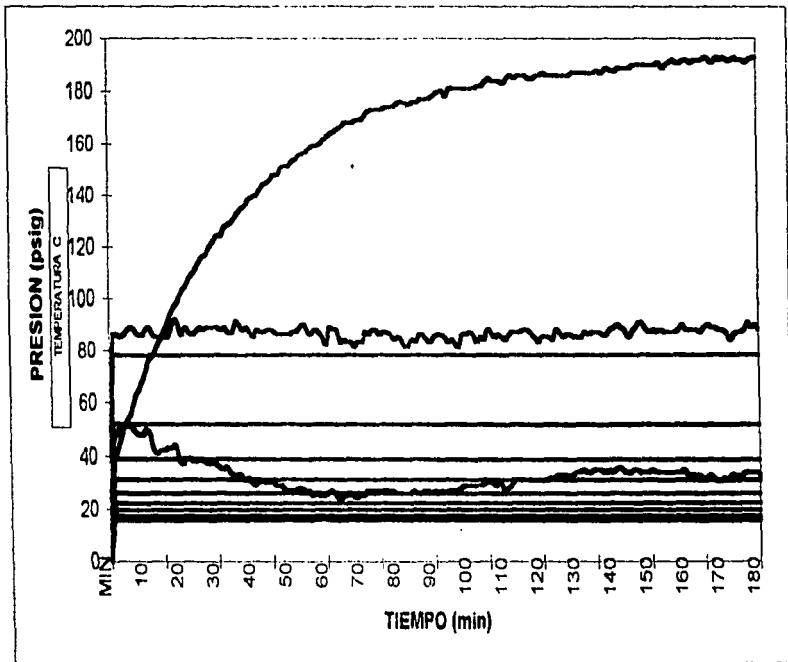


PASTAS PARA
EMBRAGUE

FRICCIÓN ASSESSMENT
AND SCREENING TEST

FORMULACIÓN
No. 1

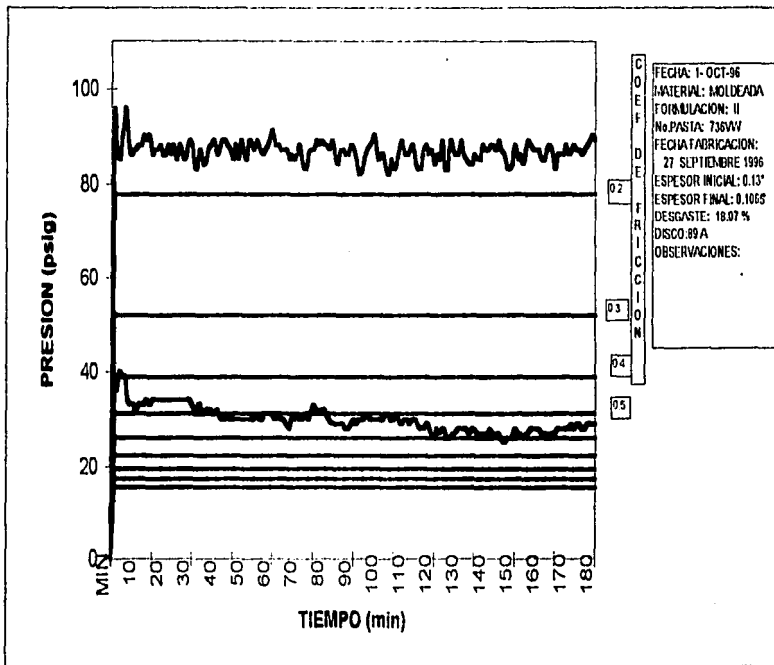


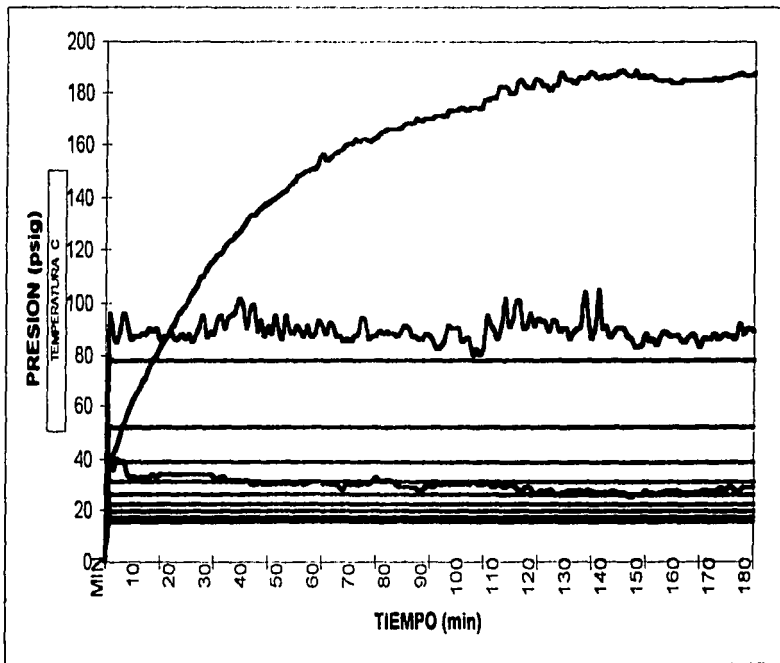


PASTAS PARA
EMBRAGUE

FRICCIÓN ASSESSMENT
AND SCREENING TEST

FORMULACIÓN
No. 2

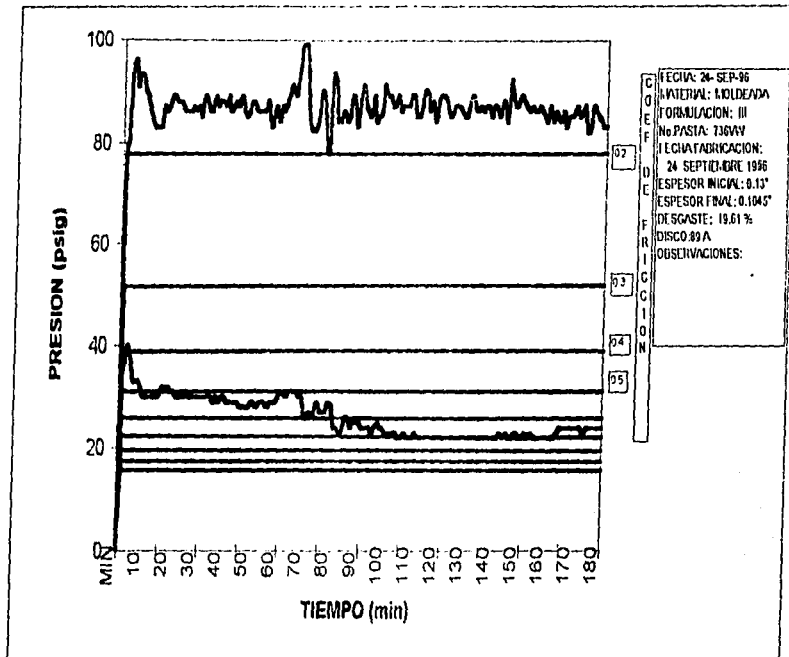


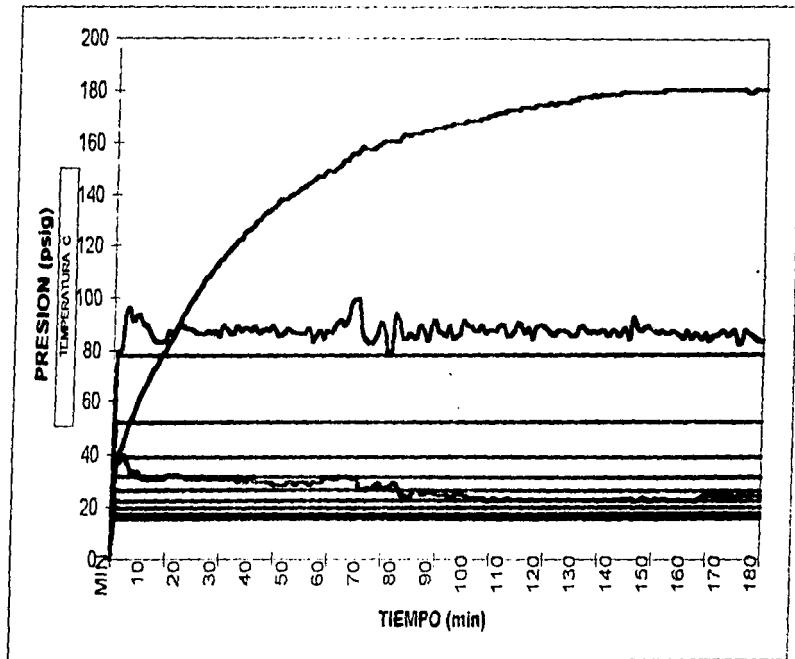


PASTAS PARA
EMBRAGUE

FRICCIÓN ASSESSMENT
AND SCREENING TEST

FORMULACIÓN
No. 3

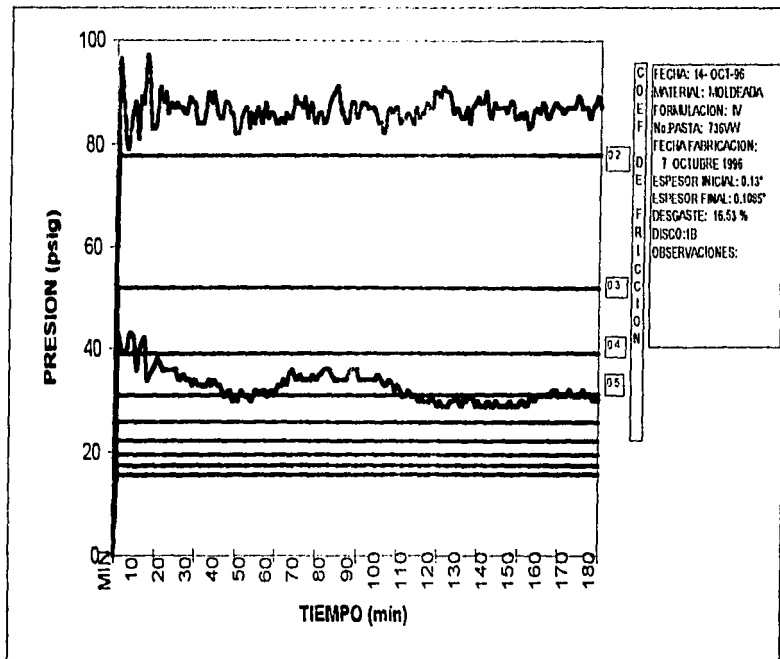


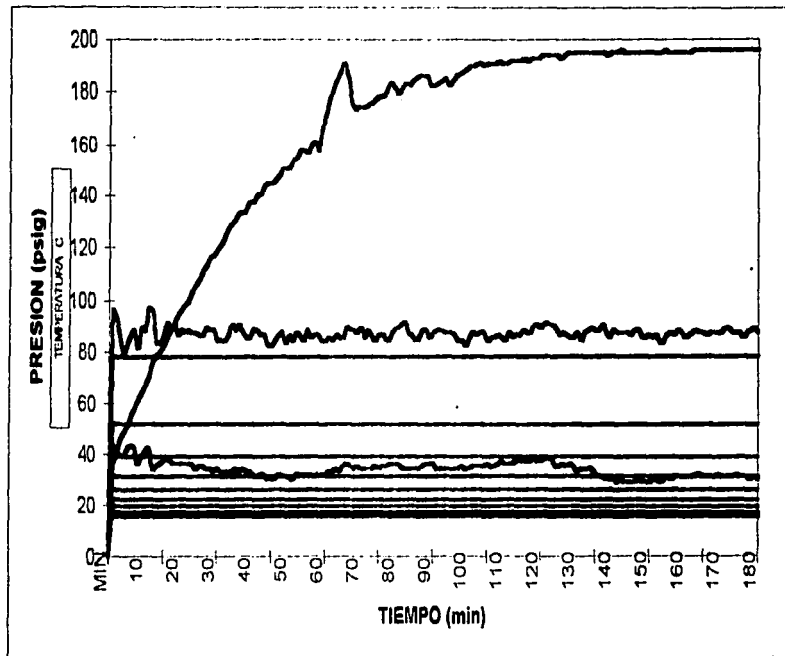


PASTAS PARA
EMBRAGUE

FRICCIÓN ASSESSMENT
AND SCREENING TEST

FORMULACIÓN
No. 4

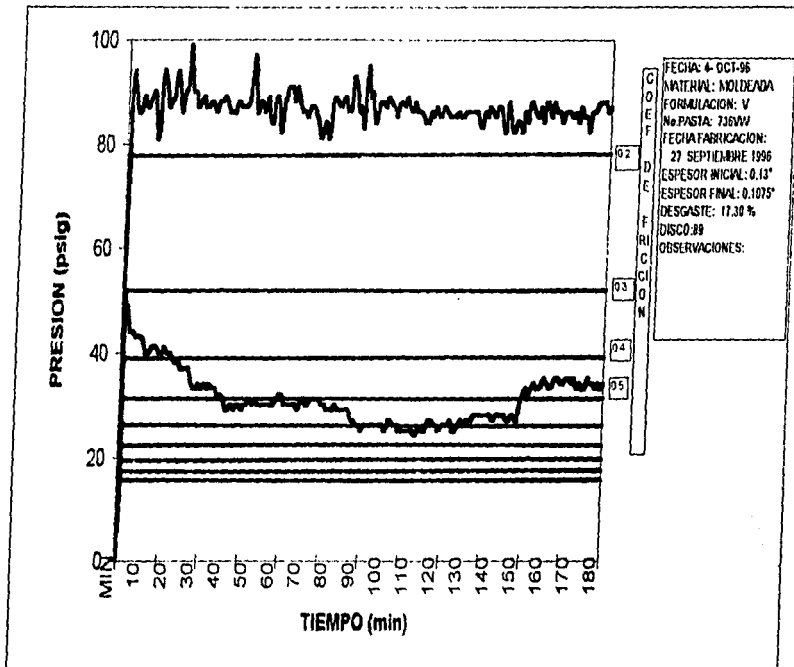




PASTAS PARA
EMBRAGUE

FRICION ASSESSMENT
AND SCREENING TEST

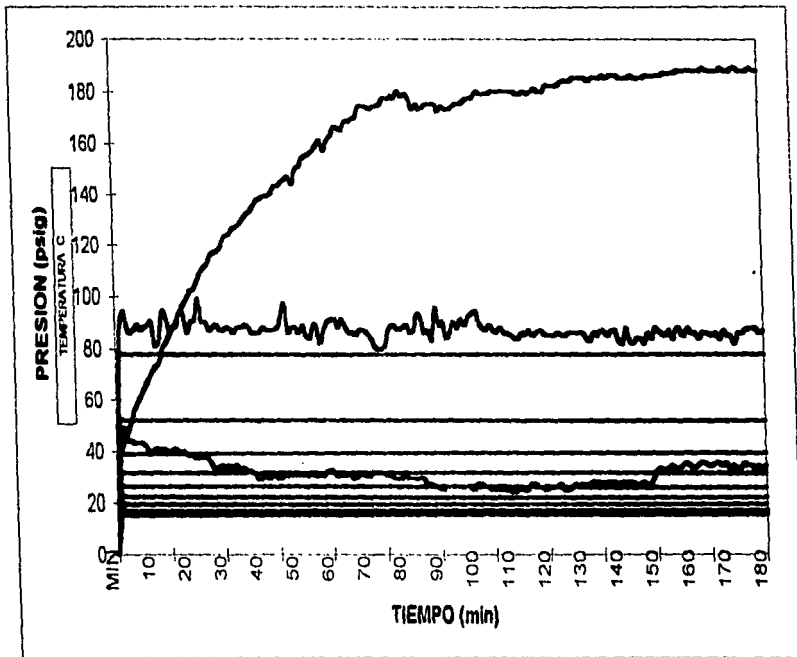
FORMULACIÓN
No. 5



PASTAS PARA
EMBRAGUE

FRICCIÓN ASSESSMENT
AND SCREENING TEST

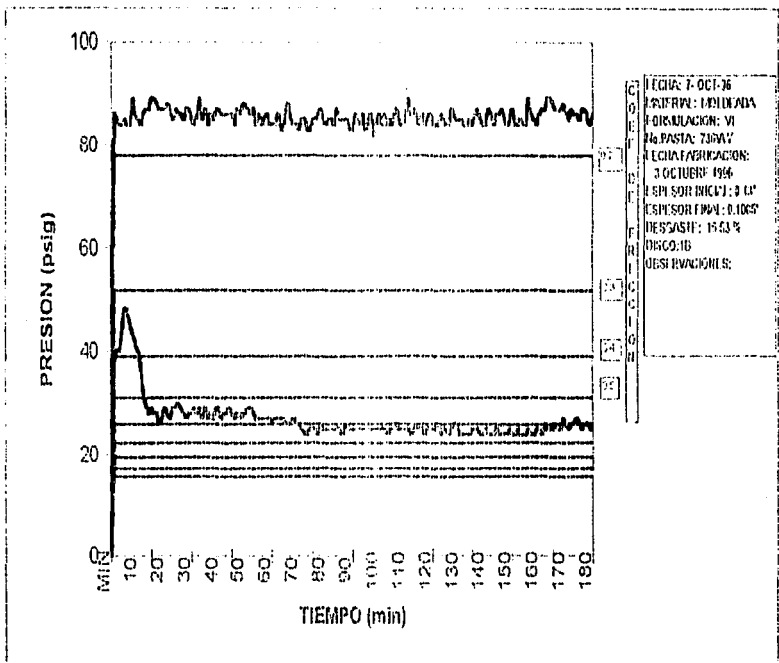
FORMULACIÓN
No. 5

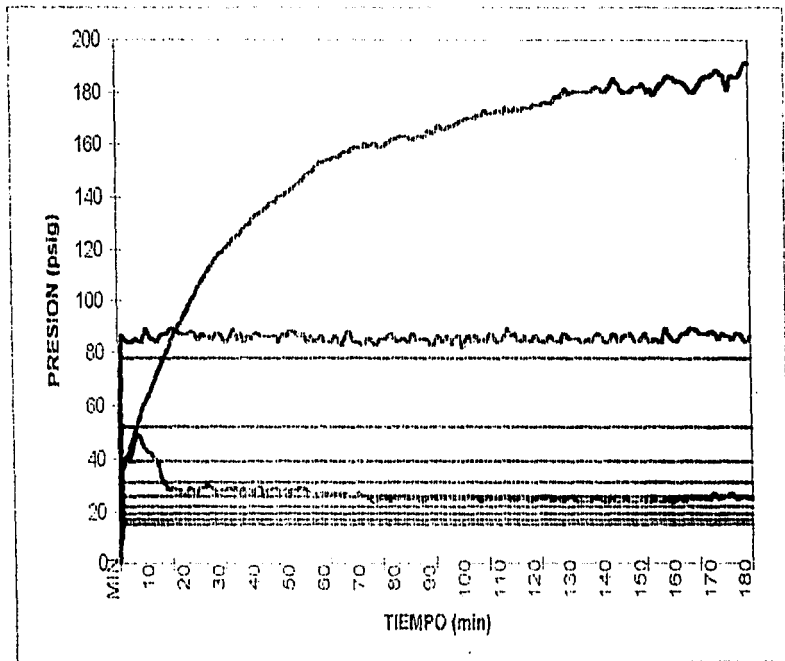


PASTAS PARA
EMBRAGUE

FRICCIÓN ASSESSMENT
AND SCREENING TEST

FORMULACIÓN
No. 6

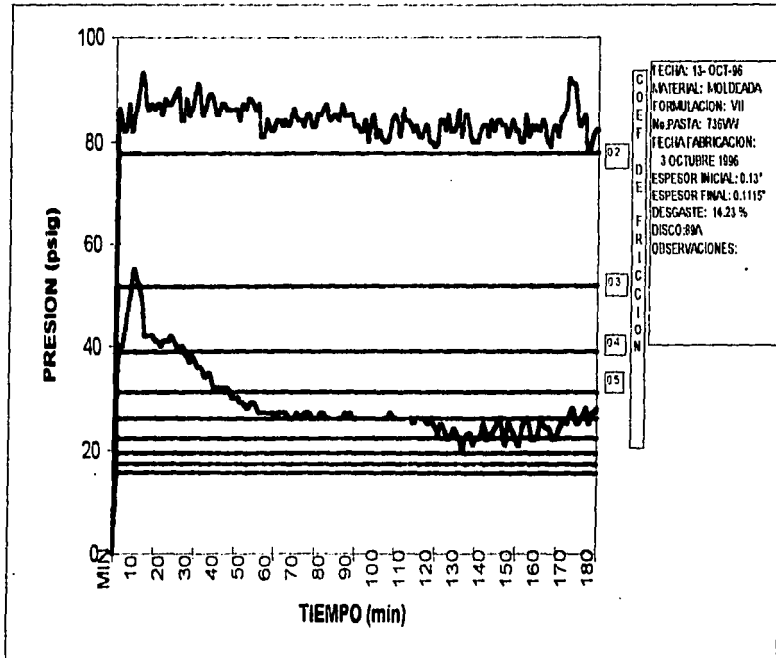




PASTAS PARA
EMBRAGUE

FRICCIÓN ASSESSMENT
AND SCREENING TEST

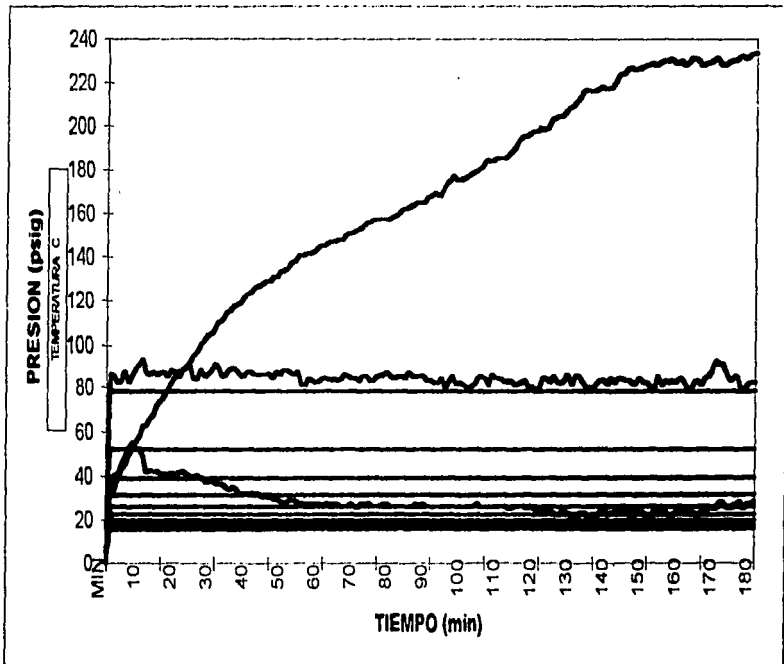
FORMULACIÓN
No. 7



PASTAS PARA
EMBRAGUE

FRICCIÓN ASSESSMENT
AND SCREENING TEST

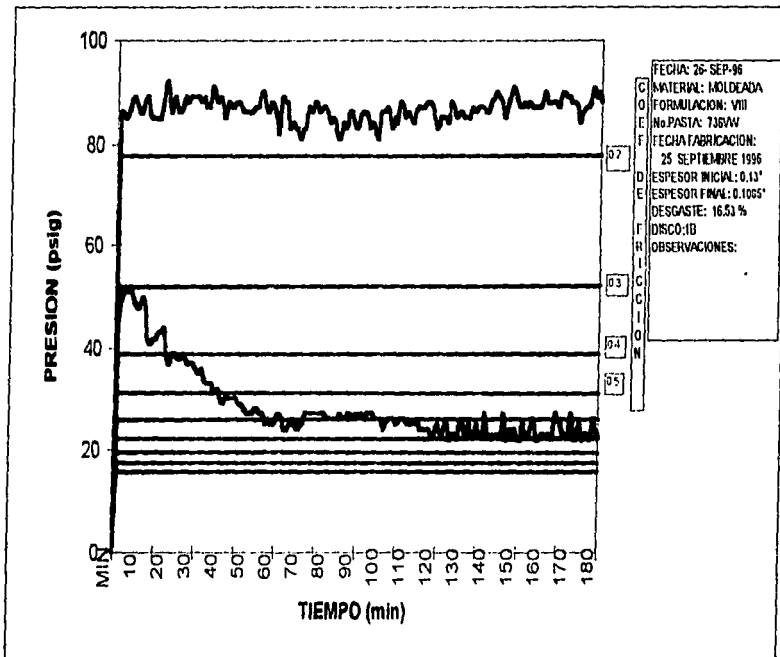
FORMULACIÓN
No. 7

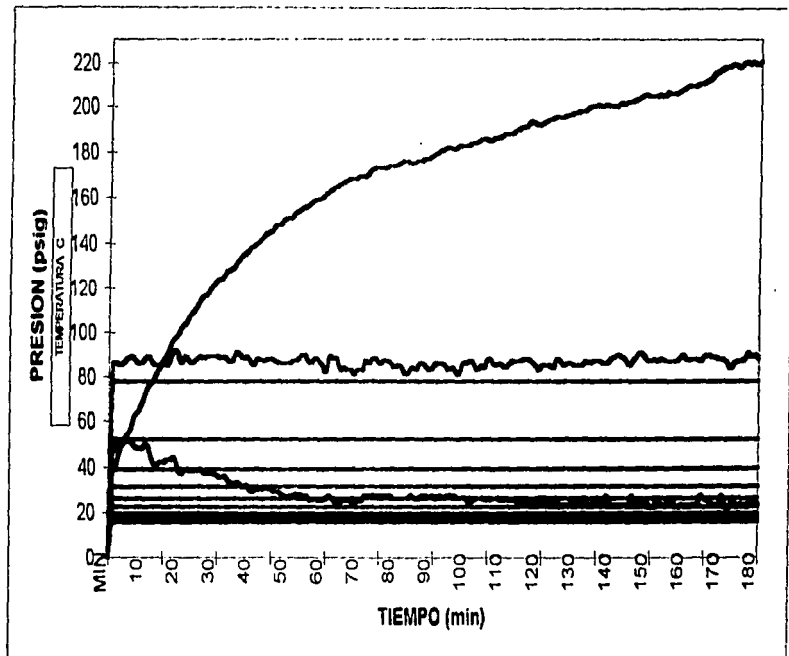


PASTAS PARA
EMBRAGUE

FRICCIÓN ASSESSMENT
AND SCREENING TEST

FORMULACIÓN
No. 8

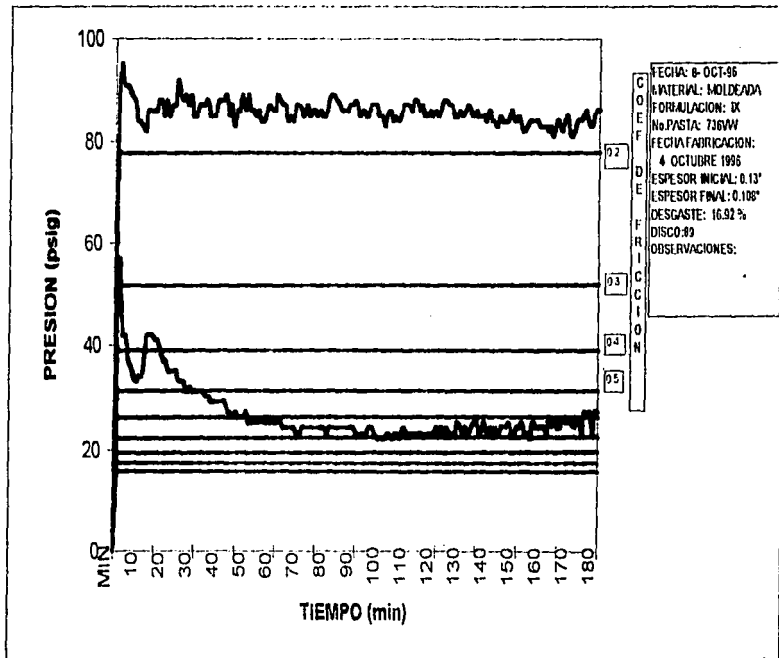


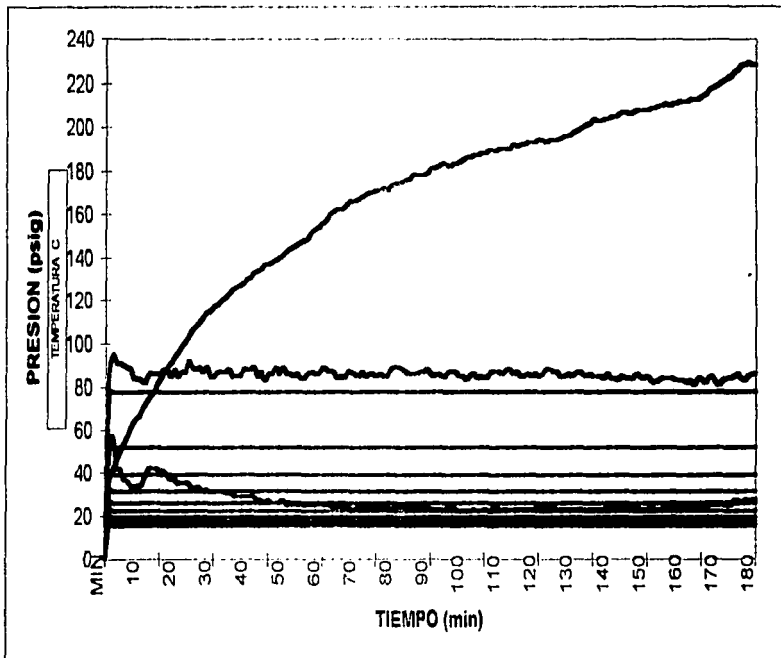


PASTAS PARA
EMBRAGUE

FRICTION ASSESSMENT
AND SCREENING TEST

FORMULACIÓN
No. 9





Reporte de dureza.

Material: Moldeado Fecha de prueba: Octubre 1996

Formulación: Baer

No. parte: 736 VW Temperatura del cuarto de prueba: 20°C

