



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**Implementación de un Laboratorio Químico
de Control de Calidad para Pastillas de
Frenado**

**TRABAJO PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERA QUÍMICA**

PRESENTA

ALEJANDRA DEL ÁGUILA RODRÍGUEZ

ASESOR: DR. RICARDO PARAMONT HERNÁNDEZ GARCÍA

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO

2016



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 CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

ASUNTO: VOTO APROBATORIO



DEPARTAMENTO DE
EXÁMENES PROFESIONALES

**M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
PRESENTE**

**ATN: M. EN A. ISMAEL HERNÁNDEZ MAURICIO
Jefe del Departamento de Exámenes Profesionales
de la FES Cuautitlán.**

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: **Trabajo Profesional**

Implementación de un Laboratorio Químico de Control de Calidad para Pastillas de Frenado.

Que presenta la pasante: **Alejandra del Águila Rodríguez**
Con número de cuenta: **305778017** para obtener el Título de la carrera: **Ingeniería Química**

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

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 03 de Agosto de 2016.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dr. Ricardo Paramont Hernández García	
VOCAL	M. en C. Gilberto Atilano Amaya Ventura	
SECRETARIO	M. en E. María Teresa Ylizaliturri Gómez Palacio	
1er. SUPLENTE	M en G.A.A Ángel Raygoza Trejo	
2do. SUPLENTE	I.Q.I. Raúl Gómez Gómez Tagle	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

DEDICATORIA

Con todo mi corazón a mis **Padres, Sonia Rodríguez y Sergio del Águila** por su apoyo incondicional y por alentarme a mirar siempre hacia delante. Por brindarme su amor y confianza dejando la mejor de las herencias que es mi educación.

Quiero decirles que este logro también es tuyo, los amo con todo mi corazón.

AGRADECIMIENTOS

A mis **Hermanos y Hermana** que a pesar de la distancia siempre están presentes en mi corazón y siempre cuento con su apoyo en los buenos y malos momentos.

A mi compañero de vida **Alberto Romo**, a quien expreso mi mayor agradecimiento por ser ejemplo en mi vida para seguir adelante a pesar de cualquier adversidad, por sus consejos y su apoyo total.

A la familia **Del Águila** y a la familia **Rodríguez** de quienes eh recibido el voto de confianza y bendiciones.

A la familia **Romo y Pillado** por marcar mi vida con sus consejos y su compromiso de unidad y fortaleza.

Al **Ing. David Mundo** y al **Ing. Antonio Cordova** por creer incondicionalmente en mí y en mi trabajo y darme la oportunidad de formar parte de su equipo de Calidad.

A mis compañeros de trabajo **Mely, Aldo, Tomás, René** por compartir conmigo sus experiencias y conocimientos en el área.

A mi asesor el **Dr. Ricardo Paramont** en quien encuentro un gran ser humano, maestro y amigo, quien me ha apoyado y mostrado el camino correcto en la elaboración de este trabajo, quien ha invertido horas extra fuera de su jornada laboral para ayudarme a dar este gran paso en mi vida profesional.

Contenido

Índice de figuras	5
1 Objetivos	7
1.1 Objetivo general	7
1.2 Objetivos específicos.....	7
2 Introducción.....	8
3 Fundamento teórico.....	9
3.1 Estado de la técnica	11
3.2 Historia de las pastillas de frenado	12
3.3 Operaciones esenciales para la fabricación de las balatas	14
4 Marco de Referencia	15
4.1 Antecedentes de la empresa de autopartes	15
4.1.1 Principales productos	16
4.1.2 Clientes.....	16
4.1.3 Modelo de calidad	16
4.2 Entendimiento del entorno de la organización	17
4.3 Historia de la compañía.....	18
5 Descripción, impacto y relevancia del trabajo profesional.....	19
5.1 Materiales de fricción.....	22
5.1.2 Agentes aglutinantes.....	24
5.1.3 Fibra– refuerzo	25
5.1.4 Modificadores de fricción metálicos	26
5.1.5 Lubricantes sólidos.....	27
5.1.6 Modificadores de fricción abrasivos	27
5.1.7 Cargas inorgánicas	28
5.2 Matriz de RPN´s.....	29
5.3 Equipos de prueba	32
5.3.1 Área superficial de las fibras	33
5.3.2 Prueba de densidad a granel para fibras	33
5.3.3 Pruebas que se hacen a las resinas.....	33
5.3.4 EDX para compuestos metálicos.....	36

5.3.5 Pruebas que se hacen a los grafitos	36
5.4 Estado de laboratorio.....	37
5.4.1 Estado del laboratorio en 2013, antes de la llegada de la autora	37
5.4.2 Laboratorio en el 2014, a la llegada de la autora.....	39
5.4.3 Laboratorio en 2015	42
5.4.4 Laboratorio en el año 2016.....	45
5.5 Instrucción de trabajo	46
5.6 Equipo de protección personal	48
5.7 Trabajo estandarizado.....	50
5.8 Estructura organizacional de laboratorio.....	50
5.9 Herramientas de calidad para análisis de resultados	51
5.10 Ventaja competitiva.....	52
6 Conclusiones	53
7 Bibliografía.....	55

Índice de figuras

Figura 1. Participación en la producción de autopartes por país (Industria de autopartes – PROMEXICO, 2015).....	9
Figura 2. Cadena de suministros (Industria de autopartes – PROMEXICO, 2015)	11
Figura 3. Proceso de manufactura de balatas de disco. (Blau, 2001)	14
Figura 4. Partes de las Balatas y su ensamble (Federal Mogul, curso de inducción, 2015).....	15
Figura 5. Discos y balatas para frenado (Federal Mogul, 2016)	16
Figura 6. Principales clientes de la compañía (Federal Mogul, 2016) ⁸	16
Figura 7. Historia de la compañía (PNC, Federal Mogul, 2016) ⁸	18
Figura 8. Diagrama de bloques para la implementación de un laboratorio	21
Figura 9. Composición del material de fricción (E-Auto, 2016).....	23
Figura 10. Extracto de ayuda visual de evaluación de materia prima (creación de la autora)	32
Figura 11. Certificado de entrenamiento en Bad Camberg, Alemania.....	40
Figura 12. Plano de distribución del laboratorio en el año 2014 (creación de la autora)	41
Figura 13. Plano de distribución del laboratorio en el año 2015 (creación de la autora)	44
Figura 14. Gráfica de capacidad de laboratorio 2013 vs. 2016 (creación de la autora)	45
Figura 15. Diagrama de flujo de muestras de materia prima a laboratorio (creación de la autora).....	45
Figura 16. Instrucción de trabajo para el EDX- espectrómetro por fluorescencia de rayos X (creación de la autora).....	46
Figura 17. Instrucción de trabajo para el EDX- espectrómetro por fluorescencia de rayos X (creación de la autora).....	47

Figura 18. Equipo de protección personal usado durante las pruebas químicas (creación de la autora).....	49
Figura 19. Trayectoria óptima de desplazamiento en el laboratorio para llevar a cabo las pruebas de las resinas (creación de la autora)	50
Figura 20. Organigrama de laboratorio (creación de la autora)	50

Índice de fotografías

Fotografía 1. Ayuda visual de evaluación de materia prima (matriz y fotografía creación de la autora) ...	32
Fotografía 2. Analizador de área superficial Nova 2000e (fotografía de la autora)	33
Fotografía 3. Analizador de tamaño de partícula Horiba (fotografía de la autora)	34
Fotografía 4. Platina de calentamiento Gel Instrument AG -TC-4 (fotografía de la autora).....	34
Fotografía 5. Dispositivo para fluidez de resina y horno de calentamiento OF-02 (fotografía de la autora)	35
Fotografía 6. Equipo de índice de punto de fusión Electrothermal (fotografía de la autora)	35
Fotografía 7. Espectrómetro de fluorescencia de rayos X Shimadzu (fotografía de la autora)	36
Fotografía 8. Mufla de calentamiento Thermoscientific (fotografía de la autora)	37
Fotografía 9. Laboratorio en el año 2013(fotografía de la autora)	38
Fotografía 10. Laboratorio en el año 2014 (fotografía de la autora)	41
Fotografía 11. Área de pruebas químicas (fotografía de la autora)	42
Fotografía 12. Área de pruebas físicas (fotografía de la autora)	42
Fotografía 13. Área de hornos (fotografía de autora).....	43
Fotografía 14. Entrega del Premio Nacional de la Calidad en la Residencia de los Pinos (la autora a la derecha)	52

Índice de Tablas

Tabla 1. Materiales de fricción.....	24
Tabla 2. FMEA Análisis del Modo del Efecto de la Falla	30
Tabla 3. Evaluación de riesgos de materiales.....	31
Tabla 4. Clasificación de materiales por categorías	31
Tabla 5. Listado de equipos existentes en el laboratorio durante el año 2013, antes de la llegada de la autora	38
Tabla 6. Lista de costos de equipos nuevos requeridos (USD)	39

Implementación de un Laboratorio Químico de Control de Calidad para Pastillas de Frenado

1 Objetivos

1.1 Objetivo general

Describir la implementación de un laboratorio químico, que la autora de este trabajo realizó en una empresa de autopartes, con el fin de analizar los componentes de las pastillas de frenado, asegurando la calidad del producto terminado para cumplir con los requerimientos específicos de los clientes, y aumentar la cantidad de negocios de esa empresa en el mercado de frenos en el segmento de equipo original.

1.2 Objetivos específicos

- Crear sistemas de calidad para la gestión de un laboratorio químico que cubra los requerimientos de los clientes.
- Definir los constituyentes químicos del material de fricción, así como su función nominal.
- Elaborar una matriz de número de prioridad de riesgo para cada grupo de materiales considerando su severidad, sensibilidad y detectabilidad.
- Crear un matriz de evaluación de materia prima con la formulación específica de cada cliente.
- Definir los equipos de prueba para los compuestos químicos.
- Elaborar un plan financiero para la adquisición de los equipos en el laboratorio químico.
- Revisar las normas para el análisis de la materia prima que compone a una pastilla de frenado.
- Desarrollar instrucciones de trabajo con los procedimientos que regulen las pruebas químicas para el control de calidad de la materia prima.
- Elaborar un plano de distribución (*layout*) de los equipos de medición.
- Describir el equipo de protección personal necesario para realizar las pruebas a químicos.
- Analizar las ventajas que produce la ejecución de análisis químicos y su relación con el producto terminado.
- Elaborar rutas de desplazamiento de trabajo estandarizado para la ejecución de pruebas para los químicos.

2 Introducción

En este trabajo se describe la implementación de un laboratorio químico de control de calidad en una empresa productora de balatas, llevada a cabo por la autora de este trabajo. En él se realizan los análisis químicos de las propiedades de las materias primas para elaborarlas pastillas de frenado, así como las del producto terminado.

La creación del laboratorio se debió a las exigencias de los clientes de equipo original¹ quienes demandaban que se asegurara la calidad del producto mediante el cumplimiento de los requerimientos específicos y normativas de la Industria Automotriz.

La industria de autopartes opera con dos segmentos de negocio, el segmento del tren de potencia (*Powertrain*) que diseña y fabrica componentes de tren motriz de equipo original y el segmento de partes de motor (*Motorparts*) que fabrica productos automotrices, de servicio pesado, industrial y de transporte a través de 20 de las marcas más reconocidas del mercado global de posventa (*AM, After Market*) a la vez que atiende a los fabricantes de vehículos, (*OE, Original Equipment*) con productos que incluyen componentes de sistemas de frenos.

El proceso de elaboración de frenos de pastilla cuenta con los siguientes procesos: granallado, aplicación de adhesivo, mezclado, prensado, horneado, rectificado, aplicación de pintura, secado por fuego (*scorching*) y empacado.

Con la implementación de éste laboratorio se cumplieron los requerimientos de los clientes de equipo original, CTQ's (*Critical to Quality*), quienes exigen a sus proveedores contar un laboratorio capaz de analizar la materia prima que compone la pastilla de frenado y a éstas mismas con el fin de asegurar su correcto funcionamiento en el campo.

¹ Se denomina “cliente de equipo original” a las armadoras de vehículos automotores, por ejemplo Chrysler, General Motors, Ford, etc.

3 Fundamento teórico

El propósito de los frenos de fricción es desacelerar el vehículo transformando su energía cinética en calor por fricción, y disipar ese calor a los alrededores².

Los materiales de las pastillas de frenado deben tener ciertas características tales como: resistencia a la corrosión, peso ligero, larga vida útil, bajo ruido, fricción estable, baja tasa de desgaste, costo aceptable y buen rendimiento. El diseño y la materia prima empleados en los frenos afectan al flujo de calor, confiabilidad, características de ruido y la facilidad de mantenimiento.

La formulación de las balatas para el mercado de equipo original es diferente de la formulación para el mercado secundario, ya que el primero es más exigente debido a que las piezas originales siempre van montadas en los vehículos nuevos con tambores nuevos y se ajustan correctamente con los sistemas de frenado. A diferencia del mercado de piezas de repuesto cuyo objetivo es hacer una fórmula adecuada para una multitud de vehículos, nuevos y antiguos.

La globalización dentro de la industria de autopartes generará mayor competitividad en el sector, dando paso a países como México, Brasil y Corea del Sur³. Como se observa en la figura 1, donde México tiene el 5% de participación en la producción de Autopartes.

