

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



**CARACTERIZACION DE MATERIALES NANOESTRUCTURADOS Y SU
APLICACIÓN EN PIEZAS PARA LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ.**

CASO DE ESTUDIO

PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCIÓN: ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE POLÍMEROS

PRESENTA:

ARELY MONSERRAT LÓPEZ MARTÍNEZ

CENTRO DE INFORMACIÓN

19 DIC 2012

RECIBIDO

SALTILLO, COAHUILA

SEPTIEMBRE 2012

{ 1 }

117

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES NANOESTRUCTURADOS Y SU
APLICACIÓN EN PIEZAS PARA LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ.

CASO DE ESTUDIO

PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCIÓN: ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE POLÍMEROS

PRESENTA:

ARELY MONSERRAT LÓPEZ MARTÍNEZ

ASESOR:

M.C. Ma. Luisa López Quintanilla

CENTRO DE INFORMACIÓN:
19 DIC 2012

RECIBIDO

SALTILLO, COAHUILA

SEPTIEMBRE 2012

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES NANOESTRUCTURADOS Y SU
APLICACIÓN EN PIEZAS PARA LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ.

CASO DE ESTUDIO

PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA
OPCIÓN: ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE POLÍMEROS

PRESENTA:

ARELY MONSERRAT LÓPEZ MARTÍNEZ

EVALUADORES:


M.C Enrique Díaz Barriga Castro

SALTILLO, COAHUILA


Dr. José Manuel Mata Padilla

CENTRO DE INFORMACIÓN
19 DIC 2012
SEPTIEMBRE, 2011

RECIBIDO

En memoria a mi padre Pedro (+) que desde el cielo estás
riendo mi sueño culmina veo tu sonrisa, aun que no
encuentro la respuesta porque te fuiste, gracias por todo lo
que me diste, Dios ha querido llamarte junto a él, ahora
Todos los días estás conmigo.

A mi madre Maria Guadalupe, recuerda que te quisiera con
Todo mi corazón, gracias por darme la vida, por apoyarme,
cuidarme, porque siempre pienso en ti en tu cariño, que me
fortalece para enfrentar la vida.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico recibido por medio de los proyectos de especialidad en Química Aplicada de Análisis y Evaluación en Polímeros

Al Centro de Investigación en Química Aplicada, por permitirme realizar la especialidad, ya que gracias a mi estancia he aprendido muchas cosas para desempeñarme profesionalmente. Gracias por proporcionarme sus instalaciones.

Este trabajo no lo habría realizado sin el apoyo y paciencia de mi M.C. Ma. Luisa López Quintanilla, ya que además de asesorarme, siempre me alentó y apoyó con sus consejos para facilitar la realización de mi trabajo, gracias por su dedicación, consejos, amistad y sobre todo por su tiempo para contribuir a mi formación profesional.

A la Dra. Esmeralda Saucedo por su ayuda en los estudios de Microscopia de Barrido, Al encargado de la biblioteca Lic. Juan Uriel Peña Castillo y al Q.F.B José Luis de la Peña Solís por su apoyo en la realización de búsquedas bibliográficas.

DEDICATORIA

Te doy gracias Dios mío, por mostrarme los caminos y ver lo que deseas para mi, gracias señor mío por todo lo que me has prestado a lo largo de mi vida, gracias por conservarme la vida, por darme techo, abrigo , por mi trabajo, Gracias y te pido siempre Fé, para mirarte en todo , esperanza para no desfallecer, dame caridad para amarte siempre y amar a los que me rodean, Dame señor lo que tú sabes y no se te pedir, ten mi corazón dispuesto hacer tu santa voluntad.

A mi familia, por todos los momentos felices, por apoyarme en mi educación. A mis padres Pedro López Aguilar y Maria Guadalupe Martínez López, que gracias a ellos e llegado a cumplir mi sueño, por darme la vida, por darme su amor cada uno a su manera, porque son lo más grande que dios me regalo.

Agradezco a mis hermanos, Pedro y María Guadalupe, juntos pasamos tantos momentos de felicidad, momentos difíciles, por los todos los momentos juntos, por que los dos me han dado su ejemplo de tenacidad, y me han enseñado a enfrentar cualquier circunstancia de la vida, por los bonitos recuerdos de niños, los quiero mucho hermanos.

A quien se ha convertido en mi mejor amigo, compañero y novio, Carlos Julián Hernández, por darme tu amor por entenderme en cada etapa de mi vida por más difícil que fuera, por caminar juntos siempre de la mano , por ser ya parte de mi.

ÍNDICE

CONTENIDO	PÁGINA
CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo.....	2
1.2. Justificación.....	3
CAPITULO 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 Nanomateriales y el futuro automotriz.....	4
CAPÍTULO 3. TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN.....	7
3.1 Espectroscopiainfrarroja FTIR.....	7
3.2 Difracción de rayos X (XRD).....	9
3.3 Microscopía y análisis de nanoestructuras.....	11
3.4 MicrosopíaópticaMOP.....	12
3.5Microscopía electrónica de barrido (SEM/EDX).....	13
3.6 Microscopía electrónica de transmisión en barrido (STEM).....	14
3.7 Microscopía electrónica de transmisión(TEM).....	15
3.7.1 Características de materiales nanoestructurados por TEM.....	17
3.8 Análisis térmico.....	18
3.8.1 Calorimetría diferencial de barrido DSC.....	19
3.8.2 Análisis termogavimétrico (TG).....	21
CAPÍTULO 4.- ESTADO ACTUAL DE CONOCIMIENTO.....	25
4.1 Nanotecnología automotriz.....	25
4.2 Investigación sobre nanotecnología aplicada en la industria automotriz.....	28

4.2.1	Caracterización.....	31
4.2.2	Resultados y discusiones.....	34
4.3	Desgaste de piezas automotrices y aspectos ambientales al utilizar nanocompuestos para la industria.....	34
4.3.1	Caracterización.....	35
4.3.2	Resultados y discusiones.....	41
4.4	Nanopartículas de platino estudiadas por TEM.....	41
4.4.1	Caracterización.....	42
4.4.2	Resultados y discusiones.....	46
CAPÍTULO 5.- CONCLUSIONES.....		49
CAPÍTULO 6.- ÁREAS DE OPORTUNIDAD Y PERSPECTIVAS A FUTURO.....		51
CAPÍTULO 7.- RECOMENDACIONES.....		52
CAPÍTULO 8.-REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....		53

CAPÍTULO 1.-INTRODUCCIÓN

En los últimos años los materiales a escala manométrica han sido objeto, de un notable interés, tanto desde el punto de vista de la investigación básica como de la investigación aplicada. Las investigaciones actuales en nanotecnología se centran en objetivos básicos, como la síntesis y caracterización de nanoestructuras [1].

La nanotecnología es el estudio, diseño, creación, síntesis, manipulación y aplicación de materiales, aparatos y sistemas funcionales a través del control de la materia a nano escala. Cuando se manipula la materia a la escala tan minúscula de átomos y moléculas, muestran fenómenos y propiedades totalmente nuevas. Por lo tanto, científicos utilizan la nanotecnología para crear materiales y sistemas novedosos a bajo costo con propiedades únicas.

La nanotecnología no está limitada a la química, la biología, la física, ciencia de los materiales, electrónica, y auto-ensamblaje. Las nanoestructuras tienen la capacidad de generar nuevas características y proporcionar nuevas prestaciones más eficientes, debido a las dimensiones de los nanomateriales, tomando en cuenta propiedades físicas y químicas como: estabilidad, dureza, conductividad, reactividad, sensibilidad óptica, etc. En escala de nanómetros, las propiedades de la superficie pueden llegar a ser más dominantes que las propiedades del material a granel.

Las nanoestructuras a base de nanotubos han sido estudiadas para aplicación en la industria automotriz, sin embargo las partículas de nanotubos (CNT), hojas de grafeno, y nanoarcillas, siguen siendo de interés para mejorar las propiedades mecánicas, térmicas y eléctricas.

Una serie de nano-materiales, incluyendo nanopartículas metálicas y nanopolvos, líquidos magnéticos, nanoadhesivos, nanopolímeros compuestos, y nanorecubrimientos (antiniebla, anti-desgaste de reflexión, y resistente a ralladuras), se están introduciendo para su aplicación potencial en el mercado de la industria automotriz [2]

1.1 OBJETIVO

Realizar una búsqueda bibliográfica sobre algunas técnicas instrumentales para la evaluación de materiales nanoestructurados a base de polímeros con diferentes tipos de nanopartículas para aplicaciones en piezas para la industria automotriz.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El sector automotriz desde hace años sigue con la necesidad de realizar grandes esfuerzos para encontrar la mejor solución a los problemas tan diversos en la vida diaria por ejemplo: ahorro de agua y energía, control de la contaminación ambiental, ahorro de materias primas e innovación de productos a menor costo con propiedades satisfactorias. Una de las razones más importantes, es la mejora continua de las piezas terminadas, o la generación de nuevos materiales y procesos efectivos para la obtención de una mayor producción.

Por lo tanto se siguen realizando estudios para optimizar procesos, y obtener autopartes con mejores propiedades físico-mecánicas, y también en cuanto al ahorro de costos de producción, mediante el uso de materiales nanoestructurados, que éstos a su vez, promueven mayor desempeño en los automóviles.

La tecnología ha avanzado de tal forma que los nanocompuestos siguen teniendo mucho auge en los últimos años. Actualmente en México la industria automotriz se muestra con mucho interés en seguir desarrollando nanotecnología, debido a la eficiencia de las piezas respecto a las propiedades finales de sus productos.

En el presente trabajo se investigaron nanotubos de carbono, nanopolvos, hojas de grafeno, nanoarcillas en sistemas nanoestructurados a base polímeros, sin embargo se considera de vital importancia seguir con el estudio y preparación, de nuevos materiales, así como su caracterización y aplicación en productos automotrices innovadores para competir con productos convencionales, y disminuir o evitar las importaciones.

CAPÍTULO 2.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Nanomateriales y el futuro automotriz

Las investigaciones que se han realizado en todo el mundo, a partir de la combinación de los materiales actuales con nanomateriales (nanoarcillas, nanotubos de carbono, nanofibras, nanogranos, etc.) han llevado a crear un compuesto a base de nanotubos de carbono que es 100 veces más resistente que el acero y seis veces más ligero que el aluminio, aportando propiedades físico-mecánicas que los hacen más eficientes para mejorar los recubrimientos (corrosión, fricción, dureza etc.).

Sin lugar a duda los vehículos de transporte, se están volviendo el objetivo de centros de investigación y desarrollo para crear dispositivos electromecánicos a la escala nanométrica que permitan el desarrollo de nuevos sensores para automóviles.

En las aplicaciones que ya son una realidad como los recubrimientos de pinturas con nanocargas, el incremento del costo está del 20 - 40%. Para otras aplicaciones que aún no están en el mercado o están en fase de industrialización, es muy difícil proporcionar costos, puesto que estos dependen de la demanda y como es lógico, está todavía sin definir, sin embargo se espera que los costos se reduzcan sensiblemente a medida que los volúmenes de fabricación aumenten.

La nanotecnología es la manipulación de la materia a escala nanométrica que ha sido uno de los descubrimientos de mayor trascendencia en nuestros días, tanto, que hay quienes consideran que ha dado comienzo a una nueva revolución industrial.

Toyota ha sido una de las industrias automotrices más avanzadas en el desarrollo con nanotecnología. Hace más de una década introdujo en la industria automotriz un compuesto de nylon con nanoarcillas en las bandas de distribución, logrando mayor estabilidad y resistencia al calor.

Por su parte, la automotriz estadounidense General Motors (GM), también ha introducido nanomateriales en diversos componentes de algunos de sus modelos. Concretamente en el año 2002, utilizó 3% de nanoarcillas y termoplásticos (TPO) en las camionetas Safari y

Chevrolet Astro, con lo que obtuvo una reducción de 3 a 21% del peso de esos componentes.

Por otro lado la industria alemana Volkswagen, no se queda atrás, ya que ha trabajado en investigación en materiales, buscando el sueño de tener superficies libres de polvo al interior y exterior de los autos, además ha iniciado proyectos para lograr superficies antipolvo e impermeables; además, están aplicando nanocompuestos en parabrisas, ventanas y espejos para evitar que se empañen bajo ciertas condiciones climatológicas y busca crear un cristal que automáticamente elimine 'el efecto de horno' que ocurre cuando el coche se estaciona bajo el sol.

Pero más allá de los avances estéticos y de desempeño que está aportando la nanotecnología a la industria automotriz y aeroespacial, están los beneficios de la seguridad, pues al contar con materiales más resistentes e inteligentes será posible evitar accidentes. Significa entonces que la adopción de esta nanotecnología irá acompañada no sólo de menores costos de producción, sino de confort y sobre todo seguridad, ya que además sus componentes serán más amigables con el medio ambiente.

Los investigadores mexicanos, mencionan que, el factor más importante para el uso masivo de nanomateriales es la producción de nanoestructuras (toneladas por año o por mes) y el estudio de los efectos toxicológicos de algunos de éstos para su aplicación segura. El primer aspecto, menciona que se han tenido avances, pues cada vez hay más empresas en el mundo desarrollando infraestructura para que esto sea posible. [3]

Por otro lado los efectos en la salud son muy importantes, actualmente hay foros de discusión, donde los gobiernos y empresas de varios países se han preocupado por regular el uso de nanomateriales para evitar daños a los usuarios de productos hechos a base de estos materiales.

Investigadores aseguran que la mayoría de las empresas del campo automotriz, en mayor medida sus proveedores más avanzados están tratando de identificar aplicaciones que mejoren su ventaja competitiva mediante los nanomateriales, ya que dentro de algunos años

esa será la diferencia entre ser y no ser proveedores de industrias tan vanguardistas como la automotriz y aeroespacial. [3]

Dados los altísimos costos de desarrollo de esta tecnología tan novedosa, la estrategia que las empresas más pequeñas deberían seguir para no perder la inercia tecnológica y que ofrecen las nanotecnologías, tendría que ser la de buscar alianzas que permitan repartir los costos de desarrollo, por ello, es necesario compartir los riesgos y buscar convenios con universidades y centros tecnológicos relacionados con la industria automotriz para tratar de llevar las innovaciones hacia la aplicación y evitar hacer estudios en caminos que ya han sido recorridos.

Asimismo, considerar que los gobiernos y dependencias responsables del desarrollo industrial, deberían reconocer la oportunidad competitiva que ésta tecnología representa para la industria estratégica de la automoción: Una buena fórmula es crear o impulsar apoyos para que las empresas se dediquen a la investigación y el desarrollo en aspectos relacionados con la nanotecnología.

CAPÍTULO 3.- TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN

Existen muchas técnicas de caracterización que permiten evaluar de alguna forma los parámetros necesarios para determinar el desempeño de materiales nanoestructurados los cuales son utilizados en la elaboración de piezas automotrices.

A continuación se describen algunas de las técnicas instrumentales más aplicadas para la evaluación de dichos materiales nanoestructurados

3.1 Espectroscopia Infrarroja(FTIR)

El espectrofotómetro infrarrojo es una de las herramientas más importantes para observar espectros vibracionales, para la determinación de los enlaces químicos en compuestos orgánicos e inorgánicos. La radiación infrarroja corresponde a la parte del espectro electromagnético situada entre la región visible y del microondas. La espectroscopia infrarroja tiene su aplicación más inmediata en el análisis cualitativo: detección de las moléculas presentes en el material. En la zona del espectro electromagnético IR con longitudes de onda del infrarrojo medio (entre 4000 y 1300 cm^{-1}) se suele observar una serie de bandas de absorción provocadas por las vibraciones entre únicamente dos átomos de la molécula. Estas vibraciones derivan de grupos que contienen hidrógeno o de grupos con dobles o triples enlaces aislados. La amplitud de estas oscilaciones es muy pequeña, entre $0,01$ y $0,1\text{ \AA}$ y su frecuencia de vibración es relativamente elevada, de 10^{12} a 10^{14} Hz. Los equipos FTIR, basados en determinaciones interferométricas, someten a la muestra a la irradiación simultánea proveniente de la fuente IR policromática [3]. Asimismo se presenta en la Figura 1. Diagrama clásico de FTIR.