Escala: SHORE D-2 Humedad del cuarto de prueba: 51%

Condiciones de muestra: Normales

Número de Especimen	Posición de medida						Promedio
	1	2	3	4	5	6	
1	82	80	85	84	83	84	83
2	83	80	83	80	80	84	82
3	83	84	84	84	86	84	84.16
4	85	84	84	85	83	84	84.16
5	86	85	82	83	84	86	84.33
Promedios	83.8	82.6	84	83.2	83.2	84.4	83.53
Valor máx.	86	85	85	85	86	86	85.50
Valor mín.	82	80	82	80	80	84	81.33
Desv. std.	1.46	2.15	1.09	1.72	1.93	0.80	1.32

Observaciones: _____

Reporte de dureza.

Material: Moldeado Fecha de prueba: Octubre 1976

Formulación: Uno

No. parte: 736VH Temperatura del cuarto de prueba: 19°C

Escala: SHORE D-2 Humedad del cuarto de prueba: 52 %

Condiciones de muestra: Normales

Número de Especimen	Posición de medida						Promedio
	1	2	3	4	5	6	
1	84	85	86	84	87	85	85.16
2	87	85	84	84	86	86	85.33
3	86	84	83	86	86	87	85.33
4	85	85	85	88	85	85	85.50
5	85	85	82	83	84	84	84.66
Promedios	85.4	84.8	84	83	85.6	85.4	85.03
Valor max.	87	85	85	88	87	87	86.50
Valor min.	84	84	82	83	84	84	83.50
Desv. std.	1.02	0.40	1.41	1.78	1.02	1.02	1.10

Observaciones: _____

Reporte de dureza.

Material: Moldeado Fecha de prueba: Octubre 1996
Formulación: Dos
No. parte: 736VW Temperatura del cuarto de prueba: 20°C
Escala: SHORE D-2 Humedad del cuarto de prueba: 51 %
Condiciones de muestra: Normales

Número de Especimen	Posición de medida						Promedio
	1	2	3	4	5	6	
1	87	84	85	88	83	85	85.80
2	83	82	86	83	85	85	84.00
3	86	86	85	83	85	85	85.00
4	85	85	84	86	84	84	84.66
5	86	85	86	83	86	85	85.16
Promedios	85.4	84.4	85.2	84.6	84.6	84.8	84.83
Valor máx.	87	86	86	88	86	85	86.33
Valor mín.	83	82	84	83	83	84	83.0
Desv. std.	1.35	1.35	0.74	2.05	1.01	0.40	1.15

Observaciones: _____

Reporte de dureza.

Material: Moldeado Fecha de prueba: Octubre 1996

Formulación: Tres