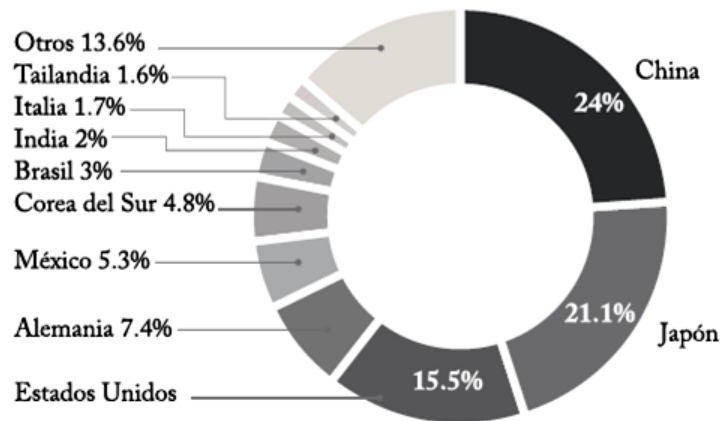


Figura 1. Participación en la producción de autopartes por país (Industria de autopartes – PROMEXICO, 2015)

² Domínguez, Esteban J. (2012). *Sistemas de transmisión y frenado*. 2ª Edición. México: Editor Editex, 420 pp.

³ INA. (2015). *Industria Nacional de Autopartes*. [Consulta: 15 de abril del 2016]. Obtenido de la Industria automotriz en México: http://www.ina.com.mx/informacion_macroeconomica/

La fabricación de automóviles se ha vuelto cada vez más competitiva; la innovación de la industria automotriz y el mayor nivel de complejidad de los productos que se manufacturan obligan a las empresas a mejorar los procesos involucrados y a generar tecnología que cumpla los requerimientos de la industria terminal. La fabricación de autopartes tiene la misma tendencia, y dentro del desarrollo del sector, las empresas se enfocan en invertir capital para contar con personal capacitado, maquinaria y equipo de punta para satisfacer a las armadoras. Las tendencias tecnológicas son de gran importancia, ya que las formulaciones que se usan para preparar las balatas cambian continuamente, con base en nuevas tecnologías, que requieren continuamente cambios en materias primas como aceros y químicos.

Se prevé que el sector automotriz siga en ascenso durante los próximos años. México producirá más de 3.7 millones de vehículos ligeros al final de 2016, lo que significará un incremento de 28.5% respecto a los niveles de producción reportados en 2012.⁴

Esta industria automotriz se encuentra organizada en tres niveles⁵ de producción:

- Nivel 1: Proveedores directos de las empresas armadoras. Entre los componentes que desarrollan encontramos partes del motor, sistemas de dirección y suspensión, sistemas de aire acondicionado, componentes electrónicos, entre otros.

- Nivel 2: Abarca a las empresas proveedoras del nivel 1. Estas manufacturan equipos y productos que son utilizados en los componentes más avanzados y especializados de la industria automotriz. Entre los productos encontramos: partes forjadas, partes estampadas, partes de inyección de aluminio, partes fundidas, plásticas y maquinadas entre las que se encuentra la industria de frenos. Dentro de este rubro está la empresa para la cual se implementó el laboratorio químico por la autora de este trabajo.

- Nivel 3: Son empresas proveedoras de insumos del nivel 2, que cumplen los requerimientos de calidad necesarios que demanda la industria automotriz.

⁴ Secretaría de Economía. (2015). *Industria de autopartes*. [Consulta: 17 de Marzo del 2016]. Obtenido de PROMÉXICO:

http://mim.promexico.gob.mx/work/sites/mim/resources/LocalContent/69/2/Diagnostico_autopartes_vf_2013.pdf

⁵“Tiers” en inglés, como se usa comúnmente en la industria automotriz en México: tier 1, tier 2 y tier 3.

En la figura 2, se muestra la cadena de suministro entre los 3 niveles.

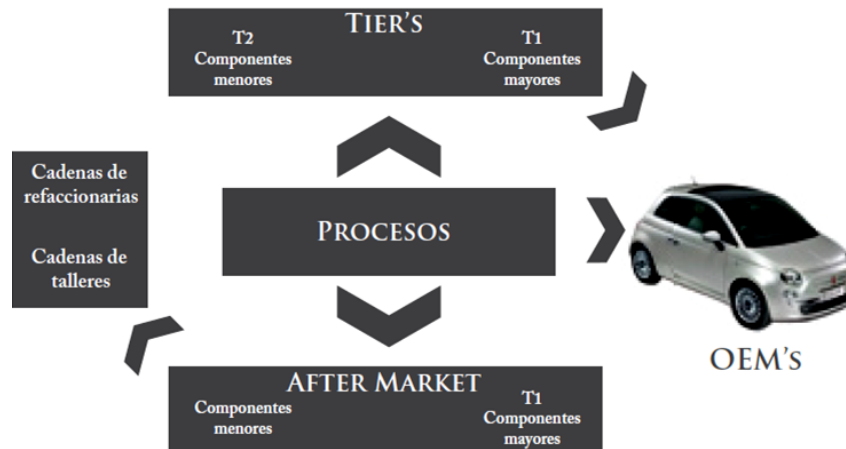


Figura 2. Cadena de suministros (Industria de autopartes – PROMEXICO, 2015)

3.1 Estado de la técnica

Con el fin de conseguir las propiedades requeridas de los frenos, las pasillas de fricción no están compuestas por elementos simples, sino que están compuestas de muchos materiales. Más de 2000 diferentes materiales y sus variantes se utilizan en la actualidad como componentes del sistema de frenos comerciales.

En la antigüedad el material empleado para frenar los vehículos como carretas que eran empujadas por caballos fue la madera. Posteriormente, en 1897, Herbert Froot desarrolló el primer material de fricción utilizando fibras de algodón las que unía con una solución de bituminosas y latón. Dando un adecuado resultado de frenado en carretas y automóviles. Sin embargo, sus limitaciones se centraban en que dicho material al sobrepasar una temperatura de 150°C se rompía perdiendo sus propiedades. Por lo cual después de diez años, se implementó una fibra de amianto crisolito (silicato de magnesio hidratado) un abundante mineral también conocido como asbesto, cuyas fibras, al igual que las de algodón eran unidas con latón.

Las características positivas del amianto son:

- Es térmicamente estable a 500 °C por encima de los cuales se produce silicatos.
- Ayuda a regenerar la superficie de fricción durante el uso.
- Su costo es razonable y el carácter fibroso permanece intacto hasta 1400°C.

Una característica muy negativa del asbesto es que se considera una sustancia cancerígena, debido a que cuando se inhalan sus fibras, es posible que se alojen en los pulmones y con el tiempo, las fibras pueden acumularse y causar cicatrices e inflamación, lo cual puede dificultar la respiración y llevar a serios problemas de salud.⁶

A lo largo de 60 años dicho material fue la base las pastillas de frenado.

3.2 Historia de las pastillas de frenado

- Década de los años 1920

En el año de 1926, Mr. Blume desarrolló una fórmula usando el tejido de amianto, pero con fibras cortas cambiando el latón por aceite de linaza y carbón bituminoso, logrando aumentar la volatilidad y reducir la cantidad de cenizas desprendidas.

- Década de los años 1930

Los químicos realizaron diversas investigaciones sobre resinas flexibles con mayor resistencia al calor dando pauta al nacimiento de los componentes que actualmente conocemos.

- Década de los años 1940

Las investigaciones siguieron avanzando y los tejidos de amianto comenzaron a ser cubiertos con compuestos de caucho colocados en capas, hasta obtener el grosor requerido, haciendo uso de la maquinaria tradicional de dicha industria.

- Década de los años 1950

Se implementó una fórmula con resinas que ligaban residuos metálicos dando origen a las pastillas a las que se les llamó “metálicas”. La mezcla se basó en resinas con lana de acero y grafito.

⁶ S/A. *Toxic Substances and Disease Registry*. [Consulta: 15 de Febrero del 2016].Obtenido de Asbestos Health Effects: http://www.atsdr.cdc.gov/asbestos/asbestos/health_effects/index.html

- Década de los años 1960

El diseño y las exigencias de la industria automotriz aumentaron obligando a realizar mejoras en los sistemas de frenos, buscando alternativas al asbesto ya que tenía calidad variable y su precio aumentaba. Por lo que se implementaron fibras de vidrio, de metal y fibras de carbón sintéticas.

- Década de los años 1970

Comenzó a cuestionarse los daños a la salud provenientes del amianto, volviéndose populares los materiales semi-metálicos y metálicos unidos con resina desarrollados dos décadas atrás.

- Década de los años 1980

Los avances en la industria automotriz, como la disminución del tamaño de las llantas, provocaban que el calor generado al frenar aumentara, por lo que se desarrollaron compuestos con una conductividad térmica menor que los semi-metálicos.

- Década de los años 1990

Nace una tendencia en los programas de desarrollo en la industria automotriz con el fin de cambiar los contenidos de metales pesados del material de fricción (trisulfuro de antimonio, sulfuro de plomo o galena, disulfuro de molibdeno, fibras de cobre y componentes del cobre, lo mismo que fibras de silicio) por compuestos no tóxicos, a fin de evitar impactos negativos sobre la salud y la naturaleza.

- Siglo XXI

Se buscan materiales que deben tener la propiedad de no desintegrarse a altas temperaturas de frenado, y que mantengan sus características de fricción en un ancho intervalo de temperaturas.

Sin embargo, aún se pueden encontrar productos de fricción que están elaborados con base en el asbesto, los cuales debido a sus propiedades cancerígenas, están regidos bajo normas estrictas para su manipulación.

3.3 Operaciones esenciales para la fabricación de las balatas

- Mezclado
- Preformado
- Prensado
- Curado
- Rectificado
- Secado por fuego (*Scorching*)
- Aplicación de pintura
- Codificado y ensamble

En la figura 3, se indican las operaciones de la fabricación de balatas de disco.

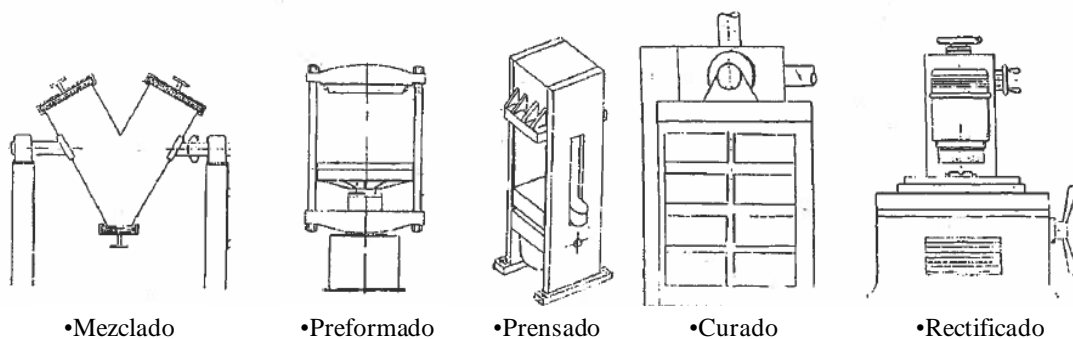


Figura 3. Proceso de manufactura de balatas de disco. (Blau, 2001)⁷

En el proceso de mezclado se ve involucrado cada uno de los componentes químicos que se unen para formar una mezcla homogénea. Entre los factores críticos se encuentra el tiempo de agitación el cual es específico para el tipo de fibras que se emplean en la formulación.

Cada fibra tiene un tiempo de apertura, es decir, un periodo en el cual su longitud es la mayor posible, a partir de ahí lo que sucede es que las fibras se van acortando, con lo cual no realizarán la función anteriormente descrita.

⁷ Blau, Peter J. (2001). *Compositions, Functions, and Testing of Friction Brake Materials and Their Additives*. [Consulta: 10 de abril del 2016]. Obtenido de Metals and Ceramics Division: <http://web.ornl.gov/~webworks/cppr/y2001/rpt/112956.pdf>

Por otra parte se encuentra la etapa de prensado en la cual se aglutinan los compuestos de la formulación. En este momento las resinas se funden y fluyen por todo el material de la zapata (*pad*) uniendo cada compuesto químico empleado en la formulación. Mientras que en el curado dentro del horno se finaliza la polimerización de las resinas para compactar en su totalidad los componentes y liberar los materiales volátiles.

Durante el secado por fuego (*scorching*) se elimina la mayoría de los componentes orgánicos, la resina se convierte en grafito y las pastillas de fricción alcanzan sus propiedades finales. Este proceso es seguido del rectificado donde se define el espesor de las pastillas de frenado, la elaboración de ranuras o chaflanes.

Por último se tiene el proceso de ensamble, codificado y empaque donde se colocan los elementos complementarios de acuerdo a los requisitos del cliente y se empaquetan para su venta. En la figura 4, se observan las partes principales de una balata y ensamble en el automóvil.



Figura 4. Partes de las Balatas y su ensamble (Federal Mogul, curso de inducción, 2015)

4 Marco de Referencia

4.1 Antecedentes de la empresa de autopartes

Esta compañía, debido a una estrategia mundial de integración, se ubicó inicialmente en la ciudad de Saltillo, Coahuila en 1998.

En el 2001 cambio su ubicación a Tepetzotlán en el Estado de México, e inicio la operación de la nave de Frenos en forma independiente.

4.1.1 Principales productos

Mercado de repuestos de balatas y fabricación de balatas para equipo original para diferentes clientes como se observa en la figura 5.