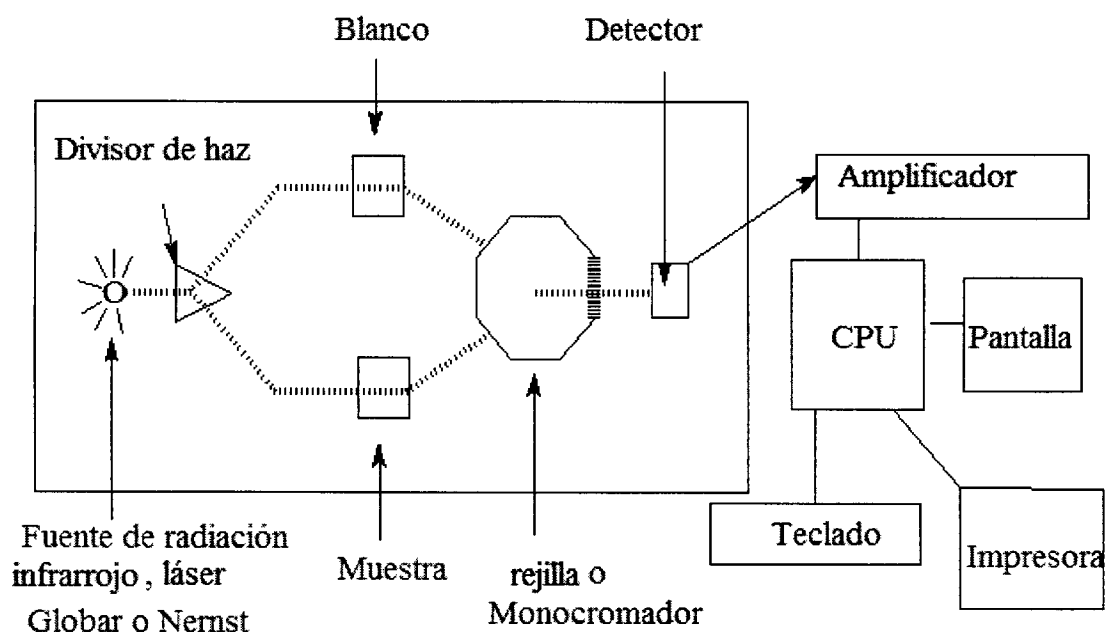


Figura 1. Principales Componentes del Infrarrojo
(Fundamentos de Química Orgánica. 181. 3)

Los espectrofotómetros clásicos y ampliamente difundidos, son los de “doble haz”. Están configurados con los siguientes componentes a) La fuente de radiación IR puede contener un láser (He-Ne) en los equipos modernos, o una cerámica contaminada con óxidos de Zirconio, Torio y Cesio, conocida como filamento de Nernst. b) El porta-muestra, puede ser según el propósito, para aceptar gases, líquidos y sólidos. c) El detector. Es otro componente importante en la configuración de un espectrofotómetro IR. Mide la energía radiante residual que emerge de la muestra y la compara con aquella que proviene de la celda llamada blanco.

La espectroscopia infrarroja se emplea fundamentalmente en química orgánica como método para la asignación funcional y caracterización de los componentes que forman parte de algún material, como se presenta en la Figura 2.

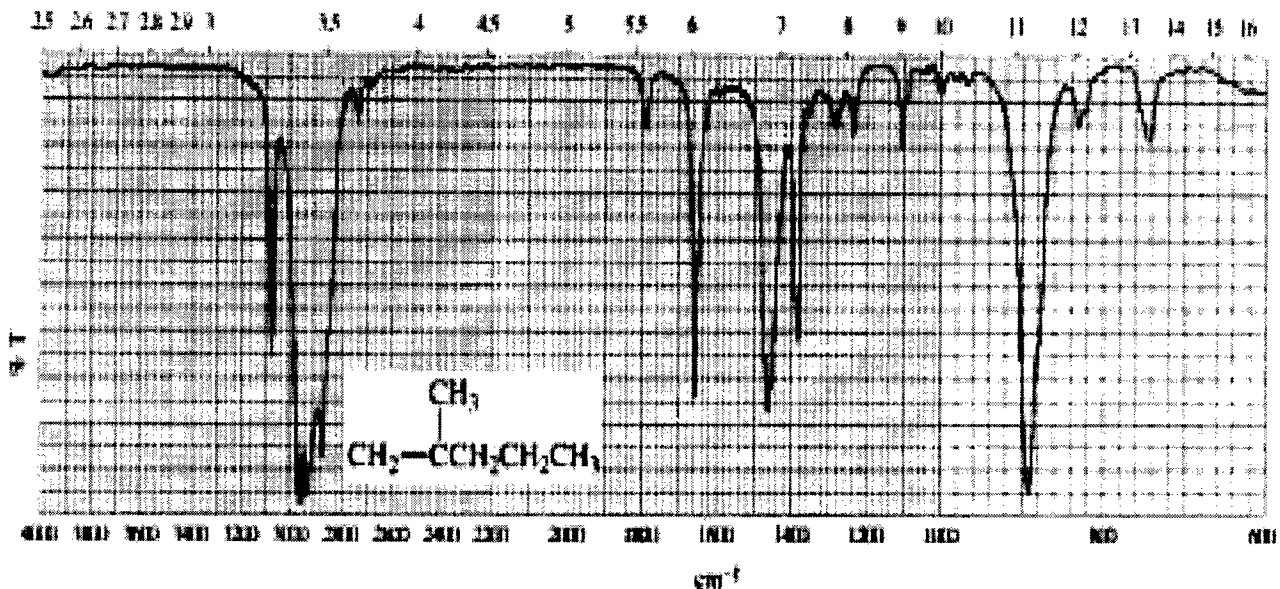


Figura 2. Espectro de Infrarrojo FTIR
(Fundamentos de Química Orgánica. 181. 3)

Figura 2. Muestra un ejemplo típico de un espectro infrarrojo donde el detector mide la energía que emerge de la muestra, transmitiéndola en un gráfico, las diferencias encontradas por el detector. En el eje "x" se grafica la frecuencia de onda vibratoria que la longitud de onda de la energía genera por el instrumento en el eje "y" y grafica el % de transmitancia.

3.2 Difracción de rayos X (XRD)

Mediante esta técnica se puede obtener un espectro de difracción que representa la estructura cristalina del material. Los rayos X pueden ser dispersados por el mismo cristal, debido a que está formado por redes de átomos regulares que actúan como planos de difracción muy finos.

Esta técnica se ha empleado en diversos campos y ha desempeñado un papel de gran importancia en la física teórica, en el estudio de materiales, incluye las teorías

cristalográficas, empleando métodos de difracción para la identificación de sustancias cristalinas y así determinar su estructura [4].

Ley de Bragg Figura 3 la cual representa a los cristales contruidos por familias de planos, mismos que actúan como espejos semitransparentes donde se hace incidir un haz de rayos X, el dispositivo que produce este fenómeno se llama rejilla de difracción. Los elementos de la rejilla son las partículas constituyentes del sólido y más precisamente sus electrones, que al recibir la radiación la emiten nuevamente haciendo las veces de nuevas fuentes de radiación. La condición para que esto ocurra es que las reflexiones estén en fase es decir, que la distancia viajada por el haz de rayos X sea un número entero de la longitud de onda, lo cual se cumple para un determinado ángulo conocido como ángulo de Bragg (θ), dando lugar a la siguiente relación conocida como Ley de Bragg:

$$n\lambda = 2d\text{sen } \theta$$

Donde:

λ es la longitud de onda de la radiación X utilizada y θ es el ángulo de difracción definido en el plano formado por el haz incidente. La reflexión de Bragg puede producirse únicamente para longitudes de onda $\lambda \leq 2d$. Por esta razón no se utiliza luz visible.

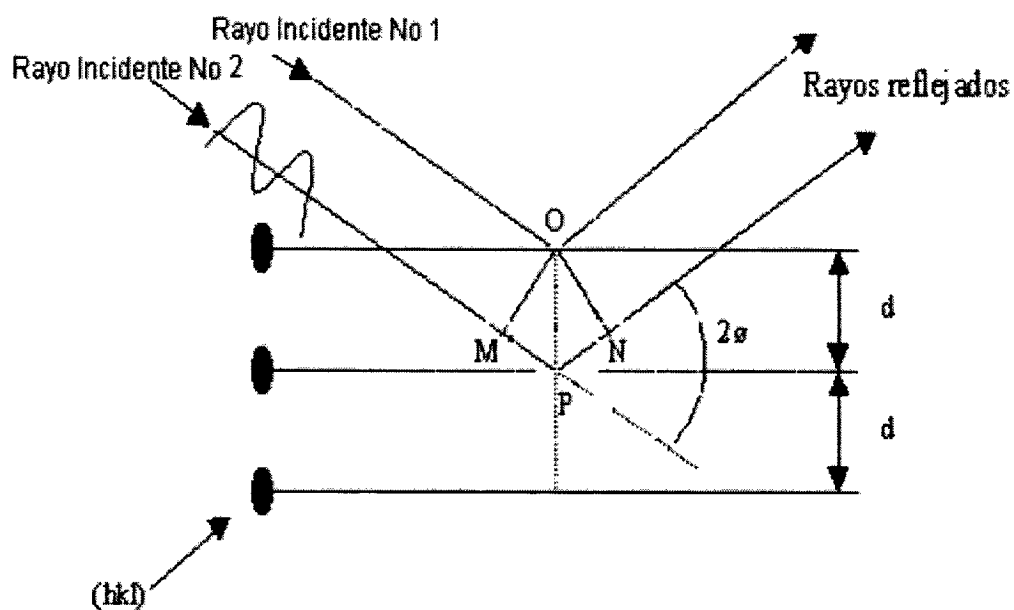


Figura 3. Esquema de un difractómetro básico de rayos X
 Curso sobre difracción de rayos X, elaborado por Instituto de Química-Física "rocasolano",
 Departamento de Cristalografía, CSIC (Madrid).

3.3 Microscopía y análisis de nanoestructuras

La **microscopía electrónica** (ME), es una de las técnicas más versátiles en la caracterización de nanoestructuras. En sus dos versiones, transmisión (TEM) y barrido (SEM), ha habido grandes avances en los últimos años. En cuanto a TEM, la técnica de transmisión ha logrado alcanzar la escala de los sub-angstroms (0.8 \AA actualmente, 0.5 \AA el reto de los próximos años), mientras que en la técnica de microscopía por barrido es del orden de unos cuantos nanómetros ($2\text{-}3 \text{ nm}$). En versatilidad, una y otra han logrado acoplar una gran variedad de técnicas complementarias, que podemos agrupar en dos tipos: las técnicas de difracción en el análisis estructural o cristalinidad (TEM) y las técnicas espectroscópicas en el análisis de composición atómica en el caso del (SEM). Interacciones del haz de electrones con los sólidos: La versatilidad del microscopio electrónico de barrido para el estudio de sólidos proviene de la amplia variedad de señales que se generan cuando el haz de electrones interacciona con el sólido. Las interacciones de un sólido con un haz de

electrones se pueden dividir en dos categorías: *interacciones elásticas* que afectan a las trayectorias de los electrones en el haz sin que se alteren significativamente sus energías e *interacciones inelásticas*, que resultan de transferir al sólido una parte o toda la energía de los electrones. El sólido excitado emite entonces electrones **secundarios**, electrones **retrodispersos** y electrones **auger**.

En el caso de TEM, debido a la gran energía de los electrones (60-300kV) y a que las muestras suelen ser sumamente delgadas (por debajo de los 70-200nm) la expansión lateral del haz es despreciable. Prácticamente podemos considerar que el volumen de interacción es el diámetro del haz de electrones por el grosor de la muestra. En cambio para SEM, las muestras suelen ser gruesas y la expansión lateral del haz dentro de ellas si es significativa; de tal modo que debe tenerse en cuenta para estimar el volumen de interacción, al igual que el alcance, que dependerá a su vez de la energía de los electrones, número atómico de los elementos de la muestra y su densidad.

3.4 Microscopia Óptica (MO)

Microscopia óptica es una técnica que nos permitir realizar una inspección a bajas magnificaciones. Actualmente el microscopio es un instrumento de uso cotidiano en laboratorios de diagnóstico y de investigación, como en este caso el análisis de piezas para uso automotriz.

El microscopio está compuesto por tres tipos de componentes, los cuales son mecánicos, ópticos y de iluminación, que se representa en la figura 4, que consta del recorrido de los rayos luminosos, en el sistema óptico del condensador y la desviación de los rayos luminosos oblicuos, en el microscopio de campo oscuro.

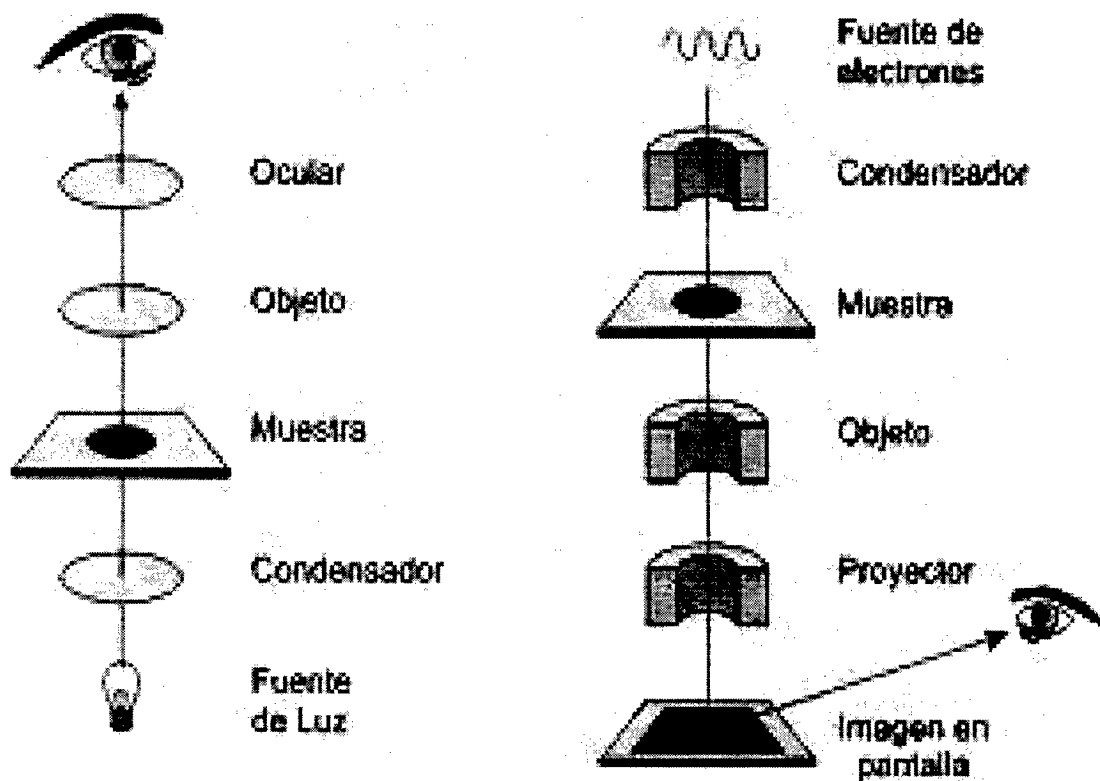


Figura 4. Sistema óptico
(Tomado de Gartner, L., Hiatt, J. (2002). Texto Atlas de Histología (95).

3.5 Microscopía electrónica de barrido (SEM /EDX)

En el microscopio electrónico de barrido, el haz de electrones atraviesa la columna y llega a la muestra. Un generador de barrido es el responsable de producir el movimiento del haz, de manera que barre la muestra punto a punto. De la interacción entre los electrones incidentes con los átomos que componen la muestra se generan señales, las cuales pueden ser captadas con detectores adecuados para cada una de ellas. El detector capta una señal y las convierte en una señal digital que es proyectada en un tubo de rayos catódicos (CRT). El barrido del haz está sincronizado con el barrido del CRT y produce una relación uno a uno entre puntos de la muestra y puntos en el CRT. Las principales utilidades del SEM son la alta resolución (1- 2nm), la gran profundidad de campo que le da apariencia tridimensional a las imágenes y la sencilla preparación de las muestras. Las imágenes pueden ser adquiridas en diferentes modos, es decir el microscopio electrónico de barrido puede estar equipado con diversos detectores, entre los que se pueden mencionar: un detector de electrones secundarios para

obtener imágenes de alta resolución , un detector de electrones retrodispersos que permite la obtención de imágenes de composición y topografía de la superficie, y un detector de energía dispersiva EDS que permite coleccionar los rayos X generados por la muestra y realizar diversos análisis obteniendo imágenes de distribución de elementos en superficies pulidas [5]. En la tabla 1, se presentan las principales características para cada uno de estos detectores.