No. parte: 736 VW Temperatura del cuarto de prueba: 20°C

Escala: SHORE D-2 Humedad del cuarto de prueba: 51 %

Condiciones de muestra: Normales

Número de Especimen	Posición de medida						Promedio
	1	2	3	4	5	6	
1	83	84	84	86	85	84	84.53
2	83	82	86	84	86	83	84.33
3	84	84	84	85	85	82	83.5
4	82	83	88	86	85	83	84.83
5	85	86	84	86	84	86	85.16
Promedios	83.8	84.2	85.2	85.4	84.4	83.6	84.43
Valor máx.	85	86	88	86	86	86	86.16
Valor mín.	82	82	84	84	82	82	83.5
Desv. std.	1.16	1.32	1.6	0.8	1.35	1.35	1.26

Observaciones: _____

Reporte de dureza.

Material: Moldeado Fecha de prueba: Octubre 1996

Formulación: Cuatro

No. parte: 736 VW Temperatura del cuarto de prueba: 20°C

Escala: SHORE D-2 Humedad del cuarto de prueba: 52 %

Condiciones de muestra: Normales

Número de Especimen	Posición de medida						Promedio
	1	2	3	4	5	6	
1	85	85	85	85	85	84	84.50
2	84	84	85	85	85	85	84
3	84	84	84	84	85	85	84.33
4	84	84	84	87	86	85	84.33
5	82	85	85	84	82	86	83.66
Promedios	85.8	84.4	85.8	85.4	85.2	85	84.6
Valor máx.	85	85	85	84	84	86	85.66
Valor mín.	82	84	85	85	82	84	83
Desv. std.	0.97	0.49	0.74	1.35	1.47	0.63	0.44

Observaciones: _____

Reporte de dureza.

Material: Moldeado Fecha de prueba: Octubre 1996

Formulación: Cinco

No. parte: 736 VW Temperatura del cuarto de prueba: 19°C

Escala: SHORE D-2 Humedad del cuarto de prueba: 50 %

Condiciones de muestra: Normales

Número de Especimen	Posición de medida						Promedio
	1	2	3	4	5	6	
1	86	85	85	86	86	85	85.50
2	86	83	86	86	85	85	84.83
3	88	84	84	85	85	86	85.33
4	84	87	85	86	85	85	85.00
5	85	85	86	85	84	85	85.00
Promedios	85.8	84.8	84.8	85.6	84.6	85.2	85.13
Valor máx.	88	87	86	86	86	86	86.50
Valor mín.	84	84	83	85	83	85	84.0
Desv. std.	1.32	1.32	1.16	0.48	1.01	0.40	0.95

Observaciones: _____

Reporte de dureza.

Material: Moldeado Fecha de prueba: Octubre 1996