Figura 5. Discos y balatas para frenado (Federal Mogul, 2016)⁸

4.1.2 Clientes

Dentro de los clientes de la compañía se encuentran las principales armadoras como son Ford, Chrysler, General Motors, Nissan entre otros. En la figura 6, se observan los principales clientes y su localización en el país, concentrándose principalmente en la zona norte y centro de México.



Figura 6. Principales clientes de la compañía (Federal Mogul, 2016)⁸

4.1.3 Modelo de calidad

Involucra a los procesos clave de la operación, así como a los procesos de soporte, con la finalidad de satisfacer al cliente sin perder de vista la mejora continua, usando herramientas de

⁸ S/A. Federal-Mogul Corporation. [Consulta: 11 de Febrero del 2016]. Obtenido de Our Company History: <http://www.federalmogul.com/en/OurCompany/CompanyOverview/History/>

referencia cruzada (*Read Across*) y el comparativo (*Benchmark*) de lecciones aprendidas de otras plantas para mejorar los procesos o áreas. Esta última herramienta dio pie a la implementación del laboratorio al compararlo con el centro de desarrollo ubicado en Alemania.

4.2 Entendimiento del entorno de la organización

Se calcula que para el año 2016, la producción de vehículos pesados en México conseguirá los 196.8 miles de unidades. México será en 2018, el cuarto productor más grande de automóviles, camiones, partes y componentes a nivel mundial.⁹

El destino principal para la exportación mexicana de la industria automotriz es Estados Unidos. Sin embargo, en los últimos años las exportaciones automotrices mexicanas se han diversificado, aumentando la participación de distintos países Latinoamericanos en las exportaciones nacionales.

⁹ S/A. *Automotive Meetings*. [Consulta: 14 de Marzo del 2016]. Obtenido de Industria Automotriz en México, un sector clave: <http://www.automotivemeetings.com/mexico/index.php/es/industria-automotriz-en-mexico>

4.3 Historia de la compañía

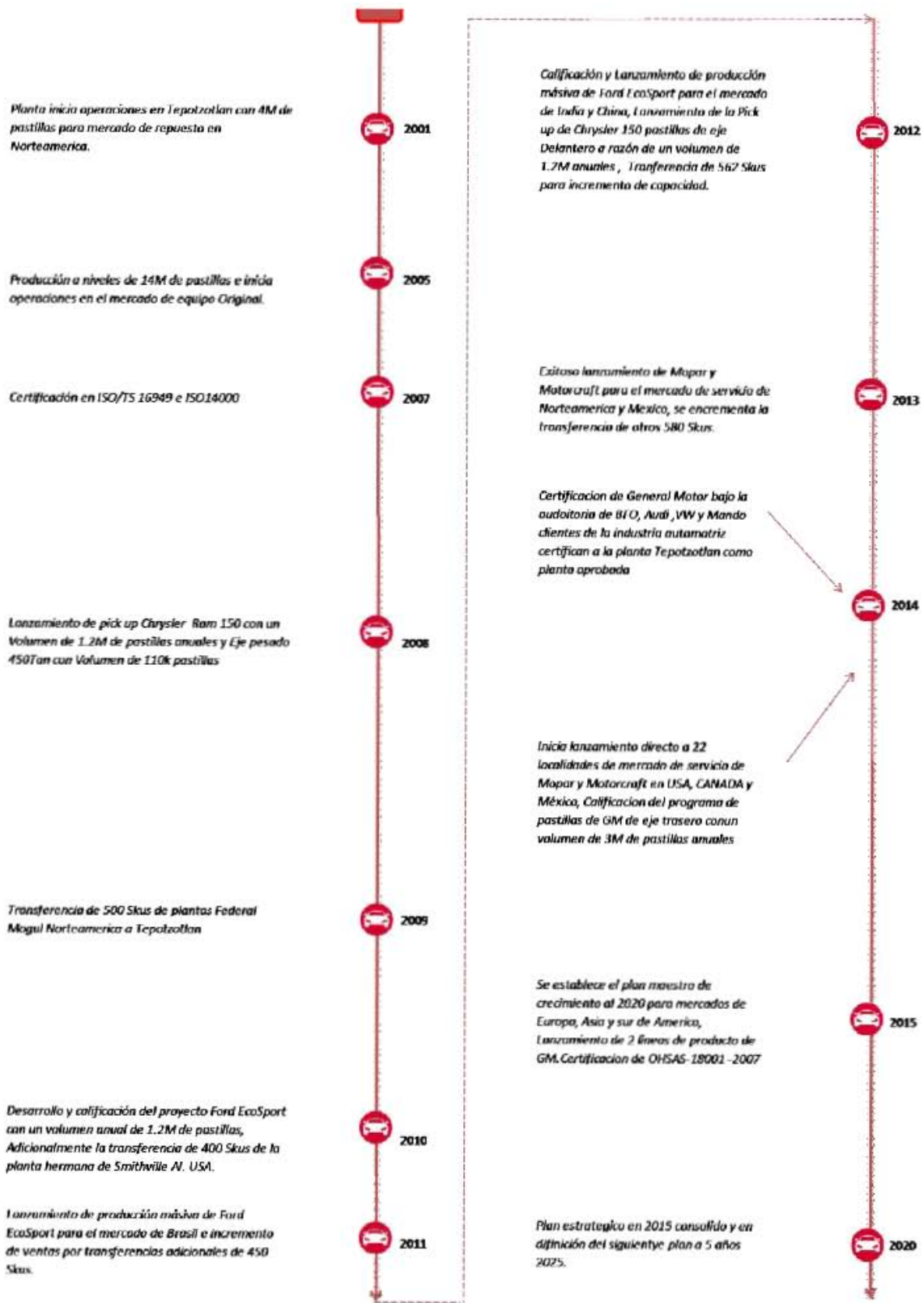


Figura 7. Historia de la compañía (PNC, Federal Mogul, 2016)⁸

5 Descripción, impacto y relevancia del trabajo profesional

La estrategia de negocio ha sido parte fundamental para garantizar la sustentabilidad de la compañía.

Varios años atrás Audi comenzó su proyecto de fabricación de vehículos en la planta de Puebla-México, por lo que la compañía de balatas a partir del año 2013 y hasta finales del 2015 compitió para ganar el negocio de la fabricación de pastillas de frenado de disco para la camioneta “Audi Q5”, así mismo en el 2014 buscó incrementar el negocio con General Motors, Mercedes Benz, Chrysler / Fiat y VW entre otros, sin embargo la gerencia tenía claro que para conseguir el éxito debía cumplir con los requerimientos específicos de estos clientes.

En el 2014 se programó una auditoría de aseguramiento de calidad y de logística a la planta de frenos para lo cual se tuvo una revisión previa de los puntos específicos que serían más relevantes para los clientes; rápidamente saltó a la vista un enunciado en el Manual de Calidad para Proveedores Globales por sus siglas en Inglés “GSQM” (*Global Supplier Quality Manual*) en el punto de requerimientos de certificación de material y control de producción (*Material Certification Requirements and Control In Production*) cuya cláusula indica que para productos que contengan químicos y resinas, modificadores de temperatura u otros aditivos que influyan en el desempeño final del producto, se requiere un análisis elemental como parte de la certificación de los materiales, por ejemplo EDX-XRF (*espectrometría de fluorescencia de rayos-X*).

De inmediato la alta gerencia se percató de la gravedad de este incumplimiento, por lo que el tema se llevó al nivel más alto de la compañía (nivel global). Dadas las necesidades de cumplir con dichos requerimientos específicos para el aseguramiento de la calidad se decide hacer una estandarización a nivel global de los Laboratorios de Federal Mogul. Tomando como ejemplo a seguir un centro de desarrollo ubicado en Bad Camberg, Alemania.

La compañía buscó dentro de sus miembros, un ingeniero afín al nuevo puesto, quien se encargaría de llevar a cabo la estandarización del laboratorio químico, seleccionando a la autora de este trabajo por ser la única egresada de la carrera de Ingeniería Química, dado que el resto de los empleados tenían el título de ingenieros mecánicos e industriales. La parte complicada, fue

que, en ese momento, no se tenía un plan de capacitación, ya que para las áreas de recursos humanos y calidad era un mundo nuevo el tema del análisis químico en materia prima.

El director de la planta decidió enviar a la autora a capacitación en Alemania, donde trabajó durante un mes para el Centro de Desarrollo.

Durante dicha capacitación la información compartida fue limitada, ya que las personas en esa planta no le daban a la autora las explicaciones sobre el porqué de la realización de diferentes pruebas de los materiales, la mayoría de las veces sólo se limitaban a indicarle cómo era el procedimiento a seguir para efectuar el análisis. En pocas palabras, decían el cómo pero no el porqué. Los procedimientos que le indicaron fueron los relativos al análisis de los materiales que componen principalmente una balata. Fue la autora de este trabajo la que ha ido, con base en la investigación de fuentes, experimentación y análisis, descubriendo poco a poco los porqués.

En la figura 8, se muestra el diagrama de bloques para la implementación del laboratorio, resaltando los puntos más relevantes que son desarrollados a lo largo del trabajo.

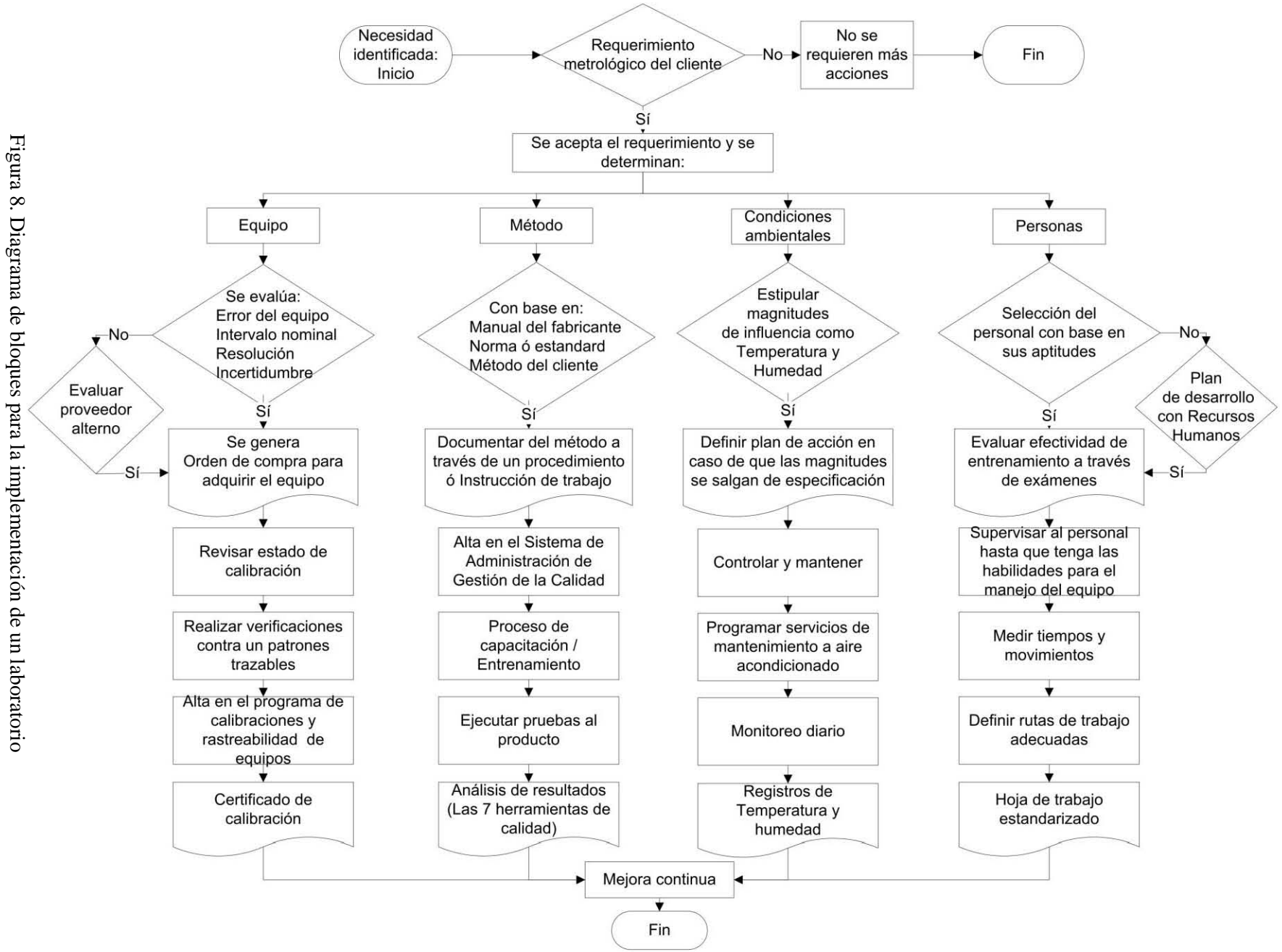


Figura 8. Diagrama de bloques para la implementación de un laboratorio

5.1 Materiales de fricción

El proceso de capacitación comenzó conociendo los diferentes tipos de balatas que existen, entre ellos se encuentran las cerámicas, semi-metálica o metálicas y las orgánicas. Las primeras están compuestas por cerámica y fibra de cobre, lo que permite que las pastillas de este tipo controlen la tendencia del freno a perder potencia a temperaturas más altas y se recuperen de manera más rápida luego de detener el vehículo.