Mediante el SEM se puede obtener morfología superficial de minerales, catalizadores, electro depósitos, adherencia fibra-matriz en polímeros, cambios morfológicos de materiales sometidos a tratamientos químicos, formas de cristalización de minerales, control de calidad de catalizadores industriales, morfología superficial interna de partículas poliméricas, etc.

Electrones Retrodispersos	Electrones Secundarios
<ul style="list-style-type: none"> • Alta energía • Proviene de 1µm • Son electrones de haz primario • Contraste depende de Z • Alto Z elementos brillantes 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor resolución • Interacción directa con el haz primario • Proviene de la muestra • Baja energía • Superficiales

Tabla 1. Características principales de electrones retrodispersos y electrones secundarios

3.6 Microscopía electrónica de barrido con modo transmisión (STEM)

La relevancia de la caracterización de barrido con modo transmisión, radica en su capacidad de determinar la morfología, tamaño y estructura cristalina de materiales en los niveles micrométricos y nanométricos, para posteriormente correlacionarla con sus propiedades fisicoquímicas, ópticas, magnéticas y electrónicas en el nivel macroscópico. Mediante esta técnica puede realizarse análisis químico en diferentes niveles y obtener la distribución de la composición química en la muestra desde un nivel micro hasta nanométrico [6].

3.7 Microscopía electrónica de transmisión (TEM)

Algunas de las características principales del TEM son las siguientes: La energía que se emplea del electrón está en un rango de energía entre 60-300 Kv (generalmente 100-200 KV) o 300 kV-3 MV en el caso de microscopios de alto voltaje (HRTEM). A su vez posee una fuente de electrones que produce un flujo monocromático de electrones. Los tipos de fuentes que emplea son: emisión termiónica con cátodo de filamento de tungsteno o cristal de LaB6 o de emisión de campo con filamento de tungsteno. El haz de electrones es focalizado por medio de dos lentes condensadoras que controlan el tamaño y el brillo del área de la muestra irradiada por el haz. Parte del haz de electrones es transmitido y focalizado por la lente objetiva. La distribución de intensidad de los electrones transmitidos pasa por tres o cuatro sistemas de lentes llegando a una pantalla fluorescente, que permite observar la imagen a una resolución de 1-3 Å [7]. En la figura 5. Se presenta una comparación de los diversos microscopios donde las lentes que focalizan la luz en el microscopio óptico son de vidrio o de cuarzo; las de los microscopios electrónicos son electroimanes. Tanto en el microscopio óptico como en el electrónico de transmisión, el rayo de iluminación atraviesa la muestra. En el microscopio electrónico de barrido, se refleja sobre la superficie de la muestra.

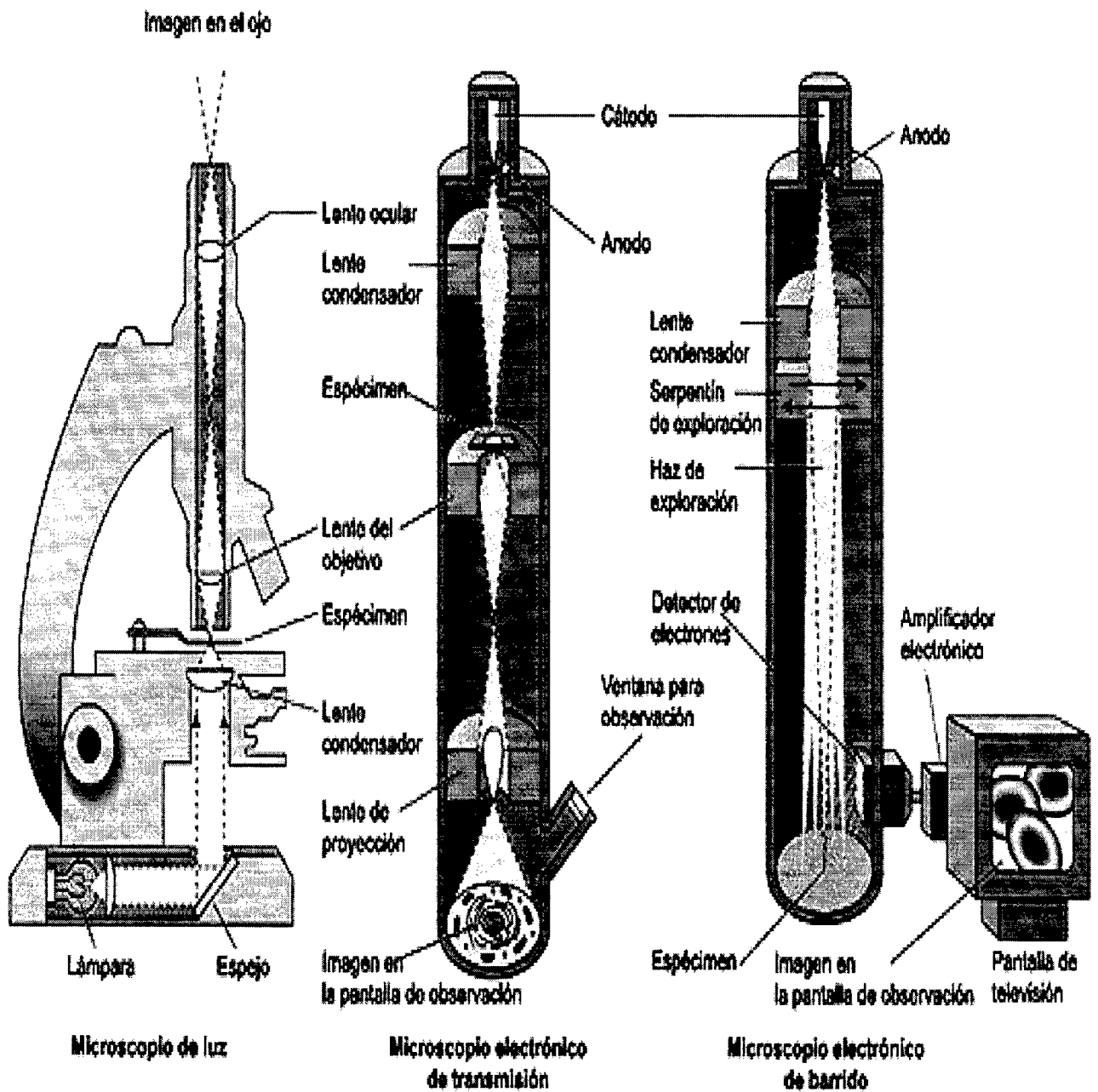


Figura 5. Comparación de los diversos microscopios; a) Microscopio Óptico, b) Microscopio electrónico de transmisión, c) Microscopio electrónico de barrido

(Tomado de Gartner, L., Hiatt, J. (2002). *Texto Atlas de Histología* (95).

3.7.1 Caracterización de materiales nanoestructurados por microscopía electrónica de transmisión.

TEM es una de las técnicas que más ha contribuido en la nanociencia y la nanotecnología en los últimos años. El desarrollo de materiales nanoestructurados ha tenido gran auge, por lo tanto, el uso de esta técnica de análisis avanzada es cada vez mayor. Incluye imágenes de campo oscuro de ángulo alto (HAADF), espectroscopia de dispersión de energía de rayos-X (EDS), Espectroscopia de pérdida de electrones (EELS) y microscopía electrónica de transmisión de alta resolución (HRTEM), todas estas técnicas son ampliamente usadas en desarrollo de nanomateriales, catalizadores, estudios biológicos, polímeros, semiconductores, cerámicos, metalurgia, recursos naturales, etc. El desarrollo de nuevos dispositivos electrónicos, han permitido que la microscopía electrónica se haya convertido en una de las herramientas más utilizadas en la actualidad para realizar un análisis a nivel atómico.

La principal ventaja de contar con este tipo de detectores, además de la resolución y la versatilidad en su operación, es que permite caracterizar materiales a escala nanométrica, por ejemplo, la composición química de una nanopartícula. Adicionalmente, se puede obtener mediante diferencia de contraste en la imagen, la composición química a resolución atómica identificando átomo por átomo en un arreglo cristalino.

La técnica STEM-EDS permite realizar mapeos químicos de nanopartículas, un ejemplo de ello es ilustrado en la Figura 6a, donde se muestra la distribución química de cada elemento. La cual incide sobre el haz hasta un tamaño de 0.1 nm permitiendo analizar la muestra punto por punto sobre el área seleccionada. La convergencia del haz sobre la muestra genera una dispersión electrónica de ángulo muy grande con respecto al haz central. Estos electrones dispersados a gran ángulo, conocidos como dispersión de Rutherford, son colectados en el detector de HAADF. Así los elementos más pesados dispersan fuertemente (mayor contraste) comparado con los elementos ligeros (menor contraste). Otra aplicación de la metodología HAADF se ilustra en la Figura 6 con una imagen de alta resolución de Si cristalino, un caso típico de una imagen obtenida con este detector.

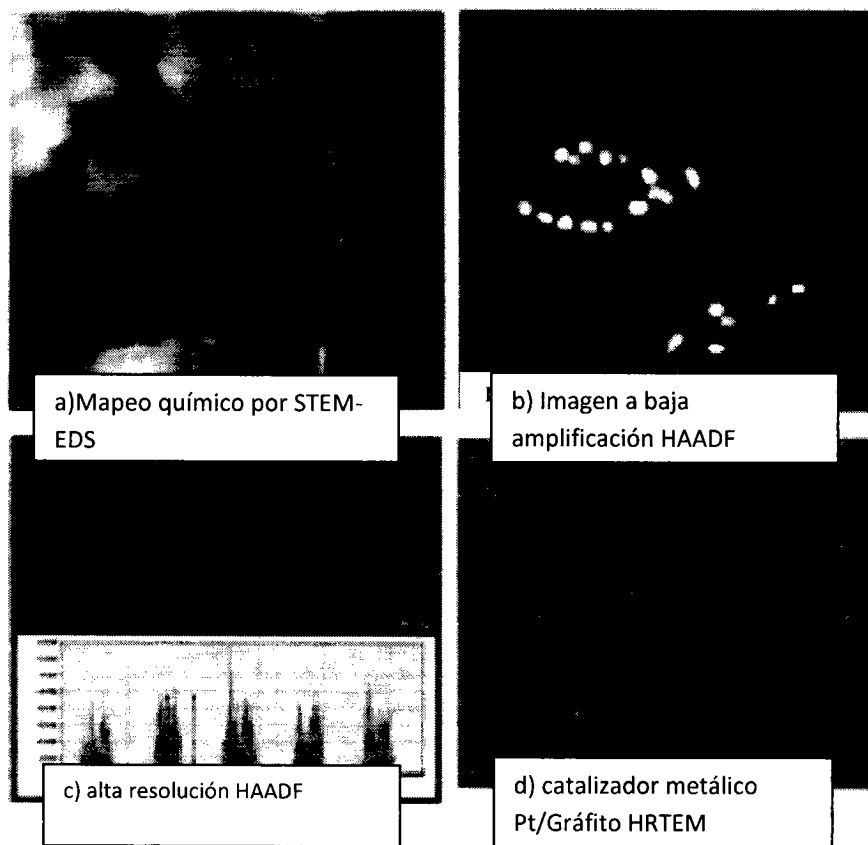


Figura 6. Micrografías con detector HAADF

3.8 Análisis Térmico

La definición generalmente aceptada de análisis térmico abarca al grupo de técnicas en la que se mide una propiedad física de un sistema (sustancia o un material) en función de la temperatura, mientras se le somete a un programa de temperatura controlado. Se pueden distinguir más de una docena de métodos térmicos que difieren en las propiedades medidas y en los programas de temperatura. Estos métodos encuentran una amplia aplicación tanto en el control de calidad como en investigación de productos farmacéuticos, arcillas y minerales, metales y aleaciones, polímeros y plásticos aplicados en autopartes.

Los efectos del calor sobre los materiales pueden ser varios y producir cambios en muchas de sus propiedades. En los análisis térmicos, los cambios de peso configuran la base de

termogravimetría (TG), así como también las transiciones térmicas presentes en el material por calorimetría diferencial de barrido (DSC).

Entre las técnicas de análisis térmico más comunes destacan: calorimetría diferencial de barrido (DSC), análisis termo gravimétrico (TG), análisis termomecánico (ATM), análisis térmico diferencial (ATD), análisis dinamomecánico (ADM), termodifractometría (TDX).

3.8.1 Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

La calorimetría diferencial de barrido permite el estudio de aquellos procesos en los que se produce una variación de entalpía y cantidad de energía absorbida (endotérmico) o cedida (exotérmico) por un sistema termodinámico como puede ser la determinación de calores específicos, puntos de ebullición y cristalización, pureza de compuestos cristalinos, entalpías de reacción y determinación de otras transiciones de primer y segundo orden.

Esta técnica se fundamenta en que se debe mantener el sistema en equilibrio, por lo que, cualquier absorción o eliminación de calor por parte de la muestra deberá ser equitativa conforme a la referencia, y esto es lo que se registra termográficamente. Tal como se presenta en la Figura 7, dentro de un termograma de DSC, se hacen presentes dichas señales ya que el flujo de calor en una sustancia, induce muchos cambios físicos y químicos tales como T_g , T_m , T_c , T_{ox} , los cuáles pueden ayudar a identificar y caracterizar una muestra, identificándola por sus transiciones características, y determinar el tipo de polímero, amorfo o cristalino. La transición vítrea es una transición que se manifiesta en los polímeros amorfos; es decir, polímeros cuyas cadenas no están dispuestas según un ordenamiento cristalino, sino que están esparcidas en cualquier ordenamiento, aún en estado sólido. Se traza una curva a medida que la temperatura se incrementa, sobre el eje x graficamos la temperatura, sobre el eje y la diferencia de producción de calor entre los dos calentadores, a una temperatura dada.

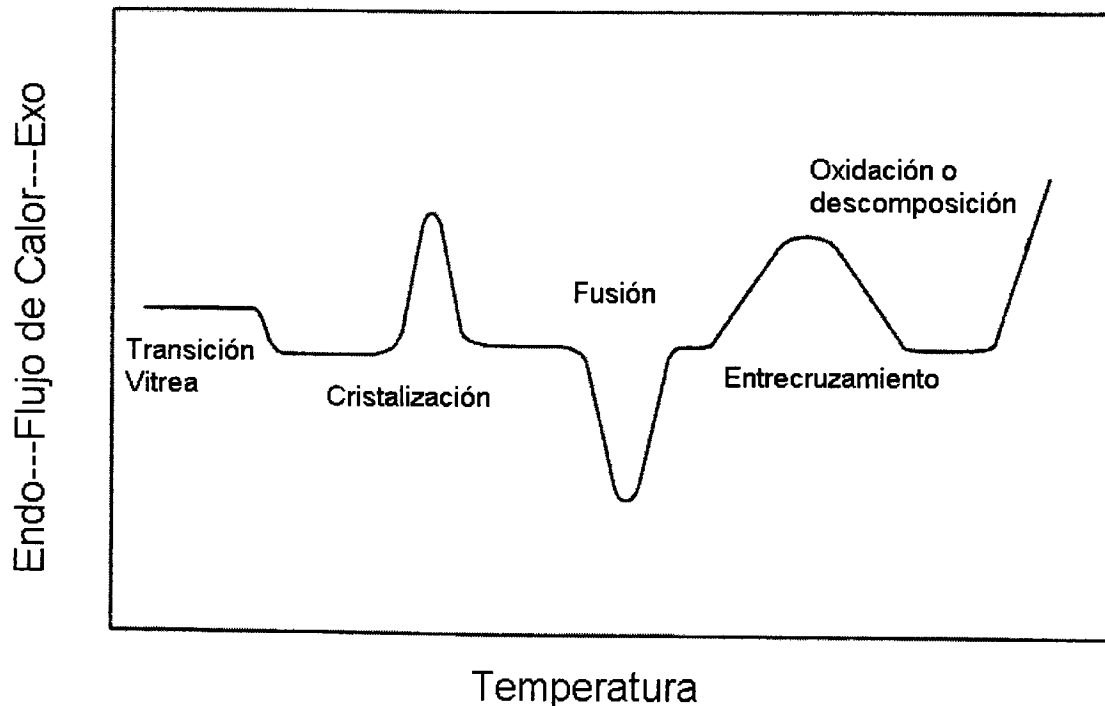


Figura 7. Termograma típico DSC, cambios físicos o químicos (T_g , T_m , T_c , T_{ox})
(Tomado de wikipedia.org/.../Diferencial)

La característica de la técnica DSC se basa en que, prácticamente todos los materiales sólidos o líquidos, presentan procesos térmicos que involucran cambios en su entalpía o calor específico. El número, forma y posición de las señales, con respecto a la temperatura, se utilizan para el análisis cualitativo. El área bajo la curva se utiliza para el análisis cuantitativo o semicuantitativo.