Formulación: Seis

No. parte: 736 VW Temperatura del cuarto de prueba: 20°C

Escala: SHORE D-2 Humedad del cuarto de prueba: 52 %

Condiciones de muestra: Normales

Número de Especimen	Posición de medida						Promedio
	1	2	3	4	5	6	
1	80	84	85	84	84	81	83
2	84	84	85	85	86	82	84.33
3	85	84	83	84	83	86	84.5
4	85	85	86	87	86	84	85.5
5	84	87	86	86	84	85	85.33
Promedios	83.6	84.8	85	85.2	83	85.6	84.53
Valor máx.	85	87	86	87	86	86	86.16
Valor mín.	80	84	83	84	84	81	82.66
Desv. std.	1.85	1.16	1.09	1.16	0.73	1.85	1.30

Observaciones: _____

Reporte de dureza.

Material: Moldeado Fecha de prueba: Octubre 1996
 Formulación: Siete
 No. parte: 736 VJ Temperatura del cuarto de prueba: 20 C
 Escala: SHORE D-2 Humedad del cuarto de prueba: 50 %
 Condiciones de muestra: Normales

Número de Especimen	Posición de medida						Promedio
	1	2	3	4	5	6	
1	84	87	86	86	85	85	85.50
3	88	84	89	85	88	88	87.00
4	84	87	85	85	86	85	85.33
5	84	86	86	85	87	85	85.50
Promedios	85.2	86	86.6	85.4	86.6	85.6	85.90
Valor máx.	88	87	89	86	88	88	87.66
Valor min.	84	84	85	85	85	85	84.66
Desv. std.	1.60	1.09	1.35	0.49	1.10	1.20	1.13

Observaciones: _____

Reporte de dureza.

Material: Moldeada Fecha de prueba: Octubre 1996
Formulación: Ocho
No. parte: 736 V Temperatura del cuarto de prueba: 20°C
Escala: SHORE D-2 Humedad del cuarto de prueba: 52 %
Condiciones de muestra: Normales

Número de Especimen	Posición de medida						Promedio
	1	2	3	4	5	6	
1	86	85	85	87	85	85	85.30
2	86	88	84	86	83	84	85.16
3	85	86	85	85	86	84	85.16
4	82	84	84	85	86	85	84.33
5	85	84	85	84	86	84	84.66
Promedios	84.7	85.4	84.6	85.4	85.2	84.4	84.95
Valor máx.	86	88	85	87	86	85	86.16
Valor mín.	82	84	84	84	83	84	83.50
Desv. std.	1.64	1.49	0.49	1.02	1.16	0.49	1.04

Observaciones: _____

Reporte de dureza.