Por otra parte, las balatas semi-metálicas o metálicas, están compuestas por materiales de fricción como el hierro, la fricción en condiciones de seco y mojado no varían demasiado, por lo que tiene mejor frenado en condiciones de piso mojado que los otros tipos de pastilla. La duración es muy elevada, llegando a alcanzar los 15.000 kilómetros. El calor desprendido es mucho mayor que el de los otros tipos de balata.

Finalmente, las balatas orgánicas están constituidas por materiales comunes y algunos otros tales como el grafito, resinas y fibras. Estas balatas son de una inmejorable calidad y adherencia al frenar, generan menos calor que las metálicas y este tipo de pastillas necesita menos rodaje de asentamiento (rodaje con frenado suave para hacer que se asiente la balata).

El desarrollo y la formulación de tales materiales de fricción involucran un equilibrio de propiedades funcionales, físico-químicas y, constantemente están llenos de paradojas. Sin embargo, entre las propiedades del material de fricción que son generalmente deseables en todos los tipos de balatas, encontramos:

- Alto coeficiente estático y dinámico de fricción en todas las circunstancias ambientales permisibles.
- Coeficiente de fricción dinámico estable y predecible dentro de la gama requerida de las condiciones de funcionamiento, por ejemplo, -40 a 1200 ° C.
- Características de desgaste mínimo combinadas con las propiedades de fricción que impiden el desgaste de la superficie contraria.
- Resistencia adecuada de cizalla para resistir la ruptura o falla catastrófica.
- Resistencia adecuada a la corrosión para retener el espectro de propiedades requeridas en presencia de agua, sal, arena y fango, etc.

- Suficiente aislante térmico para evitar el sobrecalentamiento del líquido de frenos.
- Conformidad de la superficie contraria para facilitar la generación de calor uniforme.
- Costos optimizados de materias primas, procesamiento y tecnologías de fabricación.

Los materiales de fricción NAO también conocidos como libres de asbesto por sus siglas en inglés “*Non-Asbest Organic*”, son compuestos de múltiples componentes, dichas composiciones han llegado a ser cada vez más complejas desde el abandono de las fibras de amianto. Las formulaciones pueden variar dramáticamente de acuerdo con las condiciones de funcionamiento requeridas.

En la actualidad para la fabricación de material de fricción se emplean en mayor o menor medida compuestos principales como:

- Fibras
- Cargas minerales
- Componentes metálicos
- Lubricantes o modificadores de coeficiente de fricción
- Materiales orgánicos
- Abrasivos

En la figura 9, se muestran los porcentajes comúnmente empleados en una formulación para elaborar balatas.

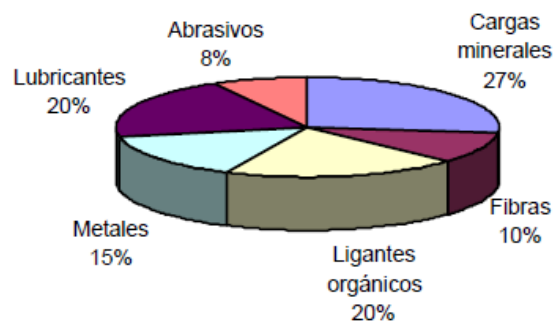


Figura 9. Composición del material de fricción (E-Auto, 2016)¹⁰

¹⁰ S/A. E-Auto, boletines técnicos. [Consulta: 18 de Abril del 2016]. Obtenido de Frenos de disco: <http://e-auto.com.mx/enuw/index.php/85-boletines-tecnicos/3506-frenos-4-frenos-de-disco>

En la tabla 1 se listan los principales constituyentes de materiales de fricción modernos los cuales están agrupados según su función nominal o principal.

Tabla 1. Materiales de fricción

Tipo de constituyente	Variedades	Función nominal
Resina	Fenólico, epoxi, silicona, caucho, etc.	Aglutinante
Fibra	Vidrio, aramida, titanato de potasio, carbono, cerámica, cobre, latón, acero, acero inoxidable, lana de roca, etc.	Reforzar el material de fricción
Polvo de metal	Cu, Cu-Zn, Cu-Sn, Zn, Fe, Al, etc.	Aumentar coeficiente de fricción
Lubricante sólido	Grafito, MoS ₂ , Sb ₂ S ₃ , Sn ₂ S ₃ , PbS, ZnS, mica, etc.	Prevenir adherencia al rotor
Abrasivo	Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , MgO, Fe ₃ O ₄ , Cr ₂ O ₃ , SiC, ZrSiO ₄ , cianita (Al ₂ SiO ₅), etc.	Modificar el nivel de fricción, limpieza superficial del rotor
Carga inorgánica	Vermiculita, BaSO ₄ , CaCO ₃ , Ca(OH) ₂ , MgO, etc.	Reducir el desgaste de alta temperatura

5.1.2 Agentes aglutinantes

El sistema de agente, o resina de unión, forma la porción orgánica importante de todas las formulaciones de material de fricción NAO (libre de asbesto por sus siglas en inglés: *Non Asbest Organic*) modernas, por lo general que representa entre 25 - 40% de la composición en volumen, equivalente a alrededor del 5 - 15% de la masa.

El componente es crítico para el rendimiento de los materiales de fricción, aglomerados orgánicos, ya que, más que cualquier otro constituyente, dicta las propiedades mecánicas de la almohadilla y, en particular, la capacidad de carga térmica antes del fallo.

El consumo de la resina fenólica en formulaciones de fricción representa alrededor del 1% del mundial, tales compuestos fenólicos termoestables son los agentes de unión más comunes

utilizados. Existe un gran número de variedades de compuestos fenólicos como las resinas Novolak™, modificadas con adiciones inorgánicas (Si, P, B, Ti, etc.) que obtienen resistencia térmica superior a expensas de la fuerza y las características de desgaste. Las resinas Novolak™ modificadas con adiciones orgánicas muestran las características de la propiedad inversa y por tanto son propensas a la decoloración.¹¹

5.1.3 Fibra– refuerzo

Ejercen una influencia mucho mayor sobre las propiedades mecánicas de un material de fricción (módulo de elasticidad, compresibilidad y resistencia; flexión, compresión y especialmente cizallamiento).

Las propiedades del material de fricción están influenciadas por las siguientes características de la fibra:

- La orientación de la fibra
- La fuerza de la fibra
- Fibra morfología / tamaño - para reducir al mínimo las concentraciones de esfuerzos

Las fibras pueden ser clasificadas en cuatro categorías principales; vidrio, sintético (aramida), (Kevlar™ en particular), titanato de potasio, carbono, cerámica, etc.), metálico (cobre, latón, acero y alambre de acero inoxidable, lana de hierro, etc.) y natural.

Las fibras de carbono mejorarán la estabilidad del coeficiente de fricción de alta temperatura, las fibras de aramida mejorarán la fuerza y la resistencia al desgaste, las de vidrio y fibras cerámicas reducen la conductividad térmica del material compuesto mientras que proporciona resistencia a alta temperatura.

¹¹ EURAC. *Materiales de fricción*. [Consulta: 11 de Enero del 2016] Obtenido de Boletín técnico 00010433: (<http://www.eurac-group.com/download61.html>)

5.1.4 Modificadores de fricción metálicos

Los modificadores metálicos pueden ser añadidos a los materiales de fricción para realizar una multitud de funciones. Las adiciones de polvo metálico de cobre (Punto de fusión ≈ 1083 ° C) o latón (Cu: 0 - 50% de Zn), es decir, metales o aleaciones más blandas que el material de superficie contraria, se hacen con frecuencia para aumentar el coeficiente de fricción dinámico y, por ende, tienden a ser utilizados más ampliamente en revestimientos para trabajo pesado. Al mismo tiempo, sus inherentemente malas características de formación de pastillas aseguran que las partículas de desgaste sueltas pueden ser reincorporadas en las superficies de contacto, reciclando efectivamente material perdido de otra manera. Esta característica se describe como el comportamiento de barrido.

Del mismo modo, debido a su alta plasticidad en general, especialmente la del cobre, su deposición en la superficie contraria agranda el área de contacto real entre el rotor y el estator facilitando la generación de la temperatura más uniforme al mismo tiempo que rompe las películas superficiales indeseables resistiendo la subsecuente deposición de los productos de descomposición del material de fricción.¹²

También son particularmente resistentes a la corrosión, pero lo más importante, reducen el gradiente de temperatura en la superficie del material de fricción a alta velocidad y alta carga (y por tanto alta temperatura) de desgaste.

El uso de metales de punto de fusión inferior, tales como aluminio (Punto de fusión ≈ 660 ° C) y zinc (Punto de fusión ≈ 420 ° C, punto de ebullición ≈ 908 ° C) se limita generalmente a las balatas de eje trasero, forros de tambor en el que el régimen de funcionamiento es considerablemente más suave. Sin embargo, éste no es siempre el caso y, de hecho, la inclusión de zinc en las pastillas de frenos contribuye significativamente a la recuperación del desempeño de fricción.

Como es el caso con modificadores de fricción de cerámica, se ha observado que el efecto del tamaño de partícula y la combinación de tamaños de partícula de los modificadores de fricción

¹² EURAC. *Materiales de fricción*. [Consulta: 11 de Enero del 2016] Obtenido de Boletín técnico 00010433: (<http://www.eurac-group.com/download61.html>)

metálicos tienen un efecto significativo sobre las propiedades del material de fricción, especialmente el desgaste. El enlace de partículas pequeñas ($<100\ \mu\text{m}$) y partículas grandes ($>200\ \mu\text{m}$) aumenta la densidad de carga, lo que impide la pérdida prematura de partículas más pequeñas.

5.1.5 Lubricantes sólidos

Una amplia variedad de lubricantes sólidos se puede encontrar en las formulaciones de material de fricción NAO comerciales. Generalmente, éstos pueden incluir grafito, disulfuro de molibdeno (MoS_2), trisulfuro de antimonio (Sb_2S_3), y en menor medida, los sulfuros de plomo, estaño y zinc.

Los lubricantes sólidos son una clase distinta de modificador de fricción que ayudan en la formación de la capa de tercer cuerpo (*TBL – Third Body Layer*) que actúa en la interfaz de fricción. Así mismo, proporcionan estabilidad de fricción sobre intervalos dados de temperatura interfacial, reducen el desgaste del componente material de fricción del cual se derivan. En relación a los intervalos de temperatura sobre el cual los lubricantes individuales siguen siendo eficaces, pastillas con alta energía por lo general contienen una combinación que mantiene selectivamente sus efectos en todo el régimen de funcionamiento permisible.

Una desventaja con la adición de lubricantes sólidos a las pastillas de fricción es su efecto perjudicial sobre la capacidad de soporte de carga del material compuesto, un efecto que se compensa parcialmente a través de la proporción de fibra de refuerzo añadida al material.

5.1.6 Modificadores de fricción abrasivos

Las partículas abrasivas pueden añadirse a una formulación de material de fricción con el fin de alcanzar un mayor nivel de fricción dinámica. A fin de que tales materiales sean capaces de generar un incremento en el nivel de fricción cuando se combina con el hierro fundido gris. Las partículas abrasivas también sirven para limpiar el disco, su acción abrasiva asegura la homogeneidad (tanto en la naturaleza y en espesor) de la fundamental TBL (capa de tercer cuerpo).

Aunque los modificadores de fricción abrasivos presentan muchas propiedades comunes, por ejemplo, todos son prácticamente insolubles, ligeramente básicos, exhiben una alta dureza a temperatura elevada, tales adiciones son críticas, siendo extremadamente sensible a la naturaleza química, dureza, resistencia, tamaño, a la morfología, a la distribución y a la fracción de volumen.

Los abrasivos utilizados comúnmente incluyen alúmina (Al_2O_3 - tanto fusionada como calcinada), sílice (SiO_2 - cuarzo, tridimita o cristobalita, arena y silicio IV óxido), magnesia (MgO - periclasa mineral), magnetita (Fe_3O_4), óxido de cromo (Cr_2O_3 - óxido, sesquióxido verde crómico cromo o cromo óxido III), carburo de silicio (SiC - carborundo) y silicato de circonio (ZrSiO_4 o $\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$ - arena de circón), etc. Los modificadores de fricción abrasivos suelen ser de una forma muy pura.¹³

5.1.7 Cargas inorgánicas

Es la parte de relleno inorgánico de un material de fricción, lo que representa el constituyente inorgánico importante de forros de freno de NAO, es generalmente una combinación de minerales triturados, relativamente baratos, los más importante de los cuales se describen a continuación.

Barita o baritina es una forma mineral de BaSO_4 . La adición de una carga de barita a formulaciones NAO está destinada a reducir el desgaste de alta temperatura y aumentar la densidad del producto, siendo el propio material relativamente blando (y por tanto exhibe características abrasivas bajas) y químicamente inerte.

Otras cargas minerales comúnmente recetadas incluyen arcilla china (carbonato de calcio; CaCO_3 , piedra caliza molida o bacaladilla) o sílices finamente divididos, que a su vez ofrecen estabilidad térmica a bajo costo. La mezcla de materiales de carga inorgánicos incorporados en una formulación de material de fricción también puede incluir acondicionadores de pH como

¹³ GM Engineering staff. (1969). *General motors engineering staff test procedures for the laboratory evaluation of brake lining materials*, Publicación de ingeniería no. A-2604.

hidróxido de calcio, tales adiciones están destinadas a mantener el pH global con el fin de evitar la corrosión en el rotor.