Dentro de las aplicaciones de DSC se encuentran la determinación del calor específico y propiedades en las que varía el calor específico como la temperatura de transición vítrea, transiciones de fase, polimorfismos, determinación de puntos de fusión, determinación de parte amorfa y cristalina, cinéticas de reacción, tiempo e inducción a la oxidación y descomposición.

La técnica de análisis térmico DSC es muy útil para identificación de poliolefinas tanto en mezclas como en copolímeros, ya que es posible obtener señales y entalpías de fusión características. El DSC cuenta con 2 celdas: una de la muestra y la segunda corresponde a la referencia, la cual permanece a vacío, cada celda se apoya sobre la parte superior de un

calentador [8]. Con la computadora se ponen en funcionamiento los calentadores los cuales les indica el calor de las celdas a una velocidad específica y constante. Cuenta con un sistema de purgado el cual se realiza para evitar la oxidación de las celdas si la velocidad de flujo del gas de purga es rápida produce ruido excesivo en la línea base, si la velocidad de flujo del gas de purga es lenta produce envejecimiento de la celda y acumulación de humedad como se demuestra en la figura 8.

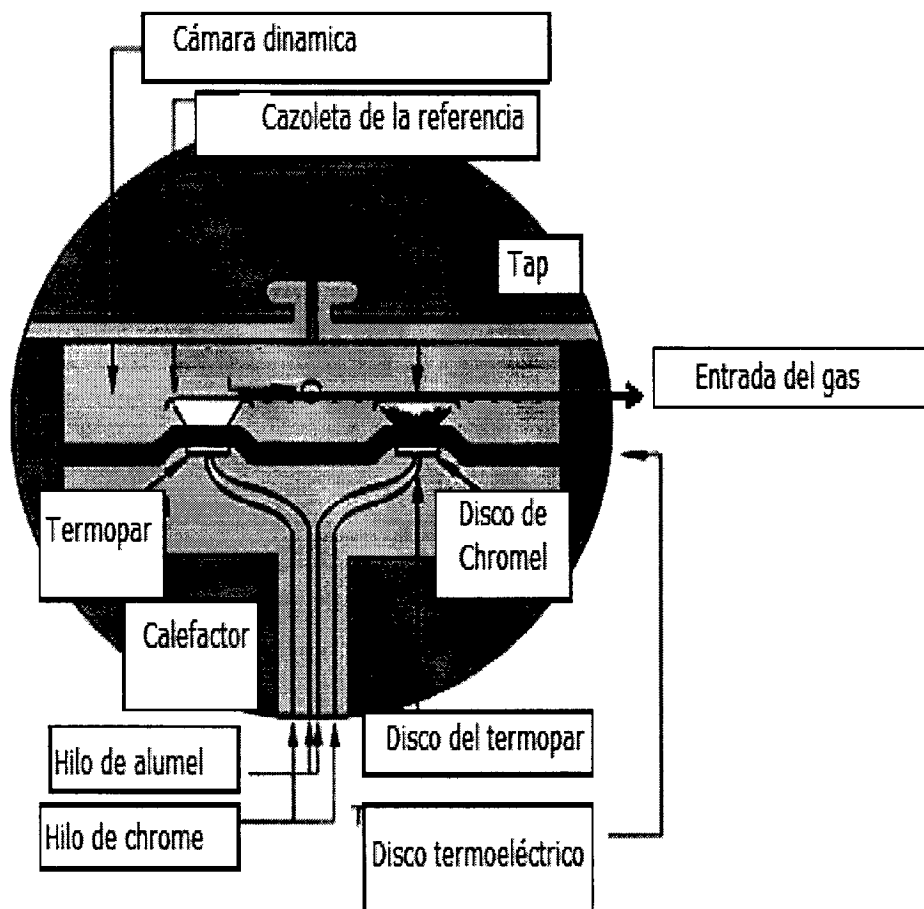


Figura 8. Calorímetro Diferencial de Barrido (DSC)

3.8.2 Análisis termogavimétrico (TG)

Mide la velocidad de cambio de la masa en función de la temperatura (requiere que la muestra desprenda un producto volátil). El TG consta de diferentes diseños de termobalanzas que son capaces de proporcionar información cuantitativa sobre muestras cuyas masas van desde 1 g hasta 100 g. Sin embargo, el tipo de balanza más común tiene tan sólo

un intervalo entre 5 y 20 mg, a su vez posee un horno, el cual va desde la temperatura ambiente hasta 1500 °C, ó menores hasta 800 °C. A menudo se pueden variar las velocidades de calentamiento o enfriamiento del mismo, desde aproximadamente cero hasta valores tan elevados como 200°C/min. Normalmente se utiliza nitrógeno y argón para purgar el horno y prevenir la oxidación de la muestra. Todas estas partes del TG se pueden observar en la figura 9.

Los equipos TG proporcionan parámetros de masa de la muestra inicial, masa final, temperatura inicial, temperatura carbón amorfo, grafito, materiales del portamuestras, contaminantes ambientales y contaminantes tóxicos.

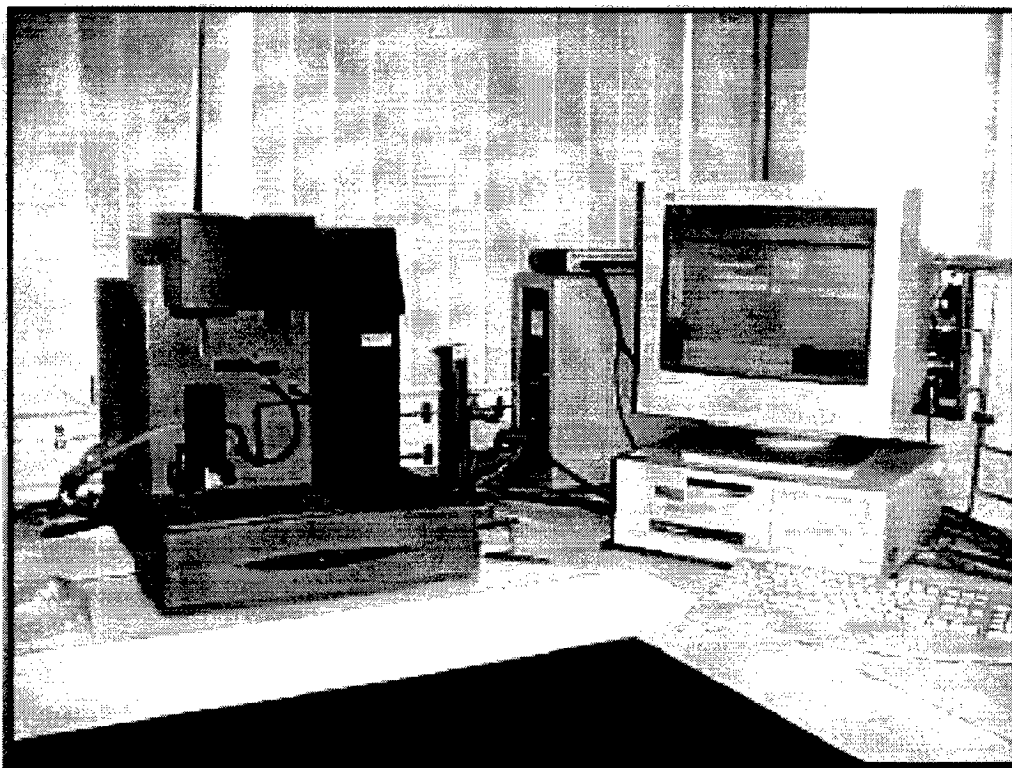


Figura 9. Equipo para Análisis Termogravimétrico (TG)

Es posible también hacer determinaciones a temperatura constante (isotérmica) en función del tiempo. Utilizando una balanza de alta sensibilidad para detectar pequeñas pérdidas en peso (mg.) con atmósfera de N₂, O₂ ó Aire. Algunos polímeros presentan temperaturas de pérdida de peso característico y pueden ser utilizados para su identificación (1 ó 2 etapas).

En polímeros formulados presentan caídas de pérdida de peso y pueden relacionarse con los diferentes componentes como: plastificantes o aceites, polímeros, refuerzos (negro de humo), cargas (CaCO_3) y con residuo o material inorgánico (CaO , TiO_2 , SiO_2 , Al_2O_3 , etc.). Temperatura (T_{max}) de la derivada es la temperatura a la cual la velocidad de pérdida en peso es mayor [9].

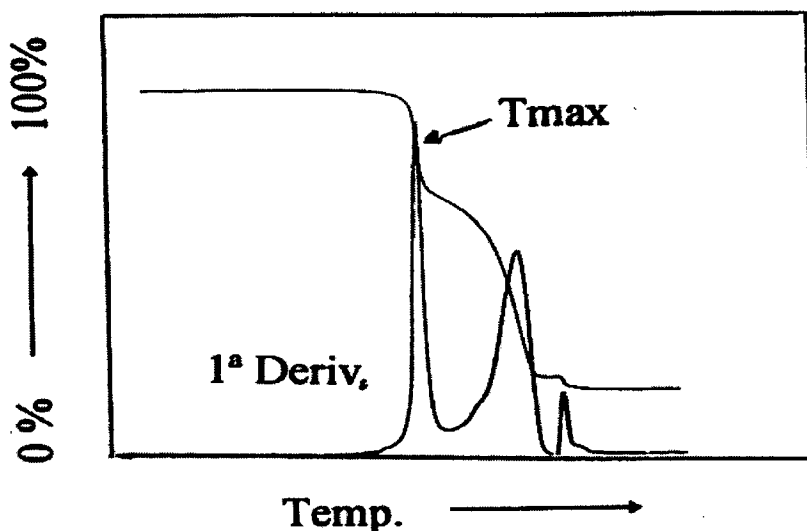


Figura 10. Termograma típico TG
a) Curva primaria (TG); b) curva derivada (DTG) John Wiley Inc.1966

En la Figura 10 se observa una curva de termogravimetría simple, que presenta un gráfico de temperatura eje x, contra pérdida de peso en el eje de las y (designada como TG) y otra de la derivada de la pérdida de peso respecto a la temperatura (llamada DTG) por separado o juntas. Debido a que muchas curvas de cambio de peso contra cambio de temperatura son muy similares, la curva de pérdida de peso puede requerir una transformación antes de interpretar sus resultados. La derivada de la curva de pérdida de peso puede ser usada para analizar los puntos críticos de la curva, por ejemplo, el punto en el cual la pérdida de peso es más aparente o significativa, aunque también puede requerir de una deconvolución de los picos traslapados.

Algunas aplicaciones del TG: temperaturas de volatilización, estabilidad térmica, porcentajes de pérdida en peso, $T_{m\acute{a}x}$. (Temperatura de máxima velocidad de pérdida en peso), estudios de descomposición y estabilidad química, determinación de impurezas, contenido de humedad, material volátil, cenizas y carbón.

CAPÍTULO 4.- ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO

4.1 Aplicaciones de la nanotecnología en la industria automotriz.

En los últimos 10 años, la industria automotriz ha trabajado con diferentes materiales nanocompuestos a base de polímeros con diferentes formas y tamaños de nanopartículas, logrando avances tecnológicos en sus productos.

Los nanocompuestos multifuncionales presentan excelentes propiedades físico-mecánicas, físico-químicas, ópticas, eléctricas, térmicas, magnéticas etc.

Se ha demostrado una mejora significativa en una amplia gama de propiedades mediante el refuerzo de polímeros nanoestructurados con arcilla en la escala nanométrica [10] para su aplicación en la mejora de las propiedades de estabilidad en motores, suspensiones, sistemas de corte, sistemas de escape y convertidores catalíticos, pinturas y recubrimientos, lubricantes, neumáticos y equipos electrónicos.

“Los investigadores de Toyota han trabajado con otros polímeros como: poliestireno, acrílico, poliimidas, resina epoxi y elastómeros y han utilizado un enfoque similar. Desde entonces, se sigue investigando en este campo de los nanocompuestos. Las nanoarcillas son las más comerciales, ya que son el aditivo más utilizado para la preparación de nanocompuestos, y representan el 80% del volumen utilizado. Nanofibras y nanotubos de carbono están siendo utilizados por su costo, desempeño y capacidad de procesamiento” [11].

La poliolefina se utiliza comúnmente como polímero anfitrión y termoplásticos tales como poliimida, nylon), sulfuro de polifenileno (PPS), polietercetona,(PEEK), polienteraftalato (PET), policarbonato, resinas epoxi, y elastómeros termoplásticos como copolímero dibloque butadieno-estireno también se aplican en automóviles con mayor exigencia [12].

Los materiales termoplásticos como matriz en materiales nanocompuestos han ido creciendo constantemente en aplicaciones de la industria automotriz, en gran parte debido al bajo costo del material, alto rendimiento, baja densidad, proporciona mayor vida útil, fácil dispersión y la posibilidad de reciclar los materiales en otros productos.

El éxito de los productos nanotecnológicos en el mercado automotriz es por sus aplicaciones especializadas, tales como partes externas de la cubierta, revestimientos y componentes del sistema de combustible, etc. Sin embargo se espera que sea un área de gran crecimiento en los próximos años ver Figura 11.[13].

Respecto a los nanocompuestos biodegradables (celulósico bio-plástico reforzado con nanoarcilla) son la próxima generación de materiales para aplicaciones en la industria automotriz. Estos tienen el potencial de sustituir productos derivados del petróleo ya existentes, de poliolefina termoplástica biodegradable (TPO). Sólo un número limitado de matrices de plástico (principalmente termoplásticos) son compatibles con nanoarcillas, nanotubos o nanofibras, la exfoliación e intercalación de arcillas con el polímero puede cambiar la funcionalidad del polímero. La producción de nanocompuestos depende de los costos de nanotubos, nanofibras de carbono, y del petróleo.

Por lo tanto, para tener consistencia y confiabilidad en cuanto a volumen de producción, es necesario tener un control de la distribución de tamaño y forma de partícula, así como de los polímeros indicados, dependiendo de los productos a elaborar, ya que es evidente que las órgano arcillas no son adecuadas para la mayoría de los plásticos de ingeniería que se producen en fundido[14]. En la tabla 2 se presentan los materiales y factores que influyen para la fabricación de nanomateriales.

Algunas ventajas de costo y rendimiento del grafeno están desafiando el uso de los nanotubos de carbono en aplicaciones de nanocompuestos a base de polímeros, debido a sus propiedades intrínsecas, libres de defectos de plaquetas de grafeno, ya que podrían tener una resistencia a la tensión mayor que otros materiales. Tal es el caso de los coches de alto rendimiento que requieren excelentes propiedades como la rigidez estructural, protección del calor, el impacto y resistencia a la compresión. Otra elección correcta de materiales son las espumas de nanocompuestos poliméricos que mejoran las propiedades de aislamiento térmico. [15].



Figura 11. Aplicación de autopartes a base de materiales nanocompuestos poliméricos.
(L.W Carter, J. G Hendricks, D. S Bolley)

La nanotecnología interviene íntegramente dentro de la industria automotriz ya que algunas de las autopartes están hechas a base de materiales nanoestructurados de polímeros con diferentes tipos de nanopartículas, y han ido mejorando propiedades físico-mecánicas, térmicas, de estabilidad en motores, suspensiones, sistemas de corte, sistemas de escape convertidores catalíticos, pinturas y recubrimientos, lubricantes, neumáticos, equipos eléctricos y electrónicos. [10].