Material: Moldeado Fecha de prueba: Octubre 1996
 Formulación: Nueve
 No. parte: 736 VN Temperatura del cuarto de prueba: 20 C
 Escala: SHORE D-2 Humedad del cuarto de prueba: 52 %
 Condiciones de muestra: Normales

Número de Especimen	Posición de medida						Promedio
	1	2	3	4	5	6	
1	83	84	84	84	85	85	84.16
2	86	84	84	86	84	86	85
3	85	86	84	86	84	84	84.83
4	85	84	84	86	85	84	84.25
5	84	84	80	85	84	84	83.50
Promedios	84.6	84.4	83.2	85.4	84.4	84.6	84.43
Valor máx.	86	86	84	86	85	86	85.50
Valor mín.	83	84	80	84	84	84	83.16
Desv. std.	1.02	0.60	1.60	0.60	0.49	0.80	0.91

Observaciones: _____

Calculo de densidades

Para el cálculo de las densidades de las formulaciones, se uso la misma probeta de la evaluación del coeficiente de fricción, es decir, se peso la probeta antes de ser evaluada en la máquina F.A.S.T., ésta por norma debe medir 25.4 mm. de largo por 12.7 mm. de ancho y 3.3 mm. de espesor, resultando un volumen de probeta de: 1.0651 cm³. Para calcular la densidad se divide el peso de la probeta entre el volumen de esta. A continuación mostraremos los resultados de las densidades en forma condensada.

Formulación:	Peso de probeta (gr.)	Densidad del material (gr/cm ³)
Base	2.1037	1.9750
1	2.1108	1.9816
2	2.0212	1.8975
3	2.0363	1.9117
4	2.0272	1.9031
5	2.0175	1.8940
6	1.6629	1.8463
7	1.8619	1.7480
8	1.8424	1.7296
9	1.8619	1.7480

**DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA
A LA FUERZA CENTRIFUGA**

Nº. DE PASTA: 735 VVV

FECHA DE EVALUACIÓN: 30/09/1996.

DIÁMETRO EXTERIOR: 7.975 PULG.

MATERIAL: MOLDEADO

FORMULACION Nº.:BASE

PARAMETROS	ESTANDAR	RESULTADOS
VELOCIDAD ANGULAR (R.P.M)	10.025 R.P.M	EVALUACIÓN 1: 10.025 R.P.M. EVALUACIÓN 2: 10.025 R.P.M. EVALUACIÓN 3: 10.025 R.P.M. EVALUACIÓN 4: 10.025 R.P.M. EVALUACIÓN 5: 10.025 R.P.M.
TIEMPO ESTANDAR	26.40 SEGUNDOS	EVALUACIÓN 1: 26.40 SEGUNDOS EVALUACIÓN 2: 26.40 SEGUNDOS EVALUACIÓN 3: 26.40 SEGUNDOS EVALUACIÓN 4: 26.40 SEGUNDOS EVALUACIÓN 5: 26.40 SEGUNDOS
VELOCIDAD TANGENCIAL	105 m/s	105 m/s
ACELERACION ANG. PROM.	40 rad/s ²	40 rad/s ²
TEMPERATURA DE PRUEBA	260 +/- 10° C	250° C
TIEMPO DE HORNEADO	15 minutos	15 minutos

**DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA
A LA FUERZA CENTRIFUGA**

No. DE PASTA: 736 VVV

FECHA DE EVALUACIÓN: 01/10/1996.

DIÁMETRO EXTERIOR: 7.875 PULG.

MATERIAL: MOLDEADO

FORMULACION No. 02

PARAMETROS	ESTANDAR	RESULTADOS
VELOCIDAD ANGULAR (R.P.M)	10.025 R.P.M.	EVALUACIÓN 1: 10.025 R.P.M. EVALUACIÓN 2: 10.025 R.P.M. EVALUACIÓN 3: 10.025 R.P.M. EVALUACIÓN 4: 10.025 R.P.M. EVALUACIÓN 5: 10.025 R.P.M.
TIEMPO ESTANCAR	25.40 SEGUNDOS	EVALUACIÓN 1: 25.40 SEGUNDOS EVALUACIÓN 2: 25.40 SEGUNDOS EVALUACIÓN 3: 25.40 SEGUNDOS EVALUACIÓN 4: 25.40 SEGUNDOS EVALUACIÓN 5: 25.40 SEGUNDOS
VELOCIDAD TANGENCIAL	105 m/s	105 m/s
ACELERACION ANG. FROM.	40 rad/s ²	40 rad/s ²
TEMPERATURA DE PRUEBA	260 +/- 10° C	250° C
TIEMPO DE HORNEADO	15 minutos	15 minutos

**DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA
A LA FUERZA CENTRIFUGA**

Nº. DE PASTA: 736 VVV

FECHA DE EVALUACIÓN: 24/06/1998.

DIÁMETRO EXTERIOR: 7.675 FULG

MATERIAL: MOLDEADO

FORMULACION Nº. 03

PARAMETROS	ESTANDAR	RESULTADOS
VELOCIDAD ANGULAR (R.P.M)	10,025 R.F.M	EVALUACIÓN 1: 10,025 R.F.M. EVALUACIÓN 2: 10,025 R.F.M. EVALUACIÓN 3: 10,025 R.F.M. EVALUACIÓN 4: 10,025 R.F.M. EVALUACIÓN 5: 10,025 R.F.M.
TIEMPO ESTANDAR	26.40 SEGUNDOS	EVALUACIÓN 1: 26.40 SEGUNDOS EVALUACIÓN 2: 26.40 SEGUNDOS EVALUACIÓN 3: 26.40 SEGUNDOS EVALUACIÓN 4: 26.40 SEGUNDOS EVALUACIÓN 5: 26.40 SEGUNDOS
VELOCIDAD TANGENCIAL	105 m/s	105 m/s
ACELERACIÓN ANG. PROM.	40 rad/s ²	40 rad/s ²
TEMPERATURA DE PRUEBA	260 +/- 10° C	250° C
TIEMPO DE HORNEADO	15 minutos	15 minutos

**DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA
A LA FUERZA CENTRIFUGA**

Nº. DE PASTA: 736 VV

FECHA DE EVALUACIÓN: 14/10/1986.

DIÁMETRO EXTERIOR: 7.875 PULG.

MATERIAL: MOLDEADO

FORMULACION No. 04

PARAMETROS	ESTANDAR	RESULTADOS
VELOCIDAD ANGULAR (R.P.M.)	10.025 R.P.M.	EVALUACIÓN 1: 10.025 R.P.M. EVALUACIÓN 2: 10.025 R.P.M. EVALUACIÓN 3: 10.025 R.P.M. EVALUACIÓN 4: 10.025 R.P.M. EVALUACIÓN 5: 10.025 R.P.M.
TIEMPO ESTANDAR	26.40 SEGUNDOS	EVALUACIÓN 1: 26.40 SEGUNDOS EVALUACIÓN 2: 26.40 SEGUNDOS EVALUACIÓN 3: 26.40 SEGUNDOS EVALUACIÓN 4: 26.40 SEGUNDOS EVALUACIÓN 5: 26.40 SEGUNDOS
VELOCIDAD TANGENCIAL	105 m/s	105 m/s
ACELERACION ANG. FROM.	40 rad/s ²	40 rad/s ²
TEMPERATURA DE PRUEBA	260 +/- 10° C	250° C
TIEMPO DE HORNEADO	15 minutos	15 minutos

**DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA
A LA FUERZA CENTRIFUGA**

Nº. DE PASTA: 738 VVV

FECHA DE EVALUACIÓN: 04/10/1986.

DIÁMETRO EXTERIOR: 7.875 PULG.

MATERIAL: MOLDEADO

FORMULACIÓN Nº. 05

PARAMETROS	ESTÁNDAR	RESULTADOS
VELOCIDAD ANGULAR (R.P.M)	10,025 R.P.M.	EVALUACIÓN 1: 10,025 R.P.M. EVALUACIÓN 2: 10,025 R.P.M. EVALUACIÓN 3: 10,025 R.P.M. EVALUACIÓN 4: 10,025 R.P.M. EVALUACIÓN 5: 10,025 R.P.M.
TIEMPO ESTAJID-R	26.40 SEGUNDOS	EVALUACIÓN 1: 26.40 SEGUNDOS EVALUACIÓN 2: 26.40 SEGUNDOS EVALUACIÓN 3: 26.40 SEGUNDOS EVALUACIÓN 4: 26.40 SEGUNDOS EVALUACIÓN 5: 26.40 SEGUNDOS
VELOCIDAD TANGENCIAL	105 m/s	105 m/s
ACELERACION ANG. FROM	40 rad/s ²	40 rad/s ²
TEMPERATURA DE PRUEBA	250 +/- 10° C	250° C
TIEMPO DE HORNEADO	15 minutos	15 minutos

**DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA
A LA FUERZA CENTRIFUGA**

No. DE PASTA: 738 VV

FECHA DE EVALUACIÓN: 07/10/1996.

DIÁMETRO EXTERIOR: 7.875 PULG.