La vermiculita es un compuesto de tipo mica que puede ser categorizado no sólo como una carga inorgánica, sino también como un lubricante sólido leve (ya que su estructura es esencialmente similar a una placa) e incluso como un agente de refuerzo fibroso.

5.2 Matriz de RPN's¹⁴

En la industria automotriz se emplea algo conocido como AMEF, Análisis del Modo y Efecto de la Falla (*FMEA*) la cual es una técnica donde se realiza un análisis profundo y detallado de los modos de falla potenciales relacionados con las funciones principales del sistema. En este documento, se identifican los controles actuales y acciones adicionales para reducir los riesgos asociados. Dicha metodología fue incorporada en el análisis de los químicos ya que la inspección y pruebas de los materiales dependen de la funcionalidad de los compuestos, es decir, de su Severidad, Sensibilidad y Detectabilidad.

- Severidad: Qué tan alta es la funcionalidad de la materia prima para la fabricación y el desempeño del producto final.
- Sensitividad: Qué tan diferentes son las propiedades de la materia prima de los diversos proveedores, basado en las diferencias en el proceso de fabricación del compuesto.
- Detectabilidad: Cuán eficaz es el laboratorio y los métodos de prueba para detectar diferencias en la mezcla de fricción relevantes a las propiedades de la materia prima.

La fórmula para calcular el Número de prioridad de riesgo es la siguiente:

$$\text{Número de prioridad de riesgo (RPN)} = \text{Severidad} \times \text{Sensitividad} \times \text{Detectabilidad}$$

Para evaluar los valores de severidad, sensitividad y detectabilidad se debe considerar la puntuación la tabla 2 según aplique el criterio de la sustancia química.

¹⁴Risk Priority Number, número de prioridad de riesgo.

Tabla 2. FMEA¹⁵ Análisis del Modo del Efecto de la Falla

Puntuación	Severidad ¿Qué tan grave sería el efecto si el producto químico fuera diferente?	Sensitividad A partir de los conocimientos existentes ¿cuán diferente es una sustancia química de diferentes proveedores o especificaciones?	Detectabilidad ¿Qué tan efectivas son las pruebas de laboratorio para detectar el efecto?
1	Sin efecto notable de las características del producto.	Todas las fuentes muestran funcionalidad similar. Los productos son productos químicos a granel o materias primas con estándares internacionales o especificaciones bien establecidos. Los procesos son idénticos.	Los efectos funcionales de los químicos pueden ser fácilmente detectados con técnicas de laboratorio estándares.
3	Leve efecto sobre el rendimiento del producto que sería difícil de detectar por ejemplo, el cambio en el rendimiento de desgaste o sutil cambio en las propiedades de fricción.	La materia prima son productos químicos a granel, tienen estándares internacionales o especificaciones bien establecidas, pero no directamente relacionados con el desempeño de fricción. Los Procesos tienen partes en común, pero no son idénticos.	Los efectos funcionales pueden ser fácilmente detectados con un estándar de laboratorio y análisis del banco de pruebas.
5	El efecto sería detectable por el usuario, por ejemplo, cambio del promedio observable en el desgaste y en la eficacia del frenado.	Las fuentes son muy similares y las diferencias en las especificaciones del producto están bien documentadas. Los Procesos son comunes.	Los efectos funcionales pueden ser detectados con estándares de laboratorio y las pruebas de dyno ¹⁶ .
7	El efecto sería notable por todos los usuarios y sería considerar por ejemplo inaceptable la mala sensación del pedal o aumento en el desgaste.	La fabricación es diferente y las especificaciones no están bien establecidas y existen diferencias significativas en la tecnología de fabricación.	Los efectos funcionales son difíciles de detectar con el laboratorio establecido y los métodos de prueba.
9	Seguridad crítica, si los químicos generan diferente fricción por ejemplo frenos debajo de los requisitos legales.	Todas las fuentes son únicas, se tienen diferencias importantes en el proceso de fabricación. Definición limitada del producto.	No existe una técnica establecida para detectar la diferencia funcional entre las fuentes o especificaciones

¹⁵ *Fail Mode Effect Analysis*, análisis del efecto del modo falla.

¹⁶ En la prueba de “Dyno” se monta la balata sobre un caliper y se simulan diferentes ciclos de frenado

A continuación, en la tabla 3 se muestra un ejemplo de la ponderación dada a las materias primas con base en la tabla de evaluación de riesgo del material. Siendo la resina uno de los compuestos con mayor número de prioridad de riesgo.

Tabla 3. Evaluación de riesgos de materiales

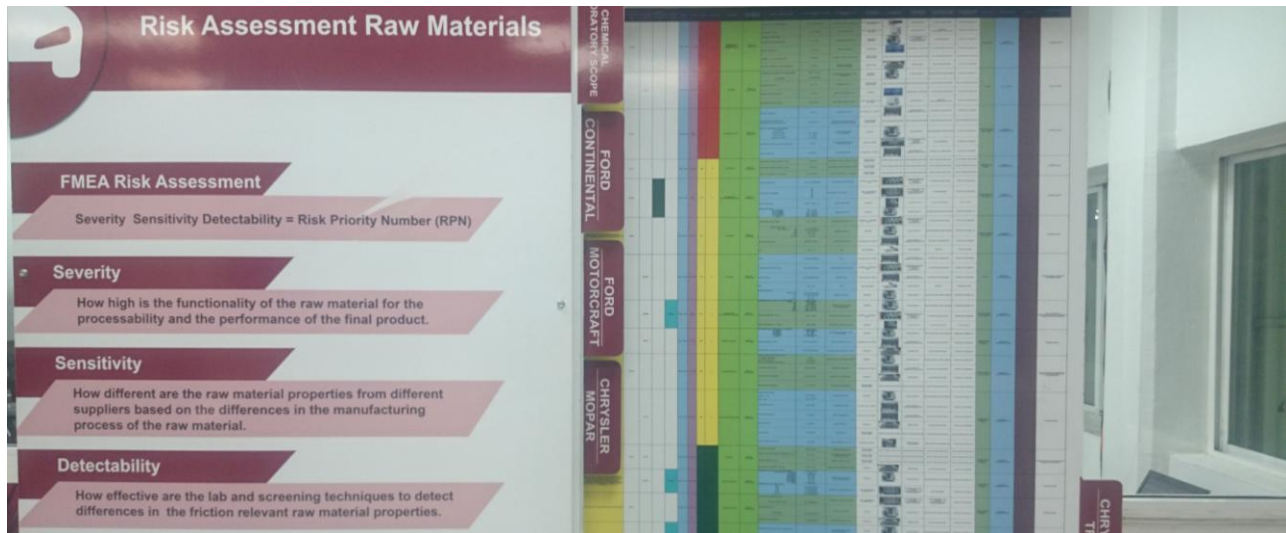
Ejemplo de Químicos	Severidad	Sensibilidad	Detectabilidad	RPN
Resina	9	9	5	405
Grafito natural	5	7	7	245
Fibra de vidrio	5	6	6	180
Fibra metálica	5	5	7	175
Grafito sintético	5	5	5	125
Fibra aramida	5	4	4	80
Oxido de magnesio	3	5	5	75
Cobre	5	3	3	45
Zinc	5	3	3	45

Después de la evaluación, cada químico se colocó de acuerdo a su valor de RPN en 5 categorías diferentes como se indica en la tabla 4.

Tabla 4. Clasificación de materiales por categorías

Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Categoría 5
< 50	51 - 100	101 - 200	201 - 250	> 250
Polvo de Aluminio	Aramida	Fibra de celulosa	Sulfuros minerales	Alúmina
Baritina	Negro de humo	Polvo de fricción	Fibras minerales	Compuesto lubricantes
Polvo de latón	Mineral de cromo	Fibra metálica	Grafito natural	Resina
Polvo de bronce	Fibra de vidrio	Mullita	Carburo de silicio	Caucho
Arcilla	Compuestos de hierro	Fibra natural	Titanatos	
Polvo de cobre	Oxide de magnesio	Grafito sintético	Zirconia	
Polvo de hierro	Coque de petróleo			
Caolín	Sílice			
Mica (silicato mineral)				
Polvo de estaño				
Vermiculita				

Dentro del laboratorio se instaló una ayuda visual que permite a los clientes comprender el proceso de evaluación de la materia prima (ver fotografía 1). Así mismo se desarrollaron matrices específicas para cada mezcla, con la información de la formulación, código y descripción de la materia prima, proveedor, número de prioridad de riesgo y categoría, instrucción de trabajo, insumos, y condiciones de almacenamiento del químico.



Fotografía 1. Ayuda visual de evaluación de materia prima (matriz y fotografía creación de la autora)

Como ejemplo, en la figura 10 se muestra una porción aumentada de la matriz de arriba.



CHEMICAL DESCRIPTION	Gcode	RPN	Category	Name of compound	Rev. Level	CHEMICAL ANALYSIS			COMPRESSED AIR VACUM LIQUID NITROGEN ELECTRICITY	WORK INSTRUCTION FOR TEST METHOD	
						PARTICLE SIZE					
						d95	HORIBA LA-950				
					d50					COMPRESSED AIR VACUM DRAIN ELECTRICITY	WORK INSTRUCTION FOR TEST METHOD
					d10						

Figura 10. Extracto de ayuda visual de evaluación de materia prima (creación de la autora)

5.3 Equipos de prueba

Para la evaluación de las diferentes materias primas la autora junto con los ingenieros del centro de desarrollo en Alemania, analizaron su clasificación y grupos funcionales de químicos considerando la matriz de número de prioridad de riesgo.

5.3.1 Área superficial de las fibras

Puede afectar el proceso de mezclado, ya que dicta la resistencia adecuada en el producto terminado. En la fotografía 2 se muestra el equipo de prueba que consta de dos celdas, una de preparación de muestra al lado izquierdo y una de ensayos, al lado derecho.



Fotografía 2. Analizador de área superficial Nova 2000e (fotografía de la autora)

5.3.2 Prueba de densidad a granel para fibras

Uno de los métodos populares de prueba consiste en utilizar una probeta para establecer una densidad a granel. Se pesan 100 g de material y se vierten en la probeta con el fin de conocer el volumen que ocupan.

5.3.3 Pruebas que se hacen a las resinas

Las resinas fenólicas utilizadas en la fabricación de forros de freno suelen tener las especificaciones como esta:

- Análisis Pantalla (Tamaño de partícula): 98 % a través de una malla 200
- Tiempo de curado en placa caliente: 25 - 40 segundos @ 160 °C
- Flujo en placa de inclinada: 35 - 44 mm
- Punto de fusión 75 - 90 °C

5.3.3.1 Tamaño de partícula

La prueba de tamaño de partícula es importante ya que una resina fina se distribuirá mejor durante el proceso de mezclado, y no dependerá tanto del flujo durante el proceso de prensado y

curado ya que se distribuirá uniformemente al mezclarse con el resto de los compuestos, en la figura 3, se observa el equipo empleado.



Fotografía 3. Analizador de tamaño de partícula Horiba (fotografía de la autora)

5.3.3.2 Tiempo de curado en placa caliente

Es un estudio de control de calidad, que no se relaciona mucho con el tiempo necesario en la prensa para completar el curado, pero que puede dar alguna indicación de cómo el material se comporta en la prensa.

Por ejemplo, si una resina cura a los 40 segundos en la placa caliente, fluirá por un período de 25 segundos aproximadamente. Esta información sirve para determinar los respiraderos (*breathings*), para dejar salir los gases que se generan.

Al mismo tiempo, un largo tiempo de curado cubre mejor las áreas de la superficie resultante al unir los ingredientes con mayor fuerza y da larga vida al producto terminado. En la fotografía 4, del lado izquierdo se muestra la platina de calentamiento y a la derecha el controlador de temperatura.



Fotografía 4. Platina de calentamiento Gel Instrument AG -TC-4 (fotografía de la autora)

5.3.3.3 Flujo en placa inclinada

Da una idea del grado en que la resina dentro de la mezcla cubre el resto de los ingredientes. Es una medida de cómo la resina fluye. Cuanto más largo sea el caudal en milímetros, es mejor el recubrimiento de las partículas y es más fuerte y resistente al desgaste del producto terminado. La fotografía 5, muestra el dispositivo para flujo dentro del horno con una inclinación a 60° requerido en el método de prueba.



Fotografía 5. Dispositivo para fluidez de resina y horno de calentamiento OF-02 (fotografía de la autora)

5.3.3.4 Punto de fusión

Éste también da una indicación de cómo se comporta la resina que se cura durante el proceso de prensado. Indica la temperatura a la cual la resina se funde y empieza a fluir. Ver figura 6.



Fotografía 6. Equipo de índice de punto de fusión Electrothermal (fotografía de la autora)

5.3.4 EDX para compuestos metálicos

La “espectrometría por fluorescencia de rayos X” una técnica de química analítica la cual se utiliza para hacer determinaciones cualitativas y cuantitativas de los elementos contenidos en una muestra. En 1912, el físico H.G.J. Moseley demostró la relación que existía entre la longitud de onda de las líneas espectrales de los rayos X con el número atómico de los elementos, fundando así las bases del análisis cuantitativo y cualitativo por la espectrometría de los rayos X.

Existen dos métodos diferentes para hacer estas determinaciones: el primero es conocido como “dispersión de longitud de onda” y al segundo se le conoce como “energía dispersiva”. En la fotografía 7 se muestra el espectrómetro de fluorescencia de rayos X por energía dispersiva.