Efectuando esta aplicación de polímeros con nanoarcillas el grupo automotriz Toyota ha implementado sobre tipos de refuerzos poliméricos con arcillas otros tipos de polímeros a base de poliestireno, acrílico, poliamidas, resina epoxi, y elastómeros utilizando un enfoque similar desde entonces las nanoarcillas son las más comerciales, ya que son el aditivo más utilizado para la preparación de nanocompuestos, y representan el 80% del volumen utilizado. Otros nanocompuestos también empleados han sido las nanofibras y

nanotubos de carbono por su costo, desempeño y capacidad de procesamiento [11]. Dentro de la familia de poliolefinas las más empleadas en aplicaciones automotrices especiales son: el nylon, sulfuro de polifenileno (PPS), polieterecetona (PEEK), polietilentereftalato (PET), policarbonato, resinas epoxi, y elastómeros termoplásticos etc.[12]

PRODUCTO	BENEFICIOS	APLICACIONES
Nanocompuestos POLIOLEFINA:	<ul style="list-style-type: none"> • más barato que el nylon • no es necesario el secado • menos frágil, más ligeros • reciclables • retardantes a la flama, la resistencia y rigidez • propiedades de impacto 	Eléctricos, marcos de puertas, asiento del panel de navegación espaldas
Nanocompuestos de nylon	<ul style="list-style-type: none"> • la fuerza, propiedades de barrera de distorsión por calor 	la línea de combustible
Nanocompuestos elastoméricos	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor durabilidad • reducción de la resistencia • anti flama 	alta conductividad eléctrica y térmica y coeficiente de expansión térmica bajo aditivos, refuerzos de pintura electrostática

Tabla 2. Materiales y factores que influyen en la fabricación de nanomateriales

4.2 Investigación y desarrollo sobre nanotecnología aplicada en la industria automotriz

En el sector de la industria automotriz, las aplicaciones de la nanotecnología son múltiples, en la construcción, la conversión de energía, detección y reducción de la contaminación, el clima, la dinámica de conducción, el control de vigilancia, la limpieza de parabrisas. Son factores que también se consideran dentro de la nanotecnología para producir dichos materiales a base de polímeros.

Además, en las próximas producciones de coches se considera que estos sean libres de CO₂, que estos cuenten con motores de conducción segura, sean coches ligeros, con una carrocería de mayor confort.

Todo ello se reunirá con las tendencias de las actuales demandas y de la sociedad con clientes que desean mejorar la ecología, seguridad y confort. Las piezas automotrices están compuestas por nanoporos, nanofibras, nanotubos, nanoarcillas dispersión en nanomateriales, o compuestos nanoestructurados.

Considerando efectos de volumen como difusión, absorción y resistencia mecánica pueden ser adaptadas, además, de los efectos de superficie, como la adsorción, la dureza, y la reacción catalítica. La organización de estructuras es importante en el crecimiento de estos materiales. En la figura 14 se presenta una visión general y aplicaciones potenciales de la nanotecnología aplicada en la industria automotriz, las aplicaciones con potencial a corto, mediano y largo plazo, de materiales ligeros a base de carbono utilizando nanotubos, son actualmente estudiados en laboratorios de investigación .[16]

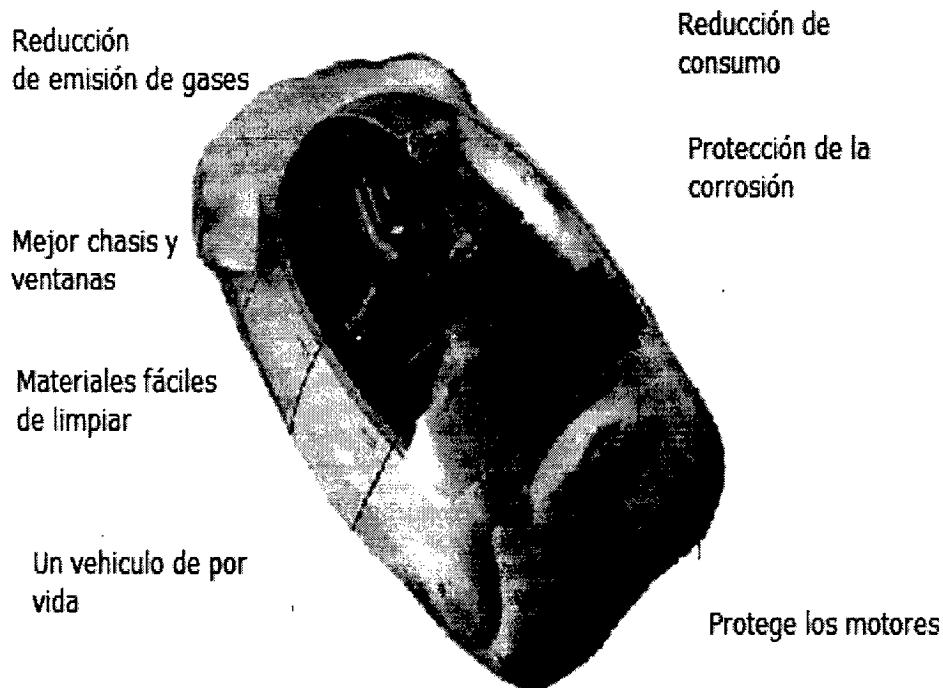


Figura 12.Aplicaciones potenciales de la industria automotriz
(H. Presting, U. Koñig)

La industria automotriz presenta una aplicación específica en la conversión de energía de sus motores, reduciendo la emisión de partículas, y obteniendo ahorro del combustible.

Existen componentes que necesitan una mejora adicional, esto se puede realizar utilizando la nanotecnología ya que pueden contribuir con los hidrocarburos tales como (gasolina, metanol) en el almacenamiento de hidrógeno, celdas de electrodos y con las membranas de intercambio de protones.

Una formación de aerosoles eficiente en el reformador del metanol, se aplica en el combustible del motor de combustión tradicional, esto puede conseguirse por medio de matrices Nanojet. La alta presión de inyección a través de nanojets reducen las pérdidas de tensión de la superficie [17]. Los Nanojets pueden ser modelados por ataque anódico profundo de diversos materiales (por ejemplo, Si, SiC) [18]. Las nanoestructuras similares pueden ser instaladas dentro de un reformador. Un depósito de catalizador en el interior de una superficie de estas estructuras nanoporosas garantizaría una conversión eficiente. Los compuestos porosos como las espumas con nanoporos irregulares pueden mejorar los sub-componentes de la celda del combustible.

Son posibles de utilizar porosidades de hasta un 80%, incluso la sinterización de polvo nanométrico puede crear nanocompuestos porosos ver Figura 13. Otra aplicación de nanocompuestos porosos son filtros que mecánicamente y/o por reacción catalítica suprimen la emisión de partículas de hollín o gases tóxicos reduciendo la contaminación ambiental. Además, el material nanoporoso como el silicato con óxido de metal diluido puede actuar como sensor de gas, por ejemplo de NO_2 .

4.2.1 Caracterización

Otro enfoque para mejorar las pilas de combustible puede ser la sustitución de la membrana de intercambio de protones tradicional por un nano compuesto con una conductividad mejorada, con permeabilidad del agua y resistencia interfacial para el electrodo.

Compuestos porosos como espumas con nanoporos irregulares pueden mejorar los sub-componentes de la pila del combustible. La capa de distribución de gas (para H₂ y O₂) en ambos lados de los electrodos necesitan grandes superficies, la forma, diámetro, densidad están determinadas por las condiciones del proceso, así como la composición del material, y la temperatura ver figura 13.

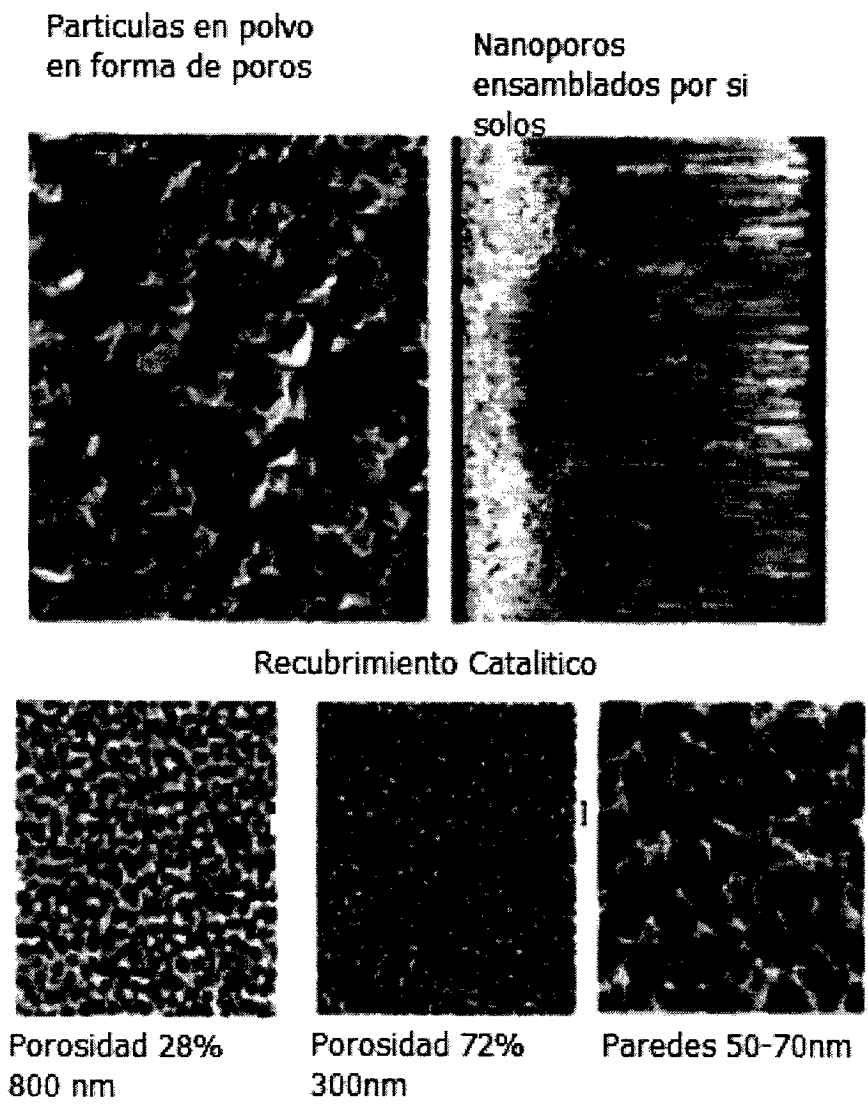


Figura 13. Estructuras porosas con potencial para filtros (*H. Presting, U. König / Materials Science and Engineering C 23 (2003) 737-741*)

A largo plazo, los motores de los combustibles de fósiles tienen que ser sustituidos por aquellos que utilizan hidrógeno, ya sea por combustión directa o por pilas de combustible.

Un medio de almacenamiento eficiente para el hidrógeno requiere reducir el volumen del tanque hasta un 10% de los tanques de presión de hidrógeno. Sin embargo, la gran esperanza está dirigida a los nanotubos de carbono. Las celdas solares en el techo del vehículo ya son una opción de algunos fabricantes de automóviles, ya que tiene una aplicación más eficiente en el clima y para cargar una batería de respaldo en casos de emergencia o después de los accidentes [19].

Gracias a los nanopuntos, una perfecta combinación cristalina de estos materiales diferentes puede crecer. Los nano-puntos en capas apiladas dentro de la matriz del material, pueden estar en gran concentración, el tamaño, densidad y volumen, puede ser ajustados durante proceso. Se pueden depositar celdas triples, que pueden usarse en una parte más amplia del espectro solar. Un techo solar de aproximadamente 100W de potencia máxima de salida para vehículos pequeños y en vehículos grandes como camiones y autobuses de hasta 1kW, ver figura 14.

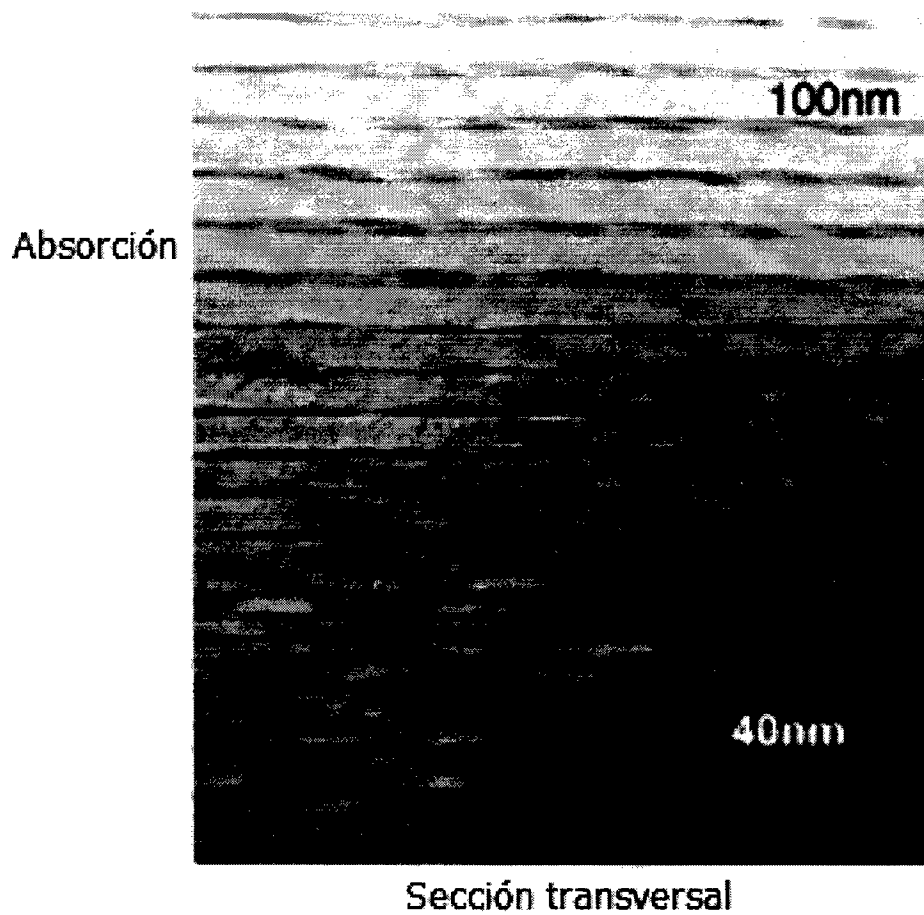


Figura 14.Compuestos semiconductores (*H. Presting, U. König / Materials Science and Engineering C 23 (2003) 737–741*)

Las carrocerías ligeras sin comprometer a la rigidez y resistencia al choque significa tener menos material e indirectamente menos consumo de combustible. Los nanocompuestos a base de diferentes materiales con matriz de plástico reforzado por el metal o nanopartículas de cerámica o nanopellets pueden mejorar la fuerza hasta el 100% [20]. Sin embargo, un verdadero avance se produce cuando las fibras de carbono están disponibles en grandes cantidades. Se trata de una dimensión molecular gigantesca que promete una resistencia a la tracción, alrededor de 50 veces la del acero con menor peso.

4.2.2 Resultados y discusiones

Un nanocompuesto polimérico con nanofibras proporcionaría un material considerablemente más delgado, además las partes más rígidas y más ligeras para aplicación en los coches. Esto abre una enorme investigación de campo para los próximos años.

Los futuros conceptos sobre la demanda de automóviles y con peso ligero de los materiales, por ejemplo el vidrio puede ser sustituido por policarbonato en ventanas. Sin embargo, aquellos que se recubren con más capas son más resistentes y están basados en materiales nanocompuestos [21].

La nanotecnología en especial tiene un impacto notable en los componentes de los automóviles. Todavía hay un número de ejemplos adicionales, como nanocompuestos para neumáticos, para el sistema de combustible, para las membranas de separación de gas en el combustible y para la aplicación en asientos para automóviles y otras autopartes.

4.3 Desgaste de piezas automotrices y aspectos ambientales al utilizar nanocompuestos

La formulación de una matriz polimérica representa la información de las propiedades de los materiales. Los recubrimientos de los frenos son materiales complejos los cuales se formulan con más de 10 constituyentes, y se utilizan más de 3000 materiales diversos en diferentes marcas [22].

Algunos se han suprimido debido a las implicaciones en la salud [23], sin embargo, no está claro el impacto ambiental que tienen los materiales utilizados actualmente. Es decir a base de nanopartículas, en esta investigación, se estudió el desgaste de los materiales con nanopartículas y su evaluación de la fricción.