MATERIAL: MOLDEADO

FORMULACION No.:06

PARAMETROS	ESTANDAR	RESULTADOS
VELOCIDAD ANGULAR (R.P.M)	10,025 R.P.M	EVALUACIÓN 1: 10,025 R.P.M. EVALUACIÓN 2: 10,025 R.P.M. EVALUACIÓN 3: 10,025 R.P.M. EVALUACIÓN 4: 10,025 R.P.M. EVALUACIÓN 5: 10,025 R.P.M.
TIEMPO ESTANDAR	26.40 SEGUNDOS	EVALUACIÓN 1: 26.40 SEGUNDOS EVALUACIÓN 2: 26.40 SEGUNDOS EVALUACIÓN 3: 26.40 SEGUNDOS EVALUACIÓN 4: 26.40 SEGUNDOS EVALUACIÓN 5: 26.40 SEGUNDOS
VELOCIDAD TANGENCIAL	105 m/s	105 m/s
ACELERACION ANG. PROM.	40 rad/s ²	40 rad/s ²
TEMPERATURA DE PRUEBA	260 +/- 10° C	250° C
TIEMPO DE HORNEADO	15 minutos	15 minutos

**DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA
A LA FUERZA CENTRIFUGA**

Nº. DE PASTA: 738 VVV

FECHA DE EVALUACIÓN: 13/10/1986.

DIÁMETRO EXTERIOR: 7.975 PULG.

MATERIAL: MOLDEADO

FORMULACION Nº. 07

PARAMETROS	ESTANDAR	RESULTADOS
VELOCIDAD ANGULAR (R.P.M.)	10,025 R.P.M.	EVALUACIÓN 1: 10,025 R.P.M. EVALUACIÓN 2: 10,025 R.P.M. EVALUACIÓN 3: 10,025 R.P.M. EVALUACIÓN 4: 10,025 R.P.M. EVALUACIÓN 5: 10,025 R.P.M.
TIEMPO ESTANDAR	26,40 SEGUNDOS	EVALUACIÓN 1: 26,40 SEGUNDOS EVALUACIÓN 2: 26,40 SEGUNDOS EVALUACIÓN 3: 26,40 SEGUNDOS EVALUACIÓN 4: 26,40 SEGUNDOS EVALUACIÓN 5: 26,40 SEGUNDOS
VELOCIDAD TANGENCIAL	105 m/s	105 m/s
ACELERACIÓN ANG. PROM.	40 rad/s ²	40 rad/s ²
TEMPERATURA DE PRUEBA	260 +/- 10° C	250° C
TIEMPO DE HORNEADO	15 minutos	15 minutos

**DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA
A LA FUERZA CENTRIFUGA**

Nº. DE PASTA: 730 VVV

FECHA DE EVALUACIÓN: 26/09/1996.

DIÁMETRO EXTERIOR: 7.875 PULG.

MATERIAL: MOLDEADO

FORMULACION No.:09

PARAMETROS	ESTANDAR	RESULTADOS
VELOCIDAD ANGULAR (R.P.M)	10,025 R.F.M.	EVALUACIÓN 1: 10,025 R.P.M. EVALUACIÓN 2: 10,025 R.P.M. EVALUACIÓN 3: 10,025 R.P.M. EVALUACIÓN 4: 10,025 R.P.M. EVALUACIÓN 5: 10,025 R.P.M.
TIEMPO ESTANDAR	26.40 SEGUNDOS	EVALUACIÓN 1: 26.40 SEGUNDOS EVALUACIÓN 2: 26.40 SEGUNDOS EVALUACIÓN 3: 26.40 SEGUNDOS EVALUACIÓN 4: 26.40 SEGUNDOS EVALUACIÓN 5: 26.40 SEGUNDOS
VELOCIDAD TANGENCIAL	105 m/s	105 m/s
ACELERACION ANG. PROM.	40 rad/s ²	40 rad/s ²
TEMPERATURA DE PRUEBA	260 +/- 10° C	250° C
TIEMPO DE HORNEADO	15 minutos	15 minutos

**DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA
A LA FUERZA CENTRIFUGA**

No. DE PASTA: 736 VVV

FECHA DE EVALUACIÓN: 08/10/1996.

DIÁMETRO EXTERIOR: 7.875 PULG.

MATERIAL: MOLDEADO

FORMULACION No. 09

PARAMETROS	ESTANDAR	RESULTADOS
VELOCIDAD ANGULAR (R.P.M.)	10,025 R.P.M.	EVALUACIÓN 1: 10,025 R.P.M. EVALUACIÓN 2: 10,025 R.P.M. EVALUACIÓN 3: 10,025 R.P.M. EVALUACIÓN 4: 10,025 R.P.M. EVALUACIÓN 5: 10,025 R.P.M.
TIEMPO ESTANDAR	26.40 SEGUNDOS	EVALUACIÓN 1: 26.40 SEGUNDOS EVALUACIÓN 2: 26.40 SEGUNDOS EVALUACIÓN 3: 26.40 SEGUNDOS EVALUACIÓN 4: 26.40 SEGUNDOS EVALUACIÓN 5: 26.40 SEGUNDOS
VELOCIDAD TANGENCIAL	105 m/s	105 m/s
ACELERACION ANG. PROM.	40 rad/s ²	40 rad/s ²
TEMPERATURA DE FRUEBA	260 +/- 10° C	250° C
TIEMPO DE HORNEADO	15 minutos	15 minutos

ANEXO 2

DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN Y DESGASTE EN MATERIALES DE USO AUTOMOTRIZ, AGRÍCOLA E INDUSTRIAL, UTILIZANDO LA MÁQUINA " FAST "

Introducción.

Esta evaluación semeja de cierta manera el trabajo que realizan los materiales de fricción, la diferencia más importante es que se somete la probeta a un trabajo continuo durante un periodo de tiempo a ciertas revoluciones contantes, en una superficie metálica especial. La máquina F.A.S.T. consta principalmente de una pequeña unidad hidráulica la cual provee de presión al sistema, también contiene un motor principal el cual proporciona la energía motriz al disco de aleación especial donde es colocada la probeta para evaluarla, consta también de un sistema de válvulas para direccionar el fluido del hidráulico y finalmente contiene un brazo de sujeción donde es sujeta la probeta y puesta en contacto con el disco. Al final de este anexo se presenta un diagrama simplificado de la máquina.

1): Objetivo y Campo de Aplicación.

La presente norma establece el método de prueba para determinar el coeficiente de fricción y desgaste de los materiales de fricción de uso automotriz, agrícola e industrial, cuando se emplee la máquina "F.A.S.T."

2): Aparatos y Equipo.

Máquina "FAST" que cuente con el siguiente equipo

- Motor y equipo que proporcione 870 rpm y 746 kw
- Bomba hidráulica con gasto de 97 lts./min y 1378 kPa de presión.
- Equipo para medir y registrar la presión de sujeción y la temperatura contra tiempo, con las siguientes características:
 - Registro continuo.
 - Escala de tiempo para 180 minutos con una tolerancia de +/- 3% .

- Escala de presión para 689 kPa, con una tolerancia de $\pm 2\%$ y escala de temperatura de 400 °C $\pm 2\%$.
- Manómetro adecuado.

3) Preparación de los Especímenes.

3.1. Para Balataxi: La muestra debe ser un cuadrado de 12.7 ± 0.02 , $- 0.05$ mm por lado, con un espesor de 3.30 ± 0.38 mm, plana en ambos lados y sin orificios de remache o ranuras.

3.2 Para Pastas de Embrague: La muestra debe ser un rectángulo de 12.7 ± 0.02 , $- 0.05$ mm, por 25.40 ± 0.15 mm, con un espesor de 3.30 ± 0.07 , $- 0.03$ mm, plana en ambos lados y sin orificios de remache o ranuras.

De ser posible, la dimensión de 25.4 mm debe cortarse en dirección circular. La superficie de prueba no debe manipularse y debe conservarse libre de cualquier material extraño.

4) Preparación del Disco de Prueba

4.1. Los discos nuevos, recientemente maquinados y los discos contaminados deben limpiarse a vapor para eliminar cualquier rastro de aceite. Antes de cada prueba, la superficie del disco se debe acondicionar de la siguiente manera:

Con el disco montado en la máquina de prueba y el motor funcionando, se pule la superficie de prueba con un paño abrasivo (grano 320) para quitar las huellas de recubrimientos orgánicos y rugosidades, hasta obtener un acabado de 0.127 a 0.254 μ m. Solamente se debe usar paño abrasivo con soporte de óxido de aluminio o carburo de silicio. Para iniciar el pulido no deben usarse abrasivos de grano de más de 150.

La superficie pulida, se limpia con acetona, hasta que queda el paño limpio. No se debe tocar con la mano la superficie pulida.

5) Procedimiento de Prueba.

La prueba consiste en aplicar una fuerza normal (F_n) constante sobre el espécimen, manteniendo una fuerza de fricción variable

(FF). Antes de iniciar la prueba, se debe asegurar que la máquina se encuentre calibrada. En caso contrario se debe proceder a verificarla de acuerdo a lo indicado en el apéndice de este anexo.

Se cierra la válvula 4 y se abre la válvula 2 de $\frac{1}{2}$ a $\frac{3}{4}$ de vuelta.

Se coloca el espécimen 6 en la posición de prueba y se verifica el paralelismo de la superficie de la muestra, contra el disco de prueba. Si es necesario, se aflojan los tornillos de sujeción y se ajusta la placa de montaje superior para alinear el brazo de carga del espécimen y el disco.