Fotografía 7. Espectrómetro de fluorescencia de rayos X Shimadzu (fotografía de la autora)

Para realizar una medición espectral por el método de energía dispersiva, ocupamos una fuente de alimentación de alto voltaje junto con un tubo de rayos X y una mesa porta muestras. Hay que radiar la muestra con el tubo de rayos X para producir los espectros característicos de la muestra, el equipo incluye un detector de la energía de la radiación espectral. Como resultado, obtendremos un gráfico que en el sentido del eje de las abscisas muestra energía dispersiva, y en el eje de las ordenadas, la cuantificación de los fotones recibidos por el detector en cada uno de los diferentes elementos detectados.

5.3.5 Pruebas que se hacen a los grafitos

Los abrasivos en carbones y grafitos pueden conducir a inaceptables problemas de desgaste, tanto en los frenos de tambor como en los de disco. Con el grafito es importante saber exactamente lo que se compra (es decir, que el proveedor realmente le esté vendiendo a uno grafito y no coque o negro de humo, por ejemplo). El negro de humo y el coque (carbón amorfo), tienen el mismo

arreglo atómico que el grafito, pero en general son considerados impuros, y por tanto de menor calidad. Hay materiales que se comercializan como el grafito que a menudo no son muy diferentes al coque de petróleo calcinado.

5.3.5.1 Prueba de humedad y volatilidad

Para validar que el material sea grafito se realiza una prueba de humedad y volatilidad sometiendo la muestra durante 2 horas a $105^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$; la pérdida de peso se calcula como el porcentaje de humedad y materia volátil.

5.3.5.2 Contenido de cenizas

El grafito es calentado a $950^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$ por lo general alrededor de 3 horas, hasta que todo el material combustible haya sido quemado dentro de una mufla como la de la fotografía 8.



Fotografía 8. Mufla de calentamiento Thermoscientific (fotografía de la autora)

5.4 Estado de laboratorio

El laboratorio sufrió diversas transformaciones con base en las necesidades de espacio, suministros y llegada de nuevos equipos.

5.4.1 Estado del laboratorio en 2013, antes de la llegada de la autora

En la tabla 5, se muestran los principales equipos que debe tener un laboratorio de prueba de la calidad de la materia prima de la formulación de una balata. En la última columna se indica si tal equipo se encontraba o no en el laboratorio antes de la llegada a él de la autora de este trabajo.

En la fotografía 9, se muestra el laboratorio de control de calidad, donde se observan equipos para hacer sólo pruebas físicas. En el año de 2013 solo había tres equipos para pruebas químicas.



Fotografía 9. Laboratorio en el año 2013(fotografía de la autora)

Así mismo, se muestran los equipos mínimos para un laboratorio químico, y se puede observar que en él había menos de la cuarta parte de los equipos requeridos.

Tabla 5. Listado de equipos existentes en el laboratorio durante el año 2013, antes de la llegada de la autora

Prueba	Nombre del equipo	Existente
Pérdida de peso	Balanza de humedad Sartorius MA-35	Sí
Viscosidad	Viscosímetro Brookfield de 0 a 50000 cps	Sí
pH	pH-metro	Sí
B-time	Platina de calentamiento	No
	Horno a 300°C	No
Flujo inclinado	Conómetro de 0 a 1hr	No
	Block de aluminio para estabilizar temperatura	No
Análisis de pantalla	Equipo Retsch / Tamices	No
Humedad	Horno a 300°C con vacío 0 - 30Hg	No
Distribución de tamaño de partícula	Horiba LA-950	No
Extracción de acetona	Behr Unit	No
Volumen aprovechado	STAV 3000	No
Área superficial	Quantachrome Nova II	No
Contenido de cenizas	Mufla a 1200°C	No
XRF	Spectro Xepos (Shimadzu)	No
Masa volumétrica	Probeta / Cronómetro	No

5.4.2 Laboratorio en el 2014, a la llegada de la autora

Algunas de las tareas de la autora fue buscar proveedores de los equipos, pedir cotizaciones, pedir autorización del gasto y asignación del presupuesto a los directores del corporativo. Los costos aproximados de cada equipo se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Lista de costos de equipos nuevos requeridos (USD)

	Prueba	Equipo	Costo (USD)
1	Pérdida de peso	Balanza de humedad Sartorius MA-35	Existente
2	Viscosidad	Brookfield Viscometro 0 a 50000cps	Existente
3	pH	pH-metro	Existente
4	B-time	Hot Plate (according to DIN 16916)	\$5,300
5	Flujo inclinado	Horno a 300°C / Cronómetro Block de aluminio	\$14,000
6	Análisis de pantalla	AS 200	\$3,800
7	Humedad	Horno a 300°C Vacío 0 - 30Hg	\$4,900
8	Distribución de tamaño de partícula	Horiba LA-950	\$70,000
9	Extracción de acetona	Soxhlet 4 sets	\$2,600
10	Volumen aprovechado	STAV II	\$2,600
11	Área superficial	Quantachrome Nova 2000e	\$27,000
12	Contenido de cenizas	Mufla a 1200°C	\$8,000
13	XRF	EDX720HS	\$89,000
14	Masa volumétrica	Probeta / Cronómetro	\$1,000
Total de inversión:			\$228,200

En cuanto al manejo del equipo, los proveedores incluían en la cotización, la capacitación en el manejo del equipo que vendían. Por ejemplo, instalación, calibración, verificación y

programación del equipo. La autora recibió esta capacitación en cada uno de los equipos; sin embargo, la parte más importante de su formación, la adquirió en una estancia de un mes dentro de un centro de desarrollo en la ciudad de Bad Camberg, cerca de Frankfurt, en Alemania. En la figura 11 se muestra el certificado de capacitación con el listado de las principales pruebas revisadas.



Bad Camberg, 17.06.2014

Certificate

This is to certify that Ms. Alejandra del Águila Rodríguez has undergone training in the laboratory in Bad Camberg from the 26th of May until the 13th of June 2014.

The following topics were part of the training:

- General laboratory procedures.
- H&S and good housekeeping in a laboratory environment.
- Tests according to the Global Work Instructions (GWI), including:
 - o Volatile loss, moisture, ash content and loss on ignition
 - o Inclined plate flow and B-time for resins
 - o Melting point
 - o Density measurement with paraffin coating and pycnometer
 - o X-ray fluorescence
 - o Particle size measurement
 - o Specific surface area (BET) and sieve analysis
 - o Acetone extraction
 - o Hexa content
 - o Wet volume for glass fibre
- Discussion of experimental results obtained on lab equipment in Tepo.
- Green belt project.
- Global raw material specifications.
- Localisation strategy for Mexican raw materials.

Throughout her stay, Alejandra has shown great interest in the topics discussed. She has achieved a good level of laboratory skills on top of the thorough analytical understanding of the procedures behind the analyses.

Her constant way of asking questions has shown her good understanding of the theoretical background of her work.

Her exceptional good language skills have made working with her a pleasure and have greatly helped in achieving the targets.

We have very much enjoyed having her working here with us and wish her all the best for the challenges in the day to day work that lie ahead of her in the laboratory in Tepo.

Federal-Mogul Friction Products GmbH
Zweigniederlassung Technik-Zentrum Bad Camberg


Ronald Reuter
Laboratory Manager


Birgit Schoemakers
Human Resources Business Partner

Federal-Mogul Friction Products GmbH · Zweigniederlassung Technik-Zentrum Bad Camberg
Otto-Hahn-Straße 26-28 · D-65520 Bad Camberg
Telef: 06434 / 9149 + Extension
Telefax: 06434 / 9149 + Extension
Registergericht: Amtsgericht Köln · HRB 39343
Geschäftsführer: Klaus Festerling, Holger Schaus
Bankverbindungen: Commerzbank Wiesbaden, Konto Nr.: 51 755 00 00 (BLZ 510 400 38)
USt-Id. Nr. DE 611153324

Figura 11. Certificado de entrenamiento en Bad Camberg, Alemania

En la fotografía 10, se muestra el estado del laboratorio de control de calidad en 2014. Ya se había adquirido varios de los nuevos equipos para hacer pruebas químicas, pero, como se puede observar, no se había considerado el tamaño de los equipos ni su distribución. El área destinada para el laboratorio no era la suficiente como se observa en la figura 12, por eso se ve muy poco espacio para los equipos, que lucen hacinados.



Fotografía 10. Laboratorio en el año 2014 (fotografía de la autora)

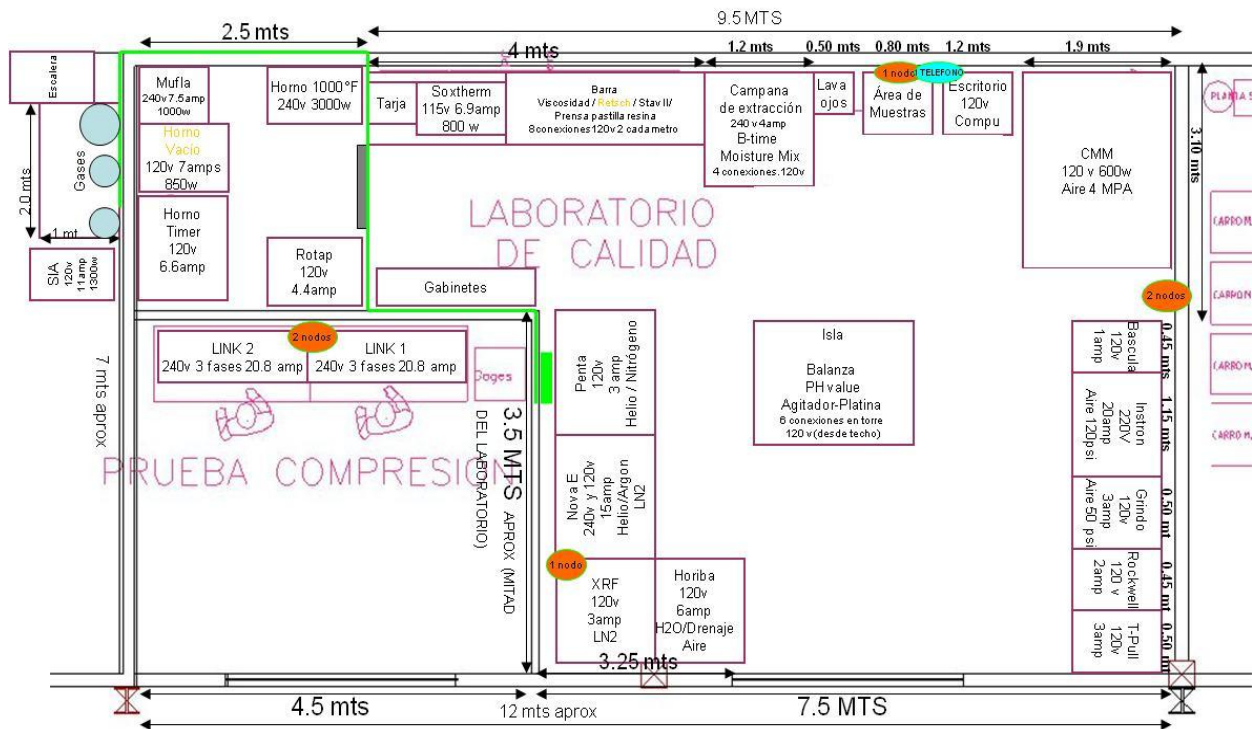


Figura 12. Plano de distribución del laboratorio en el año 2014 (creación de la autora)

5.4.3 Laboratorio en 2015

En 2015, la autora elaboró un diagrama de distribución de los equipos y solicitó, con base en él, se le asignara mayor espacio al laboratorio. En esa distribución, éste se dividía en tres áreas: una para los equipos de pruebas físicas, otra para aquéllos de pruebas químicas y una tercera para un cuarto de hornos para pruebas de humedad, calcinamiento para pruebas de cenizas y otras; en esta zona también se contemplaba ubicar una mufla. Además, pidió se le incluyera un cuarto de transición, para evitar la entrada al laboratorio del polvo del exterior, y para mantener su temperatura controlada. Dicha solicitud le fue concedida, pudiendo llevar a cabo la distribución que propuso.

En la fotografía 11 se muestra el aspecto del laboratorio de pruebas químicas después de esto cambios; en la fotografía 12 se muestra el de pruebas físicas y por otra parte en la fotografía 13 se muestra el área de hornos. El diagrama de distribución (*lay out*) se muestra en la figura 13.



Fotografía 11. Área de pruebas químicas (fotografía de la autora)



Fotografía 12. Área de pruebas físicas (fotografía de la autora)



Fotografía 13. Área de hornos (fotografía de autora)

5.4.4 Laboratorio en el año 2016

El laboratorio está equipado con 79 % más de equipos que en el año 2013 (ver figura 14).

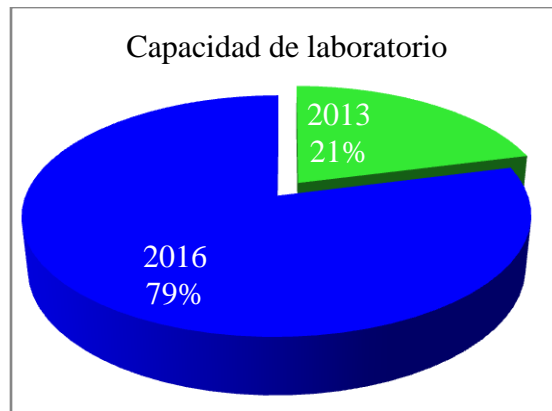


Figura 14. Gráfica de capacidad de laboratorio 2013 vs. 2016 (creación de la autora)

En el 2016 la autora definió un flujo específico con el área de inspección y recepción, para entregar las muestras de materia prima al laboratorio de pruebas químicas, con el fin de verificar la calidad de los compuestos recibidos, este diagrama se muestra en la figura 15.