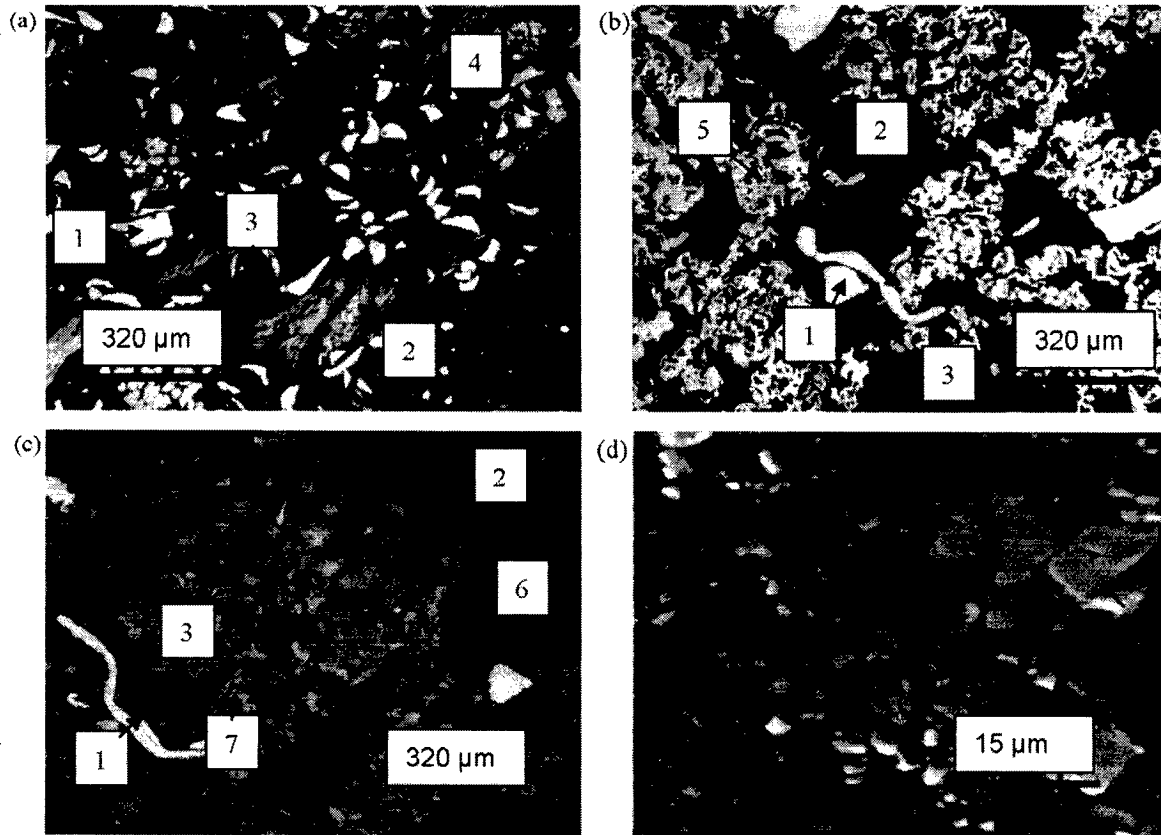
Se ha empleado la prueba de fricción que se utiliza para evaluar el rendimiento de los frenos. La combinación de luz y la microscopía electrónica, junto con el apoyo de microanálisis de energía dispersiva, difracción de rayos X, microscopía de fuerza atómica que permite el análisis con éxito en la materia liberada.

Se ha demostrado que las nanopartículas de materiales recién formadas están siendo liberadas durante el proceso de desgaste y se sugiere iniciar investigaciones más a fondo, que afronten las posibles repercusiones de estas nanopartículas en el medio ambiente.

4.3.1 Caracterización

Las imágenes de las muestras que se presentan en la fig. 15(a-c) fueron observadas mediante SEM, estas presentan materiales que contienen fichas de acero correspondiente a la fase blanca marcada por # 1 en la fig. 15(a-c), el coque y/o grafito marcado como # 2, que tienen color amarillento, azulado o verdoso en función de la polarización, óxido de magnesio # 3 y sulfato de bario, ambas son fácilmente visibles en las imágenes de microscopía. La fig. 15(d) muestra un detalle de la microestructura tomada desde la parte central, parte de la figura. 15c y del BaSO_4 donde las partículas están marcadas por flechas.

Todas las muestras también contienen una matriz de resina fenólica y se observan todos los componentes juntos, el butadieno-estireno marcado por # 6 en la figura 15c. Sin embargo, el tamaño de las partículas de caucho es significativamente menor, por lo tanto no son visibles en la figura 15a y b. aparte de las diferencias en cantidades, el tamaño y la distribución de los "componentes comunes", las principales diferencias entre los materiales individuales de revestimiento de freno están relacionados con el contenido de cobre # 4, polvo de hierro # 5 y Sb_2S_3 # 7.



Figuras 15(a-d). Imágenes SEM del área en sección transversal

Derecubrimientos de caucho para frenos (*V. Roubicek et al. / Wear 265 (2008) 167–175*)

Del recubrimiento de freno mediante luz polarizada (a) y por SEM (b). Ambas muestras fueron incorporadas en una resina conductora para la superficie de SEM, se recubrió también electrolíticamente por níquel.

La deformación plástica del acero ofrece una clara evidencia de las tensiones tangenciales que actúan sobre la fricción de la superficie que son superiores al límite elástico de hierro o del acero bajo en carbono. Las imágenes SEM (a-b) presentan el detalle de la sección transversal de una zona de recubrimiento de freno. En imagen SEM (c) se aprecia el análisis químico cualitativo de los elementos en el material.

La capa de fricción está situada entre la protección de la capa Ni- y el grueso de las partículas de hierro. La zona de fricción puede distinguirse de la otra zona es decir claramente de la masa. Las micrografías SEM 16 (a y b) muestran las finas partículas de hierro (marcado por la flecha), ubicado en la capa de fricción que representa una mezcla de desgaste de fragmentos retirados de los materiales a granel de recubrimientos de freno y del disco de hierro fundido. Obviamente, las partículas de desgaste interactúan a un diferente nivel y presentan un espectro de materiales formados en la superficie. El espesor de la capa de fricción varía dependiendo de la severidad de las condiciones utilizadas con los materiales comprometidos en la fase fricción y en forma individual de la mayor parte en las proximidades de la superficie de fricción.

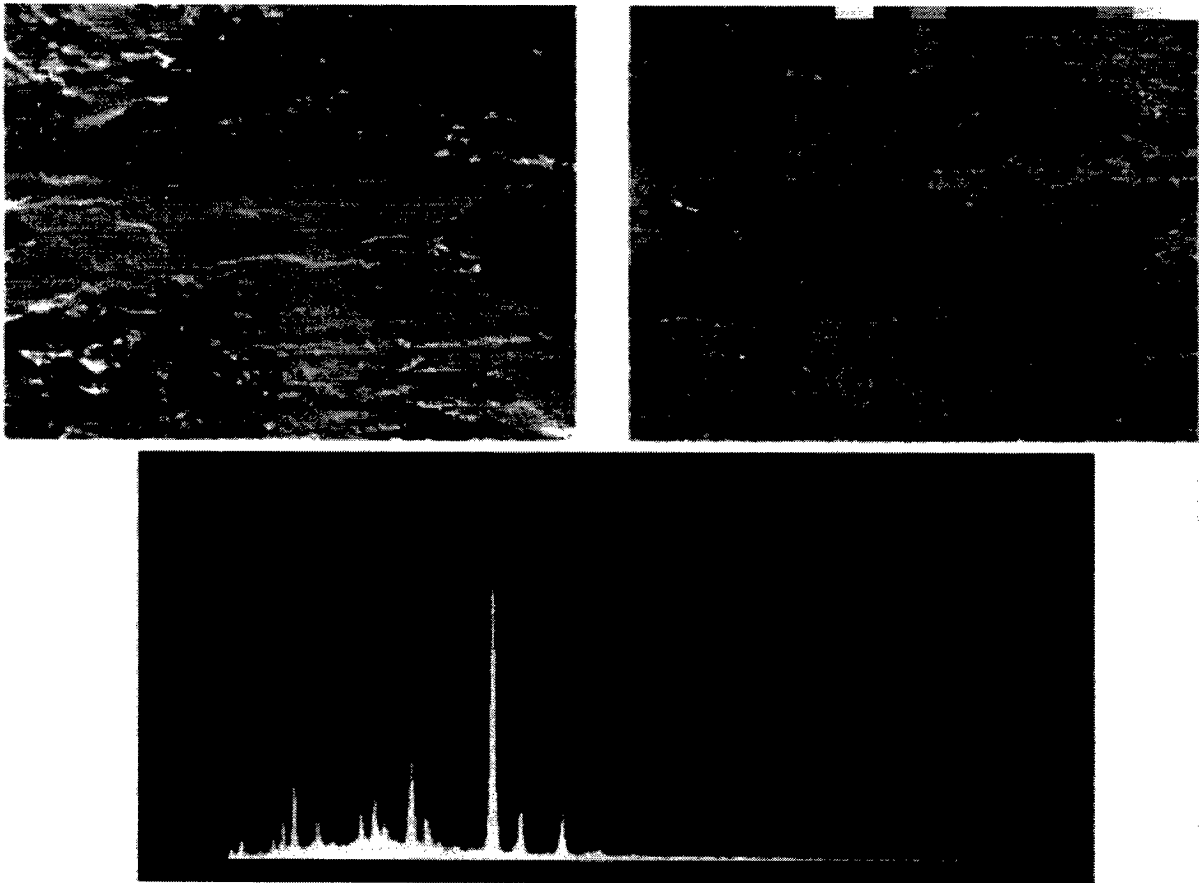


Figura 16. Imagen SEM de la superficie de fricción, la información topográfica corresponde (b) y (c) información química del material de recubrimiento de freno

(V. Roubicek et al. / Wear 265 (2008) 167–175)

En la figura 17 se muestra el difractograma de rayos x en el cual se presenta el patrón de superficie mostrando la intensidad de las bandas para cada uno de los productos de reacción de los materiales (vermiculita, cobre, titanato de potasio).

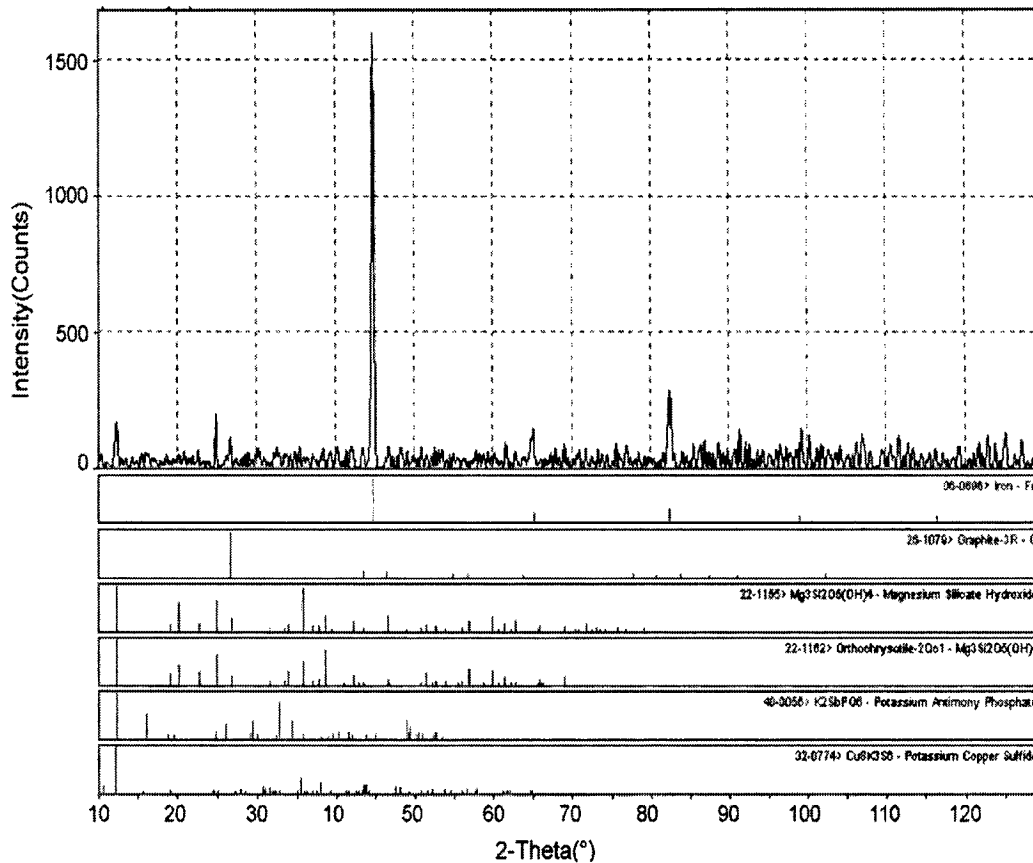


Figura 17. Difractograma de (10°) difracción de rayos X
(*V.Roubicek et al. / Wear 265 (2008) 167–175*)

En la figura 18 se aprecian las imágenes SEM (a-b) las cuales presentan la morfología y tamaño de partícula del material analizado. Además en la figura 18c se muestra el análisis químico cualitativo del material residual utilizado en la prueba de fricción.

Las micrografías (SEM-EDX) de la superficie de fricción del recubrimiento del freno después de la prueba J2430, muestran la morfología e información química del área.

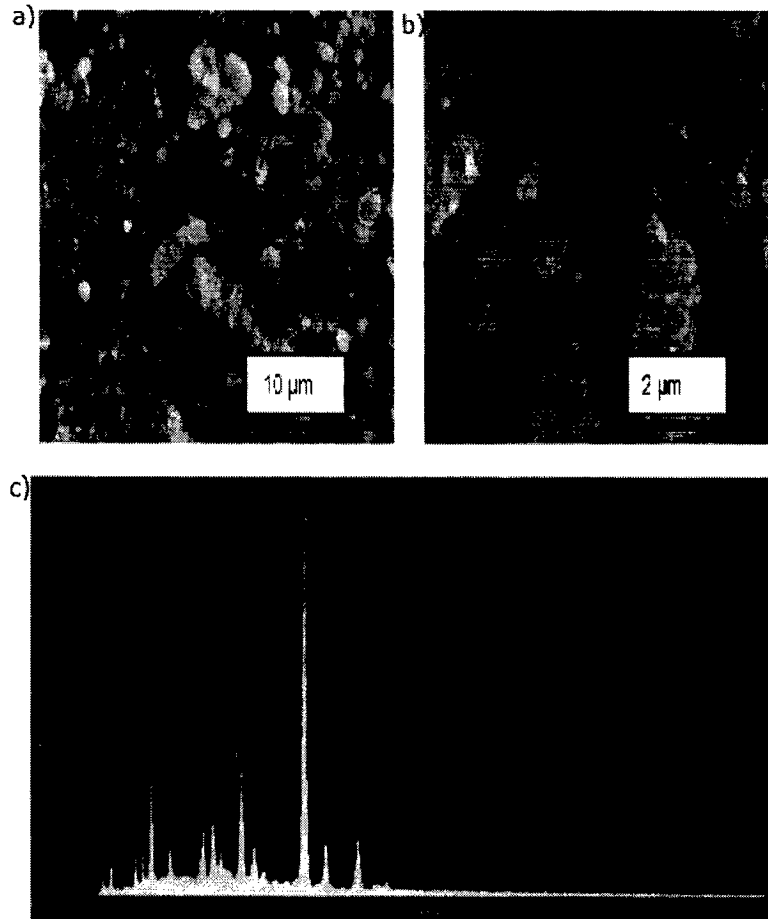


Figura 18. Análisis químico cualitativo (SEM-EDX) del material residual utilizado en la prueba de fricción (*V. Roubicek et al. / Wear 265 (2008) 167–175*)