Con el espécimen de prueba ya colocado, la válvula selector 3 (para registrar la presión de fricción) y la válvula de carga 1, se mantienen cerradas, observando que su posición sea paralela a la flecha del motor.

Se arrancan los motores.

Se empieza la prueba abriendo la válvula de carga 1, para aplicar carga al espécimen (la manija debe estar perpendicular a la flecha del motor), y se ajusta el tornillo a una presión de carga de fricción de 551 kPa indicada en la gráfica. Se aprieta la contratuerca del tornillo y se abre la válvula selector 3 para registrar la presión de sujeción. (La válvula debe quedar perpendicular a la flecha del motor).

Se corre la prueba durante 180 minutos +/- 15 segundos.

La presión de fricción durante la prueba debe ser de 551 +/- 6.89 kPa, esta presión debe ser verificada en cualquier momento de la prueba, por un período que no exceda de 1 minuto, abriendo la válvula selector 3 para registrar la presión de fricción.

La presión de fricción se debe registrar por lo menos durante 30 segundos en los minutos 10 y 15 de la prueba.

La máquina debe ser verificada antes de cada prueba; asimismo el centro aislante debe enfriarse a menos de 333°K.

6): Interpretación de Resultados.

6.1. Se considera que el resultado de la prueba es satisfactorio, siempre y cuando los valores obtenidos en la gráfica estén dentro del rango de aceptación, de acuerdo a lo especificado.

Se permiten picos o valles, fuera del rango de aceptación, con duración de 2 minutos como máximo.

6.2. Como algunas pastas de embrague pierden sus propiedades a los 543°K y esta temperatura es sobrepasada cuando se corre la prueba de 90 minutos, es necesario considerar el tiempo real de prueba, por lo que en ese momento se debe efectuar el cálculo de desgaste específico de la siguiente manera:

$$De = \frac{8.5086 \times 10^{-6} m}{p \cdot t \cdot r \cdot f}$$

Donde:

$$De = \text{Desgaste específico} \frac{m^3}{N \cdot s}$$

m = Pérdida de masa del espécimen (kg)

p = Gravedad específica

t = Tiempo de duración de la prueba (segundos)

r = Distancia del centro del disco al centro del espécimen (m)

f = factor correctivo del par aplicado, siendo:

1.000 para espécimen de 12.7 X 12.7 mm

1.046 para espécimen de 12.7 X 25.4 mm

esta fórmula considera una aplicación de la fuerza de fricción constante de 77.4 N.

Al final de este anexo se presenta un ejemplo típico de las gráficas que se utilizan para este tipo de evaluación, donde se expone las tres curvas de datos recopilados en cada determinación del coeficiente de fricción. La curva A corresponde a los valores

del coeficiente de fricción, la curva B representa el comportamiento de la presión normal que fué aplicada al espécimen, y la curva C son los valores de temperatura de la superficie del disco en grados Celcius.

APENDICE DEL ANEXO 2

A.1. Verificación de la máquina de prueba

Verificar que el alabeo del disco de prueba no exceda de 0.1 mm de variación total.

El diámetro interior del área de barrido, en el disco de prueba, debe ser de 140 +/- 1 mm.

La varilla de tensión 5 de la carga de sujeción debe estar paralela al eje del disco de prueba. Este alineamiento se debe verificar ajustando los controles de la siguiente manera:

Poner en marcha la bomba, manteniendo apagado el motor del disco. Colocar el brazo de carga 7 en la posición de prueba. Ajustar la válvula selectora del transductor 3 para registrar la presión de fricción (igual a la masa del brazo de carga). La válvula de carga 1 debe estar en posición cerrada. Cuando la válvula de carga 1 esté abierta, la huella de registro no debe variar más de +/- 6.89 kPa (Presión de fricción).

El sistema de control hidráulico debe ser capaz de mantener una presión de fricción dentro de 551 +/- 6.89 kPa para rangos de sujeción de 206.7 a 620.1 kPa; esta característica se verifica empujando hacia arriba y hacia abajo el brazo de carga durante una prueba, hasta que las presiones de sujeción indiquen 620.1 y 206.7 kPa; en el manómetro de presión de sujeción. Ajustar la válvula selectora para registrar la presión de fricción durante esta verificación.

El tornillo tope de desgaste debe ajustarse a un claro de 0.25 a 0.37 mm entre el brazo de carga y el disco de prueba, estando

éstos a la temperatura ambiente.

La atmósfera del cuarto de prueba debe estar libre de aceite. La temperatura ambiente debe estar entre 292 a 311°K con una humedad menor a 90%.

La temperatura ambiente y la humedad relativa, se deben registrar en la gráfica de la prueba.

A.2. Nomenclatura

- 1): Válvula de carga
- 2): Válvula compensadora
- 3): Válvula selectora
- 4): Válvula de aguja
- 5): Varilla de tensión
- 6): Especimen de prueba
- 7): Brazo de carga

A.3. Analisis Químico del Disco de Prueba

La relación Carbono-Silicio debe ajustarse para mantener las propiedades físicas y microestructura. La microestructura debe consistir de grafito en escamas, distribuido ligeramente en forma perlítica.

No es aceptable ferrita libre, esteadita o cementita.

Es recomendable que el disco de prueba tenga el siguiente análisis químico:

	Minimo	Máximo	
Carbono total	3.35%	3.65%	
Carbono combinado	0.60%	0.80%	Deseable
Manganeso	0.60%	0.90%	
Silicio	1.80%	2.10%	
Fósforo	0.20%	-----	
Azufre	0.12%	-----	
Cromo opcional	0.05%	0.15%	
Dureza Brinell	170	225	

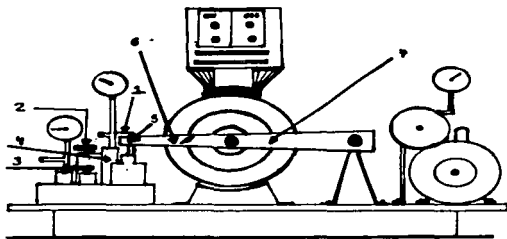
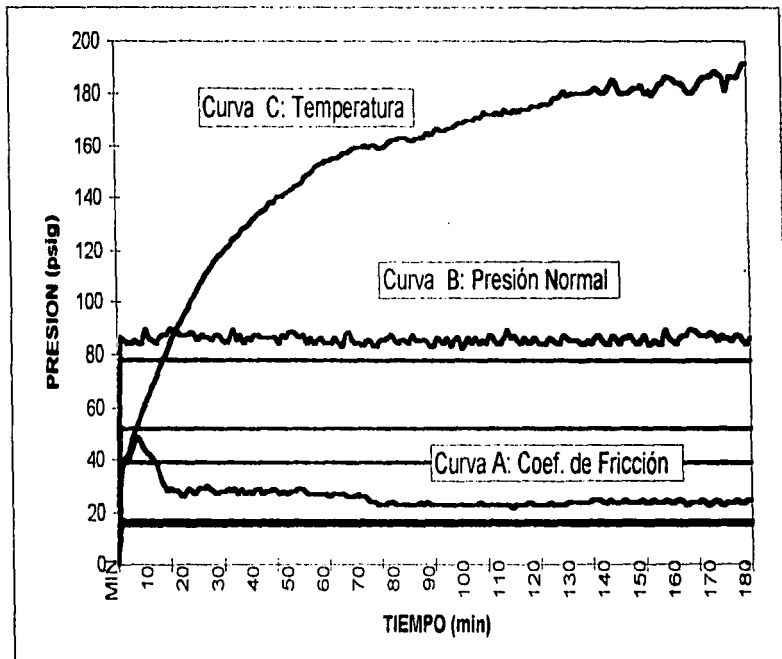


Diagrama simplificado de la máquina F.A.S.T.

PASTAS PARA
EMBRAGUE

FRICCIÓN ASSESSMENT
AND SCREENING TEST



ANEXO 3

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL ESTALLAMIENTO POR CENTRIFUGACIÓN EN PASTAS DE FRICCIÓN, PARA EMBRAGUE DE USO AUTOMOTRIZ.

1): Objetivo.

Determinar la resistencia al estallamiento por centrifugación de pastas de fricción.

2): Conceptos básicos.

Esta prueba destructiva evalúa la resistencia mecánica en la pasta debida a la fuerza centrífuga y sus consecuentes concentraciones de esfuerzos cortantes.

Estas concentraciones de esfuerzos se encuentran en su mayoría sobre los barrenos de la pasta o defectos intrínsecos.

Simulando el comportamiento del embrague, se somete al disco con sus pastas remachadas a una temperatura controlada y se imprime una aceleración angular constante, hasta que dicha pasta estalle debido a los esfuerzos cortantes anteriormente mencionados.

Se compara la velocidad de estallamiento contra velocidad mínima de estallamiento STD.

Dicha velocidad angular STD, se expresa en revoluciones por minuto, pero el STD real se expresa en velocidad tangencial (según la norma DGN/D-115-1976 de la Norma Oficial Mexicana) que es de 105 m/s, para centrifugación en caliente y 125 m/s para centrifugación a temperatura ambiente.

El por qué esta norma se expresa en velocidad tangencial, se debe a que cada número de pasta tiene diferente diámetro. A diferentes diámetros y a una velocidad angular constante, las

velocidades tangenciales varían en una relación lineal. De esta forma, pastas con diámetros mayores, alcanzan cierta velocidad tangencial a menor velocidad angular que aquellas con diámetros menores.