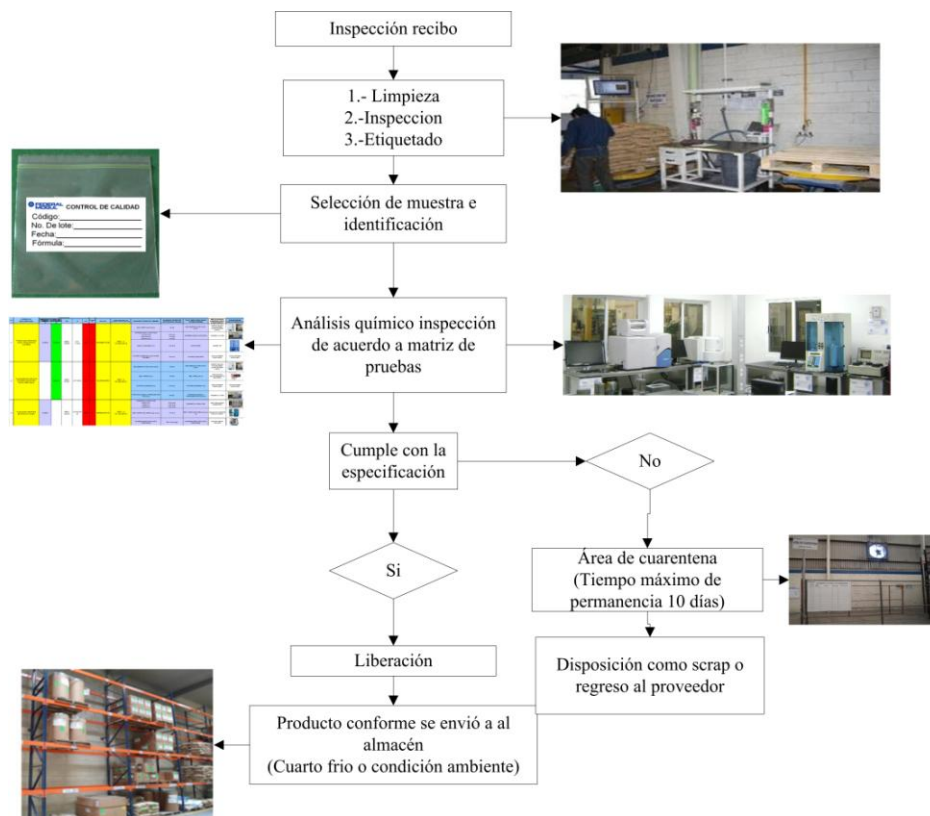


Figura 15. Diagrama de flujo de muestras de materia prima a laboratorio (creación de la autora)

5.5 Instrucción de trabajo

La autora elaboró las instrucciones de trabajo correspondientes para cada uno de los equipos instalados. En la figura 16 se muestra como ejemplo, algunos puntos de la instrucción de trabajo para uno de éstos, el EDX – Espectrómetro por fluorescencia de Rayos X. En estas instrucciones se detalla el propósito de la prueba, material y equipo necesarios, y el procedimiento punto por punto de cómo ejecutarla; también se incluye el correcto manejo de residuos.

INSTRUCCIONES DE OPERACIÓN Y AYUDAS VISUALES.

IMPORTANTE
Si el operador no tiene los conocimientos y experiencia necesaria, contacte al Ing. de Calidad o Auditor de turno.

PLAN DE REACCION
Si el producto esta fuera de los parámetros de calidad establecidos, el proceso debe ser detenido y el producto debe ser segregado e identificado, para posteriormente analizar las causas del problema.

1. Propósito.

Analizar la composición de materia prima y mezclas

2. Equipo.

- Espectrometro por fluorescencia de rayos X
- Camara con 8 portamuestras
- 16 portamuestras
- Copas para muestras de 32 mm de diametro exterior
- Hojas Mylar de 5 µm (0.000197 in) de espesor

3. Teoría.

La **“Espectrometría por fluorescencia de rayos X”** es una técnica de la Química analítica que se utiliza para hacer determinaciones cualitativas y cuantitativas de los elementos contenidos en una muestra

4 Procedimiento

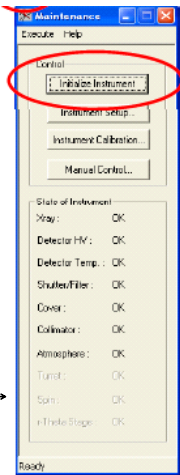
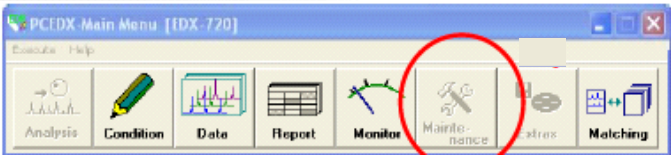
4.1 Revisar nivel de Nitrogeno en el Dewar (cantidad minima 1.5 Lt)

4.2 Encender el sistema de componentes en el siguiente orden:
a) EDX Cuerpo principal, primero convertidor y posteriormente el equipo XRF
b) Encender computadora

4.3 Localizar icono con archivo "PCEDX" en el escritorio y dar doble click para iniciar el software

4.4 Esperar de 15 a 30 min. a que el detector se enfrie con el Nitrogeno Liquido

4.5 Del menu principal dar clic en "Maintenance"



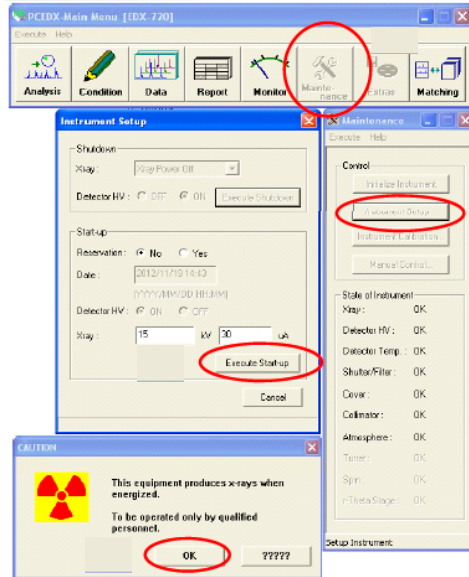
4.6 En el pantallade "Maintenance" dar clic en "Inicialize Instrument"

Figura 16. Instrucción de trabajo para el EDX- espectrómetro por fluorescencia de rayos X (creación de la autora)

4.7 En la ventana de "Instrument Setup" dar clic en el icono "Execute start-up"

4.8 Dar clic en "OK" en la ventana de precaución de Rayos X

4.9 Esperar de 15 a 30 minutos para que el tubo de rayos X se caliente



8. Resultados

8.1 Se espera una grafica como la mostrada en la imagen

Espectro de datos en tiempo real

El analisis puede ser pausado o detenido en cualquier momento

Progreso de medición

La pantalla de resultados es desplegada despues de que el an esta completo. Esta ventana puede ser cerrada ya que los datos se guardan automaticamente y pueden ser consultados en cualquier momento.

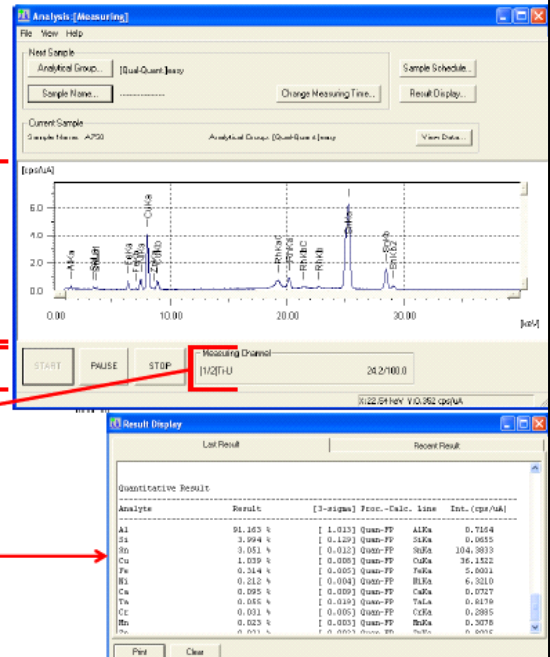


Figura 17. Instrucción de trabajo para el EDX- espectrómetro por fluorescencia de rayos X (creación de la autora)

5.6 Equipo de protección personal

Otra actividad de la autora de este trabajo consistió en verificar el cumplimiento de las normas de seguridad. Una de los puntos más importantes es el uso y manejo del equipo de protección personal (EPP) durante la ejecución de las pruebas químicas. El equipo de protección personal está diseñado para proteger a los empleados de lesiones serias o enfermedades en el lugar de trabajo, que puedan resultar del contacto con peligros químicos, reactivos, físicos, eléctricos, mecánicos u otros.

Además de caretas, gafas de seguridad, cascos y zapatos de seguridad, el equipo de protección personal incluye una variedad de dispositivos y ropa tales como googles, overoles, guantes, chalecos, tapones auditivos y equipo de respiración.

Dentro del laboratorio, es necesario portar equipo de protección personal para disminuir los riesgos contra la salud. Básicamente, se debe utilizar:

- Ropa de trabajo para protección: ropa de trabajo ajustada con resistencia a la rotura, con mangas ajustadas y sin partes salientes. No utilizar ni anillos ni alhajas, para protegerse del atrapamiento por parte de las piezas móviles de la máquina.
- Calzado de seguridad, para protegerse de piezas pesadas que pueden caer al suelo y de deslizamiento sobre un piso resbaloso.
- Redes para el cabello, para protegerse del atrapamiento por parte de las piezas móviles de la máquina.
- En trabajos especiales, debe utilizarse protección auditiva: a partir de 80 dB se debe portar protección auditiva para protegerse de daños por ruido.
- Guantes protectores para proteger las manos de roces, pinchazos o heridas profundas, así como del contacto con superficies calientes.
- Máscaras contra polvos, para protegerse del polvo en el aire que se respira.
- Gafas de protección para proteger la vista de piezas y materiales proyectados.

En la figura 18 se listan las pruebas realizadas en el laboratorio y se ilustra el EPP requerido para cada una de ellas.

5.7 Trabajo estandarizado

En la figura 19 se muestra una trayectoria para realizar pruebas a las resinas, realizada por la autora. Se tiene un flujo en “U” que optimiza el desplazamiento al llevar a cabo la ejecución de cada prueba, lo cual evita que haya tiempos muertos o movimientos innecesarios.

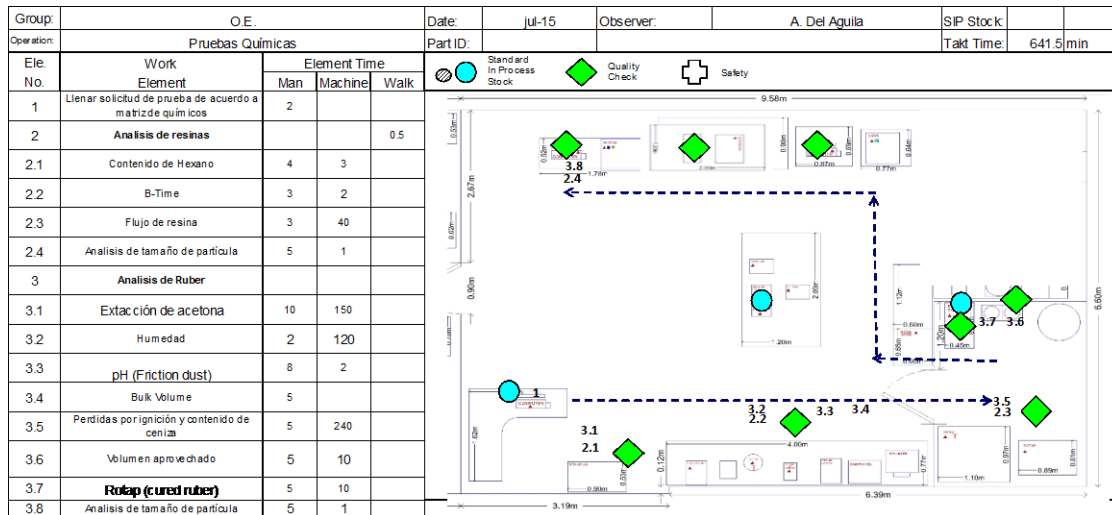


Figura 19. Trayectoria óptima de desplazamiento en el laboratorio para llevar a cabo las pruebas de las resinas (creación de la autora)

5.8 Estructura organizacional de laboratorio

Actualmente el laboratorio trabaja 24 horas al día durante los 365 días del año. La autora ocupa el puesto como Jefa de Laboratorio teniendo a su cargo once personas como se observa en la figura 20.