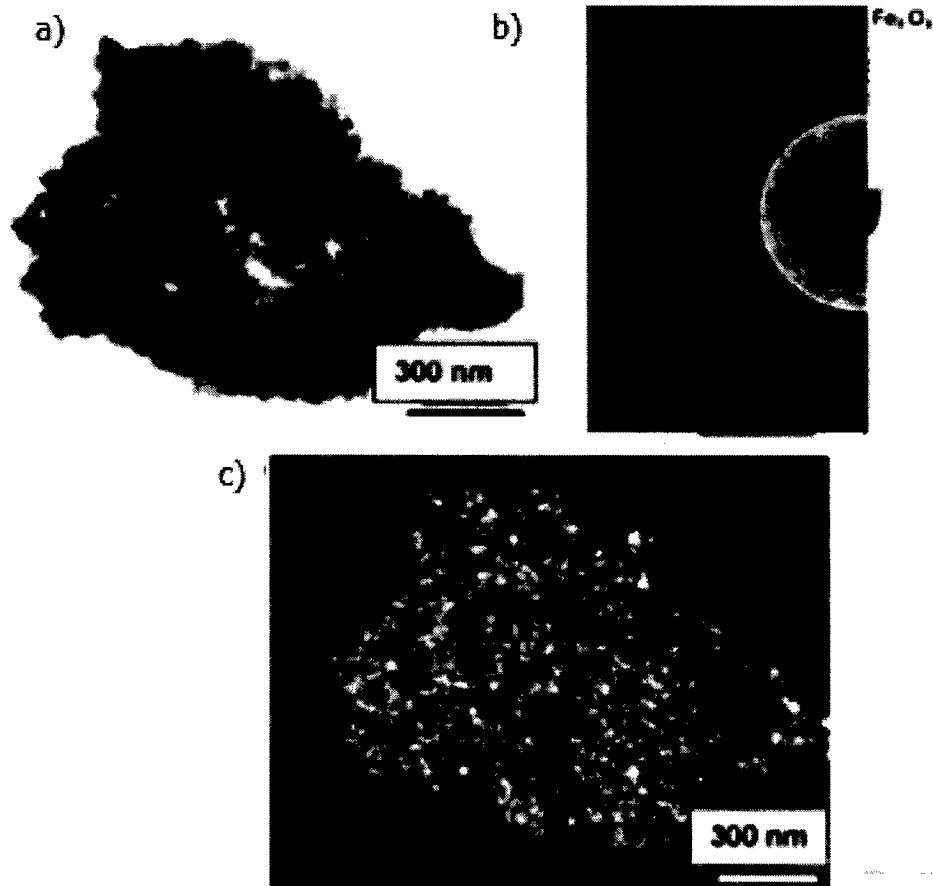


Figura 19. Micrografías TEM de restos de materiales de fricción para recubrimiento de freno (V. Roubicek et al. / *Wear* 265 (2008) 167–175)

A continuación se presentan las figuras 19 (a, b y c) de los restos de materiales de fricción obtenidos en la prueba J2430 para recubrimiento de freno. (a) La imagen de campo brillante, (b) patrón de difracción, y (c) la imagen de campo oscuro.

Una posible metodología eficiente para entender mejor el destino de las partículas emitidas es para aplicar los filtros en cascada con la capacidad de atrapar un amplio espectro de partículas de desgaste incluyendo nanopartículas [24].

4.3.2 Resultados y discusiones

En este estudio se ha demostrado que una variedad de partículas están siendo liberadas durante la aplicación de muchos materiales en diferentes autopartes, que representa el espectro de diferentes tipos de recubrimiento utilizados actualmente, son materiales de nueva creación, la química de estos materiales y sus fases difieren considerablemente de los elementos utilizados en la fabricación de los componentes a granel como recubrimientos de freno de disco, se sugiere iniciar con investigaciones para hacer referencia sobre el impacto de estos materiales en la naturaleza y en la salud humana, los resultados confirman que las nanopartículas liberadas de desgaste se pueden correlacionar con el daño de los materiales de recubrimiento de frenos.

4.4 Nanopartículas de platino estudiadas por TEM

El tamaño y forma de las estructuras a nanoescala son importantes para las propiedades fisicoquímicas de un nanomaterial. Existe una variedad de síntesis de nanopartículas disponibles por su estabilidad de las estructuras a nanoescala. Debido a la gran superficie que presentan las nanopartículas, estructuras a nanoescala poseen un estado estable, sin embargo tienden a aglomerarse.

La sinterización se atribuye generalmente a los mecanismos de cristalización del material. El mecanismo de migración de cristalitos se refiere a la salida de las nanopartículas y posteriormente se une con las partículas cercanas.

El mecanismo de migración del átomo se refiere al proceso de maduración de Ostwald en el que la sinterización se produce por difusión de los átomos o especies atómicas entre las nanopartículas inmóviles ya sea en la superficie del soporte o a través de fase gaseosa, por lo tanto, los mecanismos son modelos cinéticos para la sinterización de las nanopartículas. El resultado es que la concentración de la especie atómica es mayor entre las partículas grandes y pequeñas. La diferencia de la concentración conduce a un flujo neto de especies atómicas de las partículas más pequeñas hacia las partículas más grandes, por

lo que éstas con el tiempo crecen a expensas de los más pequeños. Un modelo de campo medio para la maduración de las cinéticas de Ostwald, para Pt como catalizador se presenta a continuación:

$$\frac{dR}{dt} = \frac{\alpha}{R^2} \left(\frac{R}{R^*} - 1 \right) \quad \text{ec2}$$

Donde α es el sistema que depende del parámetro y R es el tamaño de partícula y R^* es el radio crítico, este mismo corresponde al tamaño de partícula, el cual no se reduce y está en equilibrio con una concentración constante de especies atómicas en la zona entre las partículas en el momento dado.

4.4.1 Caracterización

Las nanopartículas de Pt fueron dispersas en un soporte de Al_2O_3 . El sistema de Pt/ Al_2O_3 se aplica para catalizadores para reacciones de oxidación y reducción de diesel y se obtuvo una mezcla de pobre de componentes en el escape del motor.

Estudios anteriores sugieren que la sinterización de las nanopartículas de Pt dispersas en Al_2O_3 ya sea planas o porosas corresponden a soportes de alúmina y son removidas al estar en la exposición al oxígeno a temperaturas por encima de 500°C , sin embargo otros componentes del escape de diesel, tales como óxidos de nitrógeno y de CO, también pudieran afectar.

En la siguiente micrografía se presenta el modelo de las partículas de Pt/ Al_2O_3 en la imagen a) Se muestra una vista lateral del catalizador modelo Pt/ Al_2O_3 . (b) imagen TEM del modelo del catalizador preparado como Pt/ Al_2O_3 . (c) Se muestra el patrón de difracción de electrones de Si_3N_4 apoyado por la película de alúmina. (d) Patrón de difracción de electrones del catalizador. La difracción correspondiente al Pt se indican planos reticulares (111), (200), y (220) [25].

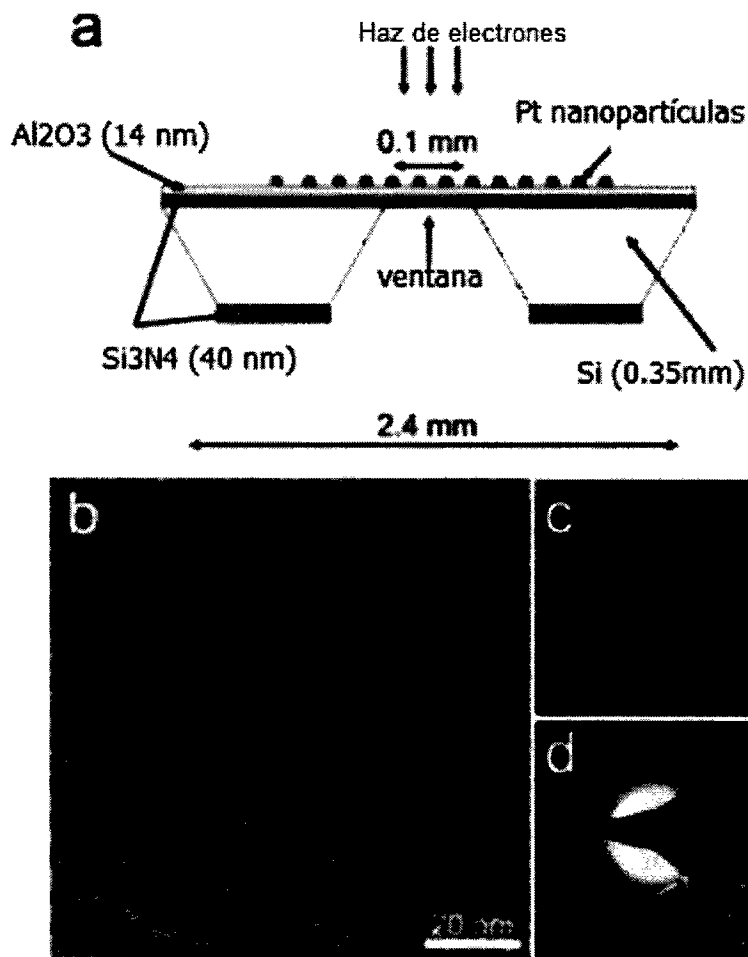


Figura 20. Esquema de la vista lateral del catalizador modelo Pt/Al₂O₃

(J. am. chem. soc. 9 vol. 132, no. 23, 2010)

Sin embargo, en base a observaciones TEM, se encontró que las partículas de Pt, eran mayores de 2,5nm, siendo estacionarias durante la exposición al O₂ a temperaturas de 900°C. Se presentaron observaciones mediante TEM de nanopartículas de Pt dispersas en un plano de Al₂O₃ durante la exposición al aire a elevadas temperaturas para imitar las condiciones de la mezcla. Las imágenes de TEM revelaron las distribuciones de tamaño de partículas y los promedios del conjunto [26].

Preparación

La sinterización de las nanopartículas de Pt fue activada por calentamiento del catalizador por 30°C / min hasta 650°C en una atmósfera de 10 mbar. Las imágenes por TEM fueron adquiridas después del establecimiento de condiciones isotérmicas (correspondiente a tiempo 0). En términos de masa, las nanopartículas de Pt se identifican en las imágenes de TEM como las partículas de contraste más oscuras, que están superpuestas en el fondo más claro que corresponde a la parte amorfa Al₂O₃[27]. El tratamiento resultó en una transformación de las formas irregulares de las nanopartículas de Pt Figura 20 b y la morfología proyectada en forma circular. Figura 20a. La forma circular proyectada refleja una forma tridimensional compacta, consiste en la mínima energía de superficie para nanopartículas de metal. La distribución correspondiente de diámetros de partículas presenta un tamaño de 3nm de ancho.

Los modelos de catalizadores consistentes en nanopartículas de Pt dispersos en un soporte plano y amorfo de Al₂O₃ se prepararon en 40nm de espesor y Si₃N₄ con 0.35 mm de espesor de Si, para aumentar la transparencia de electrones Figura 21a. Después de la preparación de Si₃N₄, las muestras se removieron por oxidación utilizando plasma.

Mediante rayos X se determinó la contaminación de carbono en el modelo preparado como catalizador [28]. Los tamaños de partículas de Pt se midieron por TEM, manual y automáticamente por el delineando de los perímetros de las partículas, utilizando, las correspondientes áreas proyectadas de la partículas. La figura 20b muestra que la contracción fue independiente de la temperatura en este intervalo. Por último, en relación con la fusión de las partículas de Pt, sólo una pequeña fracción de Ca. 1% del número total de nanopartículas, aparentemente se unieron en el entorno del gas oxidante, independientemente de la densidad de corriente del haz de electrones y de la temperatura figura 21.

En concreto, los eventos de coalescencia participan sólo las partículas situadas en las cercanías con su centro de masa separados por aproximadamente 3nm y no implican la migración de las partículas a más largas distancias.

Los eventos pueden ser de coalescencia, se utilizó alto vacío de 10⁻⁷ mbar en el microscopio electrónico. La presente serie de experimentos demuestra la importancia de minimizar la

dosis de electrones sobre la muestra, por lo tanto, en TEM se realizó el análisis utilizando una baja densidad de corriente del haz de electrones de 0.07 A/cm^2 para minimizar el efecto del haz de electrones.

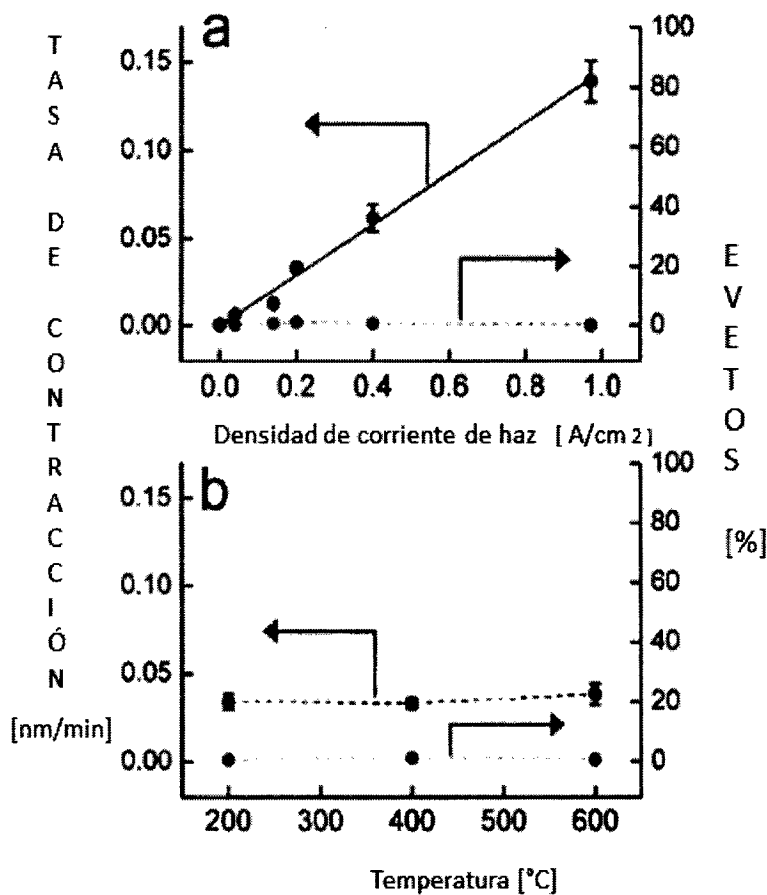


Figura 21. Tasa de contracción VS temperatura, diámetro medio de partícula

(J. AM. chem. soc. 9 vol. 132, no. 23, 2010)

En la figura 21 se presenta el diámetro medio de partícula y tasa de contracción, el número de eventos de coalescencia del catalizador $\text{Pt/Al}_2\text{O}_3$ durante la exposición a 10 mbar (a) como una función de la densidad de corriente de haz a temperatura constante (400°C) y (b) la corriente como una función de la temperatura constante, para cada punto de los

datos, la contracción de diámetro medio se basa en las mediciones de partículas de 30 y el porcentaje de eventos de coalescencia se calcula a partir de más de 400 partículas.

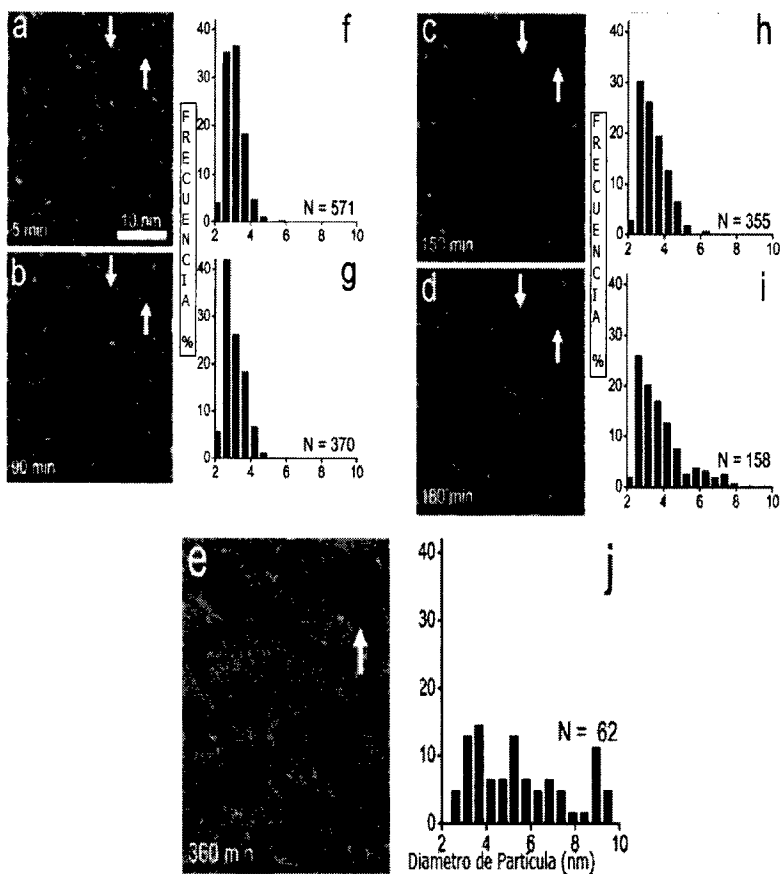


Figura 22. Imágenes TEM, diámetro y tamaño de partícula (J. am. chem. soc.9 vol. 132, no. 23, 2010)

Diferentes áreas elegidas al azar de un modelo de catalizador Pt / Al₂O₃ durante la exposición a 10 mbar aire a 650 ° C. Las imágenes son de 40 × 40 nm, 2 secciones de imágenes TEM con una superficie total de 130 × 130 nm². N= indica el número de partículas incluidas en cada distribución de tamaño de partícula [29]. Ver figura 22.

