



**DOCTORADO EN INGENIERÍA  
ÁREA CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE MATERIALES  
(PROPUESTA DE APERTURA)**

**FACULTAD DE MINAS – Medellín**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA**

Junio de 2004

Documento preparado por Juan Manuel Vélez R  
Profesor Asociado, Universidad Nacional de Colombia.

[jmvelez@unalmed.edu.co](mailto:jmvelez@unalmed.edu.co)

“Crear industrias de exportación, que permitan a la población elevar su estándar de vida y aumentar la riqueza pública, es otro problema que no se resuelve simplemente con trabajo, sino por la aplicación de cerebros privilegiados que investiguen, adapten y experimenten hasta dar con producciones que tengan el triple carácter de ser adecuadas al suelo y a la capacidad industrial de los habitantes, y de valor comerciable en el extranjero”

“Colombia, como otros países en vía de desarrollo, necesita mayor complejidad industrial, no solamente para dar sólida ayuda a su agricultura. La simple explotación de recursos naturales no da suficiente oportunidad al esfuerzo individual; el trabajo en sus formas elementales tiende a limitar las aptitudes de la comunidad y a empequeñecer su horizonte mental. ....”

*Extractos de la conferencia de Alejandro López*

*“Colombia y su Desarrollo Económico”*

*Londres 1928*<sup>1</sup>

---

1 En: Génesis y escritura de “Idearium Liberal” de Alejandro López; Por Alberto Mayor Mora, Profesor Universidad Nacional de Colombia. Capítulo introductorio a “Idearium Liberal” Alejandro López, Colección de Autores Antioqueños, Volumen 101, Medellín 1996

## ***1 PRESENTACIÓN***

La industria colombiana y específicamente el sector que se ocupa de la transformación de materiales, no presenta tradición de investigación y desarrollo. El aprendizaje de nuevos procesos se realiza empíricamente, limitándose a la adaptación de técnicas y procesos desarrollados por agentes exógenos, y casi siempre sin la debida incorporación de los conocimientos conceptuales que involucran esas técnicas. Algunas empresas disponen de laboratorios, normalmente para pruebas de control de calidad, dedicados principalmente a atender las necesidades de evaluación de sus productos.

El interés por el desarrollo de nuevos materiales (cerámicas avanzadas, polímeros, compuestos, aleaciones, materiales alternativos, etc.) y nuevas técnicas de procesamiento (plasma, láser, etc.) queda relegado al entorno académico. En éste ambiente se generan importantes ideas en relación con la modificación de procesos convencionales y se proponen otros que pueden convertirse en innovaciones que generarían mayor competitividad. Sin embargo, los “frutos tecnológicos” de esos esfuerzos aun no aparecen de manera sistemática.

La capacitación en maestría y doctorado de docentes e investigadores de las universidades más importantes de la región, y de algunas industrias, ha incrementado la capacidad de acompañar los avances en ciencia y tecnología de materiales. En la actualidad, se desarrollan proyectos relacionados con cerámicos avanzados, biomateriales, recubrimientos vítreos y cerámicos, bio procesamiento de minerales, celdas de combustibles, procesos de microfabricación, materiales naturales, entre otros.

Esperamos que el trabajo en estos temas produzca resultados que se concreten en la innovación de productos y procesos con valor agregado de conocimiento y propicien la creación de microempresas de alta tecnología.

La expedición de la Ley 29 de 1990 y los Decretos 393, 585 y 591 de 1991, mediante los cuales se conforma el SNCyT, constituye un avance importante en materia de política científica y tecnológica en el país en las últimas décadas. Del SNCyT se derivó en 1995 el Sistema Nacional de Innovación –SNI–, con el objeto de implementar una estrategia de desarrollo empresarial orientada a la generación de nuevos productos y procesos, a la adaptación tecnológica, a la capacitación avanzada de trabajadores y a la adopción de cambios en la cultura empresarial<sup>2</sup>. Este sistema, conformado por Universidades, Centros de Desarrollo Tecnológico, Centros de Investigación, sector productivo, Colciencias y los Ministerios, ha buscado reducir la diferencia entre los mundos académico e industrial. Sin embargo, este esfuerzo se encuentra en su inicio dada la dificultad de integrar las entidades que lo conforman.