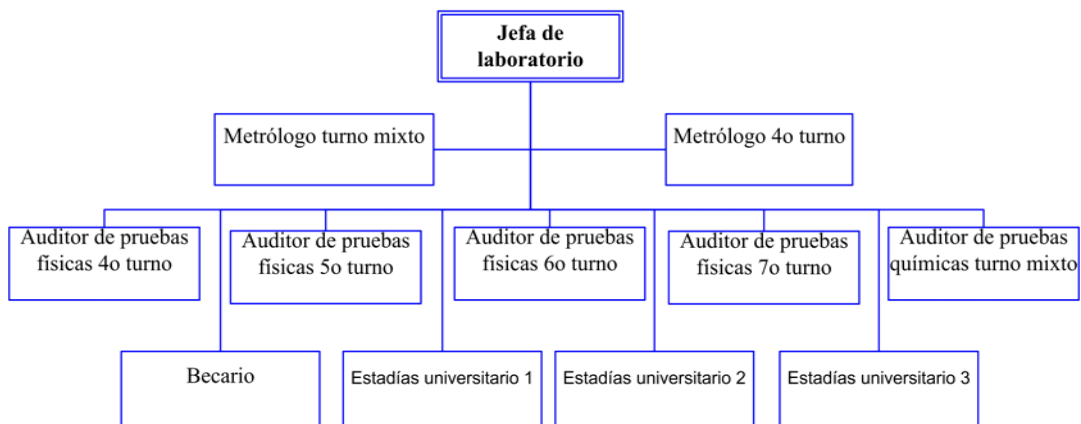
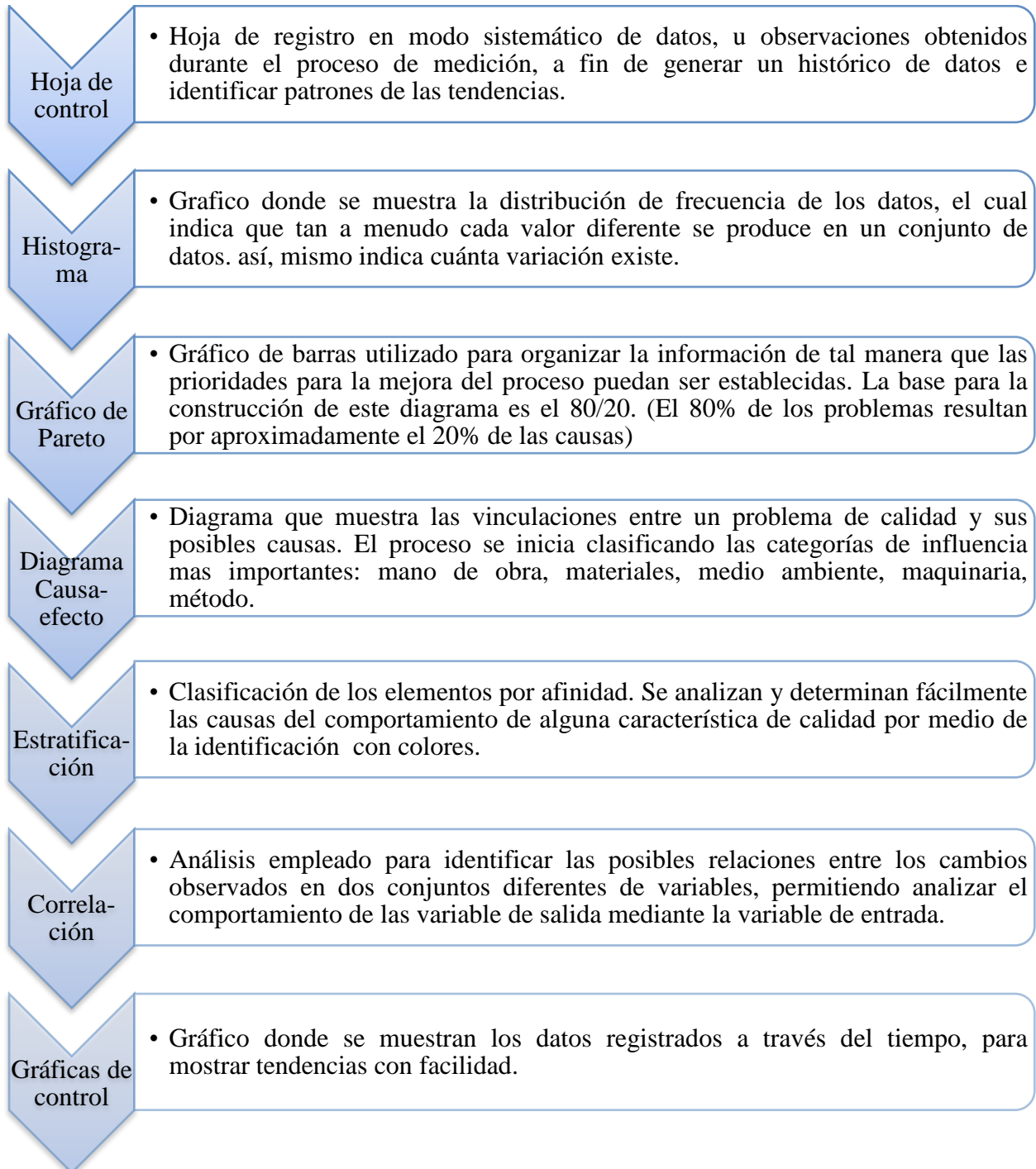


Figura 20. Organigrama de laboratorio (creación de la autora)

5.9 Herramientas de calidad para análisis de resultados

El análisis de los resultados obtenidos en las pruebas es importante para entender la situación actual del producto ya que nos permite saber qué es lo que está pasando en el proceso. Existen diferentes herramientas o técnicas enfocadas al análisis de los datos colectados para generar métricos e indicadores con el fin de evaluar la satisfacción del cliente y analizar problemas de calidad. Se destacan las 7 herramientas de calidad:



5.10 Ventaja competitiva

El laboratorio se ha convertido en una ventaja competitiva para la empresa. Es un pilar importante para conseguir nuevos negocios y alcanzar los objetivos de la empresa. En Enero del 2016 fue anunciado que la empresa de autopartes había sido ganadora del Premio Nacional de Calidad de México en reconocimiento por los sistemas de calidad de clase mundial, competitividad global y éxito centrado en los clientes. En dicho proyecto la autora tuvo participación junto con el equipo de la planta.

La fotografía 14, fue tomada al término de la ceremonia de premiación, en la Residencia de los Pinos.



Fotografía 14. Entrega del Premio Nacional de la Calidad en la Residencia de los Pinos (la autora a la derecha)

6 Conclusiones

La implementación del laboratorio químico cubrió los nuevos requerimientos específicos de los clientes, lo cual nos convirtió en un proveedor de pastillas de frenado confiable con un sistema de calidad robusto.

Se definieron los equipos de prueba necesarios para analizar los constituyentes químicos que forman la pastilla de fricción con el fin de asegurar su función nominal en el producto terminado. A través de la evaluación de prioridad de riesgo de los materiales se construyó un matriz con la formulación de cada cliente lo cual facilitó el entendimiento de los clientes sobre el proceso de análisis de los químicos recibidos en el área de inspección y recibo. También facilitó la selección y adquisición de los equipos correctos después de realizar el plan financiero y cotizaciones.

La planeación de la elaboración del diagrama de distribución de equipos, adquisición de equipo y métodos de análisis fue consistente con los requerimientos del cliente y las exigencias de la industria automotriz, en cuestión de calidad para la aplicación de los métodos de análisis en donde se relacionan los procedimientos que muestran la forma en que se realiza el trabajo.

Con la implementación de los métodos de ensayo se determinó que las instrucciones de trabajo cumplen con las especificaciones y con las normas nacionales e internacionales, estas están referidas en cada uno de los procedimientos de ensayo.

Así mismo, en los procedimientos se indica la forma y el cómo se realiza cada método de análisis. Se ha establecido la forma de asegurar el continuo mantenimiento de la infraestructura con la capacidad de realización del ensayo. La verificación, validación y actividades del laboratorio químico, están definidos a través del trabajo estandarizado para cada grupo de materiales.

La reestructuración e implementación del laboratorio químico es la secuencia de una estandarización para alcanzar el nivel como centro de desarrollo a futuro. También se dio importancia al equipo de protección personal necesario para proteger a los empleados de lesiones o enfermedades en el lugar de trabajo.

El control de la entrada de las materias primas es una parte esencial del control de calidad con el fin de asegurar que el producto final tenga un buen desempeño en las propiedades físicas.

La implementación de un laboratorio químico dentro de la planta de frenos mostró ventajas excepcionales:

- 1) Disminución de los costos de envío de muestras
- 2) Reducción del pago a laboratorios externos, por ejemplo las pruebas de XRF cuestan alrededor de 100 USD por muestra.
- 3) Reducción del tiempo para analizar resultados; si una muestra es enviada al extranjero el tiempo de entrega de resultados varía entre 20 y 30 días.
- 4) Desarrollo de proveedores en sitio
- 5) Reducción de costos en compras de nuevos compuestos de origen nacional "*Fingerprint*"

7 Bibliografía

- Aabrego, M., Molinos, S., & Ruíz, P. (2000). *Equipos de protección personal*. ACHS.
- Anderson, A. E. (1980). *Wear of Brake Materials*. ASME, 843-857 pp.
- Antill, James M. (1999). *Métodos de la ruta crítica y sus aplicaciones a la construcción*. 2ª Edición. México, D.F: Limusa, 451pp.
- Blau, Peter J. (2001). *Compositions, Functions, and Testing of Friction Brake Materials and Their Additives*. [Consulta: 10 de abril del 2016]. Obtenido de Metals and Ceramics Division: <http://web.ornl.gov/~webworks/cppr/y2001/rpt/112956.pdf>
- Briscoe, BJ; Ramírez, I. & PJ Tweedale. (1998) *Friction of aramid fibre composites*. I.Mech.E. (Institution of Mechanical Engineers). No. de documento: C452/88.
- Dominguez, Esteban J. (2012). *Sistemas de transmisión y frenado*. 2ª Edición. México: Editor Editex, 420 pp.
- EURAC. *Materiales de fricción*. [Consulta: 11 de Enero del 2016] Obtenido de Boletín técnico 00010433: (<http://www.eurac-group.com/download61.html>)
- Feigenbaum, A. (1983). *Control Total de Calidad*. 3ª Edición. Estados Unidos: McGraw-Hill Book Company.
- GM engineering staff. (1969). *General Motors engineering staff- tests procedures for the laboratory evaluation of brake lining materials*, Publicación de ingeniería no. A-2604.
- INA. (2015). *Industria Nacional de Autopartes*. [Consulta: 15 de abril del 2016]. Obtenido de la Industria automotriz en México: http://www.ina.com.mx/informacion_macroeconomica/
- Meyers, Fred E. (2000). *Estudios de tiempos y movimientos*. México: Pearson Education
- Nicholson, G. (1995). *Facts about Friction*. Winchester: P&W Price Enterprises, Inc.
- Pilato, Louis. (2010). *Penolic Resins: A century of progress*. Heidelberg, Alemania: Springer, 445pp.
- PROMEXICO. (2015). Diagnóstico de autopartes. [Consulta: 17 de Marzo del 2016]. Obtenido de Industria de autopartes: http://mim.promexico.gob.mx/work/sites/mim/resources/LocalContent/69/2/Diagnostico_autopartes_vf_2013.pdf
- Robinson, JW; Mogensen, GE; Packard, KD & J. Herman. (1990). *Ceramic fibers for friction applications*, Automotive Engineering, Volumen 98, Numero 12, paginas 47 – 52.

- Saldaña, M. (2003). *Como aprovechar la globalización*. 1ª Edición. México: Vila Editores.
- Shibata, K.; Goto, A.; Yoshida, S.; Azuma, Y. & K. Nakamura. (1993). *Development of brake friction material*, SAE (Society of Automotive Engineers) Documentación técnica No. de Serie: 930806.
- S/A. Automotive Meetings. [Consulta: 14 de Marzo del 2016]. Obtenido de Industria Automotriz en México, un sector clave: <http://www.automotivemeetings.com/mexico/index.php/es/industria-automotriz-en-mexico>
- S/A. E-Auto, boletines técnicos. [Consulta: 18 de Abril del 2016]. Obtenido de Frenos de disco: <http://e-auto.com.mx/engew/index.php/85-boletines-tecnicos/3506-frenos-4-frenos-de-disco>
- S/A.. *E-Auto, boletines técnicos*. [Consulta: 9 de Mayo del 2016]. Obtenido de partes de la balata y su ensamble en el automovil: <http://e-auto.com.mx/engew/index.php/85-boletines-tecnicos/3506-frenos-4-frenos-de-disco>.
- S/A. *Federal-Mogul Corporation*. [Consulta: 11 de Febrero del 2016]. Obtenido de Our Company History: <http://www.federalmogul.com/en/OurCompany/CompanyOverview/History/>
- S/A.. *Federal-Mogul Corporation*. [Consulta: 22 de Febrero del 2016]. Obtenido de Environment, Health and Safety: <http://www.federalmogul.com/en/OurCompany/EHS/>
- S/A. *Plenco*. [Consulta: 2 de Junio del 2016]. Obtenido de Resina Fenólica: <https://www.plenco.com/phenolic-novolac-resol-resins.htm>
- S/A. *Toxic Substances and Disease Registry*. [Consulta: 15 de Febrero del 2016]. Obtenido de Asbestos Health Effects: http://www.atsdr.cdc.gov/asbestos/asbestos/health_effects/index.html