Esto se debe a la relación:

$$V = \omega \times r$$

Donde:

V = velocidad tangencial (m/s)

ω = velocidad angular (rad/s)

r = radio de la pasta (m)

Partiendo de la fórmula anterior, se obtiene la ecuación general:

$$n = \frac{V \times (12)}{\pi D} \quad (12)$$

Dónde:

n = revoluciones por minuto

D = diámetro de la pasta en pulgadas

V = velocidad tangencial (pies/min); (1 m/s = 196.85 pies/min)

y de la misma, en el caso particular de la prueba centrífuga

EN CALIENTE:

$$N_{min} = \frac{78951}{D} \quad (1)$$

EN FRÍO:

$$N_{min} = \frac{93990}{D} \quad (2)$$

Dónde:

N_{min} = revoluciones por minuto mínimas STD

D = diámetro de la pasta en pulgadas

Por otro lado, la aceleración angular, que debe ser de 40 rad/s², valor reportado por la propia norma, determinará la duración desde que la velocidad angular es cero hasta que la pasta llegue a las revoluciones por minuto STD.

La fórmula para determinar este tiempo es:

$$t_{std} = \frac{N_{min}}{382} \quad (3)$$

Donde:

t_{std} = tiempo de duración desde que las revoluciones por minuto son cero, hasta que alcancen N_{min} . STD.

N_{min} = revoluciones por minuto mínimas STD.

o bien, cuando se conozcan el tiempo y las revoluciones por minuto mínimas STD.

$$\alpha = \frac{N_{min} \pi}{30 t} \quad (4)$$

Donde:

α = aceleración angular promedio (rad/s^2)

t = tiempo

N_{min} = revoluciones por minuto mínimas STD.

3): Aplicación de la Prueba.

Debido a la naturaleza destructiva de esta prueba, el tamaño de la muestra y la frecuencia de aplicación son pequeñas.

4): Cálculos.

Antes de aplicar la prueba, deberá obtenerse el número de revoluciones por minuto mínimas STD, obteniéndose de las fórmulas (1) o (2) según sea el caso.

A continuación, se deberá obtener el tiempo de duración de la aceleración STD recurriendo a la fórmula (3). Este tiempo debe ser el que tarde el período de aceleramiento de la prueba.

Se compararán el tiempo real con respecto al STD., en caso de no ser el mismo, entonces utilizando la fórmula (4), se obtendrá la aceleración angular promedio (rad/s) y se comparará con los 40 rad/s que es la STD.

Por otro lado, se compararán el número de revoluciones por minuto a los que estallará la pasta con el número de revoluciones por minuto mínimas STD.

En caso que las partes estallen antes que las revoluciones por minuto estandar se alcancen, se considerará, que dichas pastas no cumplen con la norma mínima (Normas Oficiales Mexicanas).

5): Equipo.

Equipo de prueba, capaz de proporcionar a las pastas una velocidad periférica de 125 m/s, con una aceleración de 50 rad/s² y provisto de una cubierta protectora para el estallamiento.

Horno con circulación de aire, capaz de alcanzar y mantener una temperatura de 260 +/- 10°C, mínimo.

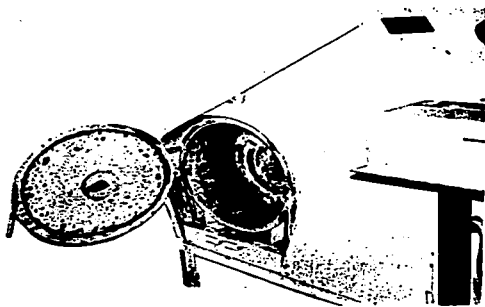


Diagrama de la máquina centrifugadora de pastas para embrague.

ANEXO 4

DETERMINACIÓN DE DUREZA SUPERFICIAL CON DUROMETRO DE AGUJA

1) *Objetivo.*

Determinar la dureza superficial de la pasta para embrague.

2) *Aplicación de la prueba.*

La prueba es aplicable a pastas de tipo orgánico, tejida o moldeada.

3) *Procedimiento.*

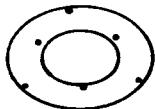
3.1.- La determinación de la dureza de la superficie de la pasta se debe realizar bajo las siguientes condiciones ambientales temperatura $23 \pm 3^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa de $50 \pm 5\%$.

3.2.- La muestra debe permanecer 24 hr. en el desecador.

3.3.- El durómetro Shore consta de las siguientes partes: cuerpo, carátula (con una escala de dos en dos hasta el valor máximo de cien), superficie de contacto (o tope) y aguja de penetración, la cual va a penetrar en la superficie de la pasta de embrague.

3.4.- Para determinar la dureza superficial, se debe apoyar la muestra en una superficie firme, sujetando firmemente el durómetro asegurándose que la aguja penetre perpendicularmente, se debe presionar firmemente, hasta que la superficie de contacto (tope) toque la superficie de la pasta de embrague, la lectura debe ser leída en la carátula instantáneamente al tocarse ambas superficies.

3.5.- Los puntos de lectura están descritos en el siguiente diagrama:



4.- Cálculos.

Se realizarán cinco determinaciones por pasta y se debe llenar la forma descrita al final de esta técnica, se deben calcular promedios, desviación estandar, y registrar en la forma el valor máximo y el valor mínimo.

5.- Equipo.

- Durómetro de aguja cónica tipo D ASTM D 2240
- Desecador con sílica Gel.
- Mesa de trabajo.
- Calculadora.

6.- Bibliografía.

Japanese Industrial Standard "Method of hardness test for brake linings, pads and clutch facings of automobiles. JIS D 4421 - 1987.

A N E X O 5

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD UTILIZANDO BALANZA ANALÍTICA

1) Objetivo.

Determinar de manera práctica y rápida la densidad del material de fricción.

2) Aplicación de la prueba.

Esta prueba es aplicable a elementos de fricción de tipo tejido y moldeado.

3) Procedimiento.

3.1.- Se corta una probeta del material a evaluar con la ayuda de una siqueta y una plantilla, la cual tiene una cavidad de 25.4 mm X 12.7 mm, también es necesario cortar el segmento a un espesor de 3.30 mm. Esto se logra con la ayuda de un calibrador tipo Vernier, para medir largo y ancho y un calibrador de espesores, para medir el grosor con tolerancias máximas de 0.013 mm. Para lograr el espesor con exactitud, se recomienda adelgazar la probeta con lija de grano fino.

3.2.- Una vez dimensionada la probeta, se pesa en una balanza tipo analítica con una tolerancia de 0.0001 g.

3.3.- Se calcula el volumen de acuerdo con las dimensiones proporcionadas a la probeta.

4) Cálculos.

Finalmente se divide el peso obtenido, entre el volumen calculado, el resultado se multiplica por 1000, para obtener la densidad del material en gr/cm³.

5) Equipo.

Tornillo de mesa
Plantilla de corte

Segueta (diente fino)
Balanza analitica
Calibrador tipo Vernier
Calibrador de espesores
Lija de grano fino.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Crouse, Williams H. "Transmisión y Caja de Cambios del Automovil", Publicaciones Marcombo S. A., México, 1984.
- 2.- Asbury Graphite Mills Inc., Friction Materials, N.J., U.S.A., 1992.
- 3.- Afflerbach F.D., Barnett I., Patente U.S. 3,956,545 (11 Mayo 1976), (asignado a Johns Manville Corp.)
- 4.- Peters W.B., Barnett, Patente U.S. 3, 756,910 (4 Septiembre 1973), (asignada a Johns-Manville Corp.).
- 5.- Wolff G. von Rex; Fretzer Hans Patente U.S. No. 4,617,162 (14 de Octubre de 1986), (asignada a Rex Patent Graf von Rex GmbH and Schwäbisch Hall, Fed. Rep. of Germany).
- 6.- Sochalski A. Henry, Trenton, Patente U.S. No. 4,137,214 (30 de Enero de 1979), N.J. (asignada a Thiokol Corporation, Newton, Pa.).
- 7.- Bakelite Resins, Technical Information Bakelite, Italy, 1995.
- 8.- Tabe Yukata, Takamoto Hiromitsu, Zumada Keizo Patente: U.S. No. 4,324,706 (13 de Abril de 1982), (asignada a Teijin Limited y Adebono Brake Industry Co., Ltd., Osaka Japon).

- 9.- Chemigum Powdered Nitrile Elastomers, Technical Information 'Goodyear Chemicals', Akron, Ohio, 1993.
- 10.-Coloide Mexicana S.A. y Colloid Chemical Inc. Seminario: 'El collar en la fabricación de la balata, pastas para embrague y otros.', Morelos, 24 Agosto de 1974.
- 11.-Norma Oficial Mexicana 'Determinación de coeficiente de fricción y desgaste en materiales de fricción de uso automotriz, agrícola e industrial utilizando la máquina FAST (Friction Assesment Screening Test)., (NOM-D-153-1979) México, 1979.
- 12.-Norma Oficial Mexicana, "Determinación de la resistencia al estallamiento por centrifugación en pastas de fricción, para embrague de uso automotriz" (DGN-D-115-1976), Dirección General de Normas de la Secretaría de Industria y Comercio, México, 1976.
- 13.-Japanese Industrial Standard 'Method of hardness test for brake linings, pads and clutch facings of automobiles'. JIS D 4421-1987.
- 14.- Anderson A.E., Grath Serge, Hayes P. Hayden, 'A New Laboratory Friction And Wear Test For The Characterization Of Brake Linings', Automotive Engineering Congress, Detroit, Mich., January 9-13, 1967.
- 15.-Luk México Embragues, Norma de Especificaciones Técnicas para Pastas de Embrague, No. 0 812 015 51, Alemania, 1981.