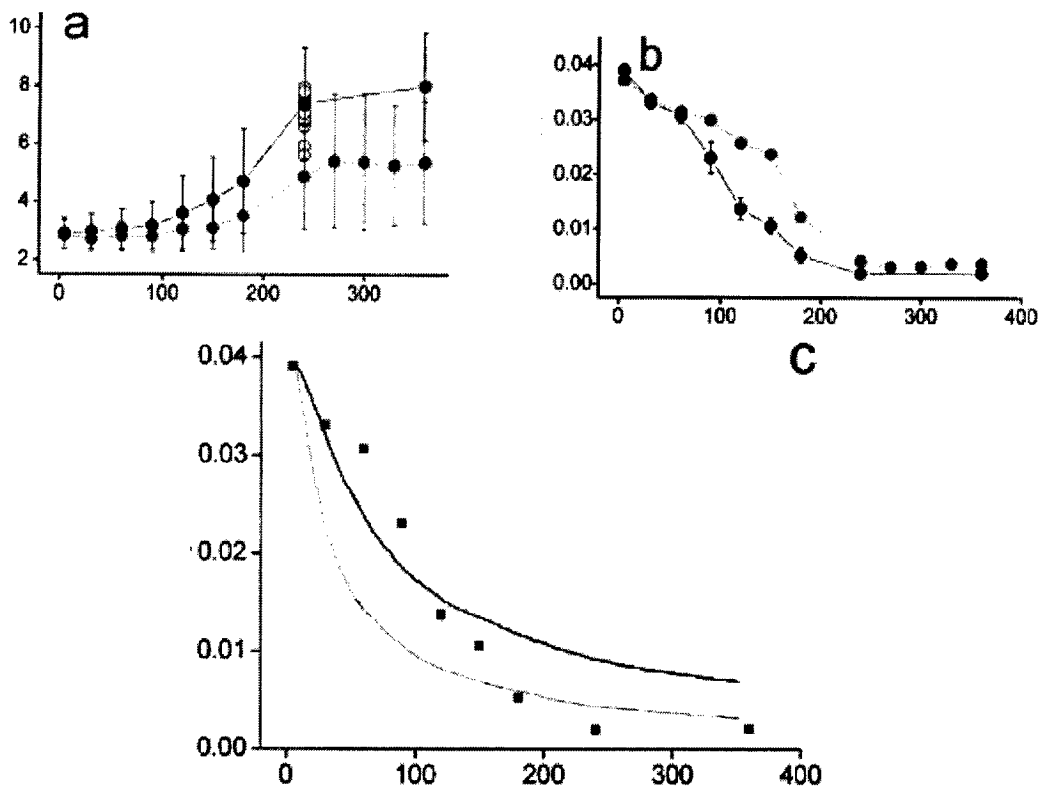


Figura 23. Diámetro, densidad y volumen medio de partícula de Pt

(J. am. chem. soc.9 vol. 132, no. 23, 2010)

Se presenta en la figura 23. La imágenes a ,b y c donde; (a) es el diámetro medio de partícula, (b) la densidad de las partículas y (c) el volumen por área de Pt del soporte como una función del tiempo de envejecimiento para las partículas en un área seguida con el tiempo y para las áreas previamente no expuestas al haz de electrones. En (a, b) barras de error se refieren a la desviación estándar de los diámetros de partícula y la densidad respectivamente. En (c) las barras de error se refieren al error de medición reproducido. En (a), Un ejemplo de la dispersión estadística en el diámetro medio de partícula para áreas diferentes en la muestra [30].

4.4.2 Resultados y discusiones

El análisis estadístico de un conjunto de nanopartículas de Pt muestra que el tamaño de partícula y su distribución de cambio se demuestran en función de tiempo. En concreto, los cambios de distribución de tamaño de partículas de una primera distribución de Gauss a través de una distribución logarítmica normal, pasan a una distribución bajo las condiciones de sinterización presente.

Sin embargo, se observó que las discrepancias que existen en las nanopartículas, son influenciadas por el medio ambiente local, lo cual altera en el proceso de intercambio atómico.

CAPITULO 5.- CONCLUSIONES

De acuerdo a la información recopilada se encontró que en los próximos 5 años, la industria automotriz estará influenciada por el desarrollo y la aplicación de la nanotecnología.

Las técnicas de caracterización de materiales nanoestructurados son una herramienta fundamental para obtener evaluaciones de los materiales empleados y determinar si son factibles de aplicación en automóviles.

- Las técnicas de caracterización utilizadas en estos trabajos fueron: FTIR, XRD, MOP, SEM, TEM, DSC y TG , las cuales presentaron evaluaciones para diferentes aplicaciones.
- Las nanopartículas de metal se consideran para su uso en convertidores catalíticos debido a la reactividad catalítica mejorada.
- Los refrigerantes utilizan nanopartículas y nanomateriales en polvo para aumentar la eficiencia de la transferencia de calor y reducir potencialmente el tamaño del equipo de refrigeración del automóvil.
- La aplicación de nano-fluidos magnéticos en amortiguadores se aprovecha para aumentar la eficiencia de control de vibración.
- Los nano-recubrimientos están siendo aplicados en rodamientos, cilindros y válvulas por su resistencia al desgaste en superficies duras.
- La alta eficiencia de las nanocapas en materiales semiconductores proporcionan componentes mejorados para aplicación en sistemas electrónicos, airbag, frenos antibloqueo.
- Las nanopartículas se aplican en la optimización de los componentes convencionales como baterías, catalizadores, celdas solares o pilas de combustible.

En general se puede decir que: la nanotecnología ha revolucionado la industria automotriz con el uso de materiales nanoestructurados que mejoran propiedades físico-mecánicas, térmicas, de estabilidad, conductividad, etc.

CAPÍTULO 6.- ÁREAS DE OPORTUNIDAD Y PERSPECTIVAS A FUTURO

Debido al desempeño que proporcionan los materiales nanoestructurados, específicamente en el sector automotriz, se considera importante seguir realizando investigación sobre nuevos materiales con otros tipos de nanopartículas y polímeros, para aplicación ya sea en nuevas piezas o también para mejorar algunas de las ya utilizadas actualmente, sin embargo habría que tomar en cuenta que el automóvil más prometedor con aplicaciones nanotecnológicas comprende lo siguiente:

- Uso de materiales mejorados con nanotubos de carbono, grafeno y otras nanopartículas, que forman nano-estructuras proporcionando mejoras mecánicas, térmicas, y en propiedades de apariencia en piezas plásticas.
- Recubrimientos y encapsulantes en la resistencia al desgaste y a la corrosión, modificando la permeabilidad y la apariencia de las piezas.
- Las nanopartículas incluidas en los líquidos de refrigeración proporcionan un rendimiento térmico mejorado.
- En las interfaces de unión el ciclo térmico y la resistencia al rompimiento son mejorados.
- Las aleaciones de metal presentan mayor resistencia mecánica.
- Tanto la matriz metálica como la cerámica obtienen una mejora mecánica en las propiedades.
- Pantallas con menor costo y mayor rendimiento.
- Las baterías para vehículos eléctricos y pilas de combustible con mejora de capacidad energética.
- El aumento de la densidad de energía térmica requiere innovaciones en los nuevos refrigerantes, con propiedades térmicas mejoradas utilizando nano- fluidos.

CÁPITULO 7.- RECOMENDACIONES

De acuerdo a la información recopilada en este estudio se recomienda lo siguiente:

- El tamaño no convencional y las propiedades físicas/químicas de los nanomateriales prometen avances tecnológicos sin precedentes, sin embargo estas mismas propiedades también presentan retos importantes para predecir y gestionar el potencial para la salud, pueden penetrar en las células permitiendo el acceso directo al torrente sanguíneo y depositarse en los órganos del cuerpo.
- La interacción de los materiales con el cuerpo biológico y sus sistemas, causan riesgos para la salud, es recomendable utilizar medidas preventivas para evitar un contacto directo con la preparación y fabricación de materiales nanoestructurados para aplicación en piezas automotrices.

Debido a estos problemas, es importante apegarse a prácticas para el manejo, uso y desecho de estos materiales. Es esencial la evaluación del riesgo para la salud y la atención a cada etapa de su preparación. Esto se justifica debido a la incertidumbre y pocos datos científicos sobre la toxicidad e impacto ambiental que estos materiales nanocompuestos pueden provocar.

CÁPITULO 8.-REFERENCIAS

- [1] Edward Wallner J. of Nanoparticle reserch Kluwer Academic Publ., Vol 3 No 5-6 pp. 353-360,(2001)
- [2] Choi S U.S in Developments and applications of Newtonian flows, edited by Singer D.A. American society of mechanical enginers.Vol. 231/MD-Vol 66p.99 New York (1995)
- [3] Verónica Alcántara.Nanomateriales, el futuro automotriz Marzo 2008
- [4] George H.Stout.Lyken H.Jensen X-Ray structure determination edition ed.Wiley
- [5] Woodleand MC, Lu PY. Nanoparticles deliver RNAttherapy. Nanotoday;8:34–41(2005)
- [6] Arturo García-Bórquez; Microscopía y análisis de nanoestructuras, Depto. de Ciencia de Materiales, ESFM-IPN, Ed. 9-UPALM, 07738 México D.F.
- [7] Anderson, R., Mascorro, J. ,Anderson , D. Diseño por microscopia en instrumentación analítica Volumen (10) numero 6.(2002)
- [8] David Bernal Williams Transmission Electron Microscopy. A Text Book For Materials Science.Plenum Press, New York, (1996).
- [9] S. Komarnenei, Nanocompuestos J.Mater.Chem., Vol. 2 1219-1230,(1992).
- [10]<<http://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=23934.php>>.
- [11] LW Carte,J. Hendricks ,Bolley D.S ,Vol 2 (1950)
- [12]Nanocompuestos, nanopartículas, nanoarcillas, y los nanotubos BCC Research, <http://www.bccresearch.com/report/NAN021C>. (2006)
- [13] Frost & Sullivan El mercado potencial para las aplicaciones de los nanomateriales de carbono, (2011).
- [14] QZ Zhao, MB Nardelli, J. Bernholc, "La resistencia final de los nanotubos de carbón un estudio teórico",*Rev. B.*, 65 pp.144105, (2002)
- [15] W. Faul, VDI-Matech. EUROMAT, Mu"nchen, Based on estimations from Audi, (1999).

- [16] M. Moseler, U. Landmann, *Science* 289 (2002).
- [17] A. Vyatkin, V. Starkov, V. Tzeitlin, H. Presting, J. Konle, U. Koönig, *Journal of the Electrochemical Society* 149 (1) G70– G76. (2002)
- [18] J. Konle, H. Presting, U. Koönig, V. Starkov, A. Vyatkin, Nano-sized pore formation in p-type silicon for automotive applications, Proc. 2nd IEEE-NANO2002, IEEE-Nano, Washington, , pp. 457–460. (2002)
- [19] A. Gruhle, DaimlerChrysler Ulm, (2002)
- [20] E. Schmidt-Ihn, DaimlerChrysler Stuttgart (2002)
- [21] F. Pischinger, RWTH Aachen and Porsche.
- [22] C. Liu, Copper use monitoring program results for model years 1998–2003, Brake Pad Partnership project, (2004).
- [23] P. Filip, L. Kovarik, M. Wright, Automotive brake lining characterization, in: Proc. of 15th Annual SAE Brake Colloquium, SAE, Warrendale, PA., p. 319. (1997)
- [24] Y.M. Chan, P. Agamuthu, R. Mahalingam, Solidification and stabilization of asbestos brake lining dust using polymeric resins, *Environ. Eng. Sci.* 17 203–213 (2000)
- [25] Bartholemew, C. H. *Catalysis - A Specialist Periodical Report*, Volume 10; The Royal Society of Chemistry: Cambridge,; 41-82(1993).
- [26] Bellare, A. Dadyburjor, D. B.; Kelly, M. J. J. *Catal.*, 117, 78(1989).
- [27] Grant, A. W.; Hu, Q.-H.; Kasemo, B. *Nanotechnology*, 15, 1175.(2004)
- [28] Yang, W. C.; Zeman, M.; Ade, H.; Nemanich, R. J. *Phys. Rev. Lett.* 90, 136102.(2003)
- [29] Hansen, P. L.; Wagner, J. B.; Helveg, S.; Rostrup-Nielsen, J. R.; Clausen, B. S.; Topsøe, H. *Science*, 295, 2053.(2002)
- [30] Wagner, C. Z. *Elektrochemie*, 65, 581(1961).

CÁPITULO 8.-TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Componentes de FTIR.....	8
Figura 2. Espectros Infrarrojo alquinos-nitrilos.....	9
Figura 3. Esquema de un difractor básico de Rayos X.....	11
Figura 4. Sistema óptico.....	13
Figura 5. Comparación de los diversos microscopios a) Microscopio Óptico, b) Microscopio electrónico de transmisión, c) Microscopio electrónico de barrido.....	16
Figura 6. Micrografías con detector HAADF.....	18
Figura 7. Termograma típico DSC, cambios físicos o químicos (Tg, Tm, Tc, Tox).....	20
Figura 8. Calorímetro diferencial de barrido (DSC).....	21
Figura 9. Equipo para Análisis Termo gravimétrico (TG).....	22
Figura 10. Termograma típico TG a) Curva primaria (TG); b) curva derivada (DTG).....	23
Figura 11. Aplicación de autopartes a base de materiales nanocompuestos poliméricos.....	27
Figura 12. Aplicaciones potenciales de la industria automotriz.....	30
Figura 13. Estructuras porosas con potencial para filtros.....	31
Figura 14. Compuestos semiconductores	33
Figura 15. Imágenes SEM del área en sección transversal.....	36
Figura 16. Imagen SEM de la superficie de fricción, la información topográfica corresponde (b) y (c) información química del material de recubrimiento de freno.....	37
Figura 17. Difractograma de (10 °) difracción de rayos X.....	38
Figura 18. EDX del material residual utilizado en la prueba de fricción.....	39
Figura 19. Micrografías TEM de restos de materiales de fricción para recubrimiento de freno.....	40

Figura 20. Esquema de vista lateral del catalizador modelo Pt/Al ₂ O.....	43
Figura 21. Tasa de contracción VS temperatura, diámetro medio de partícula	45
Figura 22. Imágenes TEM, diámetro y tamaño de partícula.....	46
Figura 23. Diámetro, densidad y volumen medio de partícula.....	47

NOMENCLATURAS

CNT nanotubos

GM General Motors

TPO Poliolefina termoplástica

Hz Hertz

FTIR Infrarrojo por transformadas de fourier

SEM Microscopia electrónica de barrido

TEM Microscopia electrónica de transmisión

MO Microscopia óptica

PR Poder de resolución

CTR Rayos catódicos

BSE Electrones retrodispersos

SE Electrones secundarios

eV Electro voltios

K eV Kilo electrovoltios

HAADF Campo oscuro anular de ángulo alto

EELS Espectroscopia por pérdida de energía

HRTEM Microscopía electrónica de transmisión de alta resolución

T_g Temperatura de transición vítrea

T_m temperatura de fusión

T_c Temperatura de cristalización

N₂ Nitrógeno

O₂ Oxígeno

CaCO₃ Carbonato de calcio

MWCNTS nanofibras de carbono

Germanio

KW kilo voltios

GPa Giga pascales

MPa Megapascales

Ni Níquel

Pt Platino

MBar milibares

mm milímetros

nm nanómetros