Con el propósito de mejorar en el corto plazo las relaciones universidad – industria – estado, en esta área del conocimiento, se propone la creación de un programa de Doctorado en Ingeniería, con énfasis en Ciencia y Tecnología de Materiales que incremente la complejidad tecnológica de la industria transformadora de materiales y la tasa de innovación en la región y el país.

---

<sup>2</sup> POLITICA NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA 2000-2002. Documento Conpes 3080. República de Colombia. Departamento Nacional de Planeación. Santa Fe de Bogotá, D.C., junio 28 de 2000

Para lograr este objetivo es necesario incrementar la formación de investigadores en esta área de la ciencia y tecnología, que sean actores destacados en la generación de nuevos desarrollos que permitan crear empresas intensivas en alta tecnología y capital humano, más dinámicas e innovadoras.

## **2 CIENCIA E INGENIERÍA DE MATERIALES**

### **2.1 EL NUEVO CAMPO DEL CONOCIMIENTO**

Los materiales tienen una estrecha relación con los desarrollos tecnológicos alcanzados por la sociedad. Esto se confirma al analizar los cambios experimentados por ésta en el último siglo; la revolución de la información, basada en la radio, la televisión, las diferentes clases de telecomunicaciones, la computación y los sistemas de control tienen como base común el desarrollo del chip de silicio. Los metales y sus aleaciones han evolucionado hacia la optimización de sus propiedades. Los materiales cerámicos, poliméricos y compuestos han revolucionado la industria automovilística y aeronáutica. Los materiales estructurales han evolucionado permitiendo realizar construcciones cada vez más sólidas, estéticas y resistentes a la corrosión y a los sismos. Otros avances importantes están en las áreas de los biomateriales, la nanotecnología, los microsistemas, etc.

En los últimos cincuenta años, el campo intelectual de la Ciencia e Ingeniería de Materiales empezó a tener un piso sólido y desde entonces ha ganado reconocimiento como un tema interdisciplinario con cuerpo teórico propio debido a la contribución de este campo de la ciencia al desarrollo de la sociedad. Sin nuevos materiales y su eficiente producción sería imposible el desarrollo de los mecanismos y equipos con los que cuenta el mundo moderno: computadores, equipos de comunicación, aviones, carros, robots, etc.

La Ciencia e Ingeniería de Materiales es un área fundamental para el desarrollo de industrias competitivas, que son la fortaleza de la economía de un país; la solución a muchos de los problemas en la industria se encuentra en la frontera de la investigación de esta área del conocimiento. La comunidad científica conoce hoy la estructura y las propiedades de los materiales a un grado no conocido 30 años atrás. Un elemento común entre los diferentes trabajos recientes en el área de materiales, es la combinación controlada de átomos, radicales y moléculas para obtener propiedades específicas, calculadas a partir de los principios básicos que gobiernan esas uniones. Los Ingenieros y científicos de esta área deberán dirigir sus esfuerzos hacia un mejor entendimiento y control de las unidades fundamentales que constituyen la materia: átomos, radicales, moléculas, cristales y arreglos no cristalinos<sup>3</sup>.

THE NATIONAL RESEARCH COUNCIL (USA) <sup>4</sup> reconoció la Ciencia e Ingeniería de materiales como una nueva área estratégica para el conocimiento. Este importante campo donde confluyen la ciencia y la ingeniería surge de una mirada integradora de los materiales: la experiencia ha mostrado que las propiedades y fenómenos que un material exhibe están íntimamente relacionados con su composición y estructura, en todos los niveles (se incluye aquí el tipo de átomos y la forma como ellos son arreglados en el material) y que esa estructura

---

<sup>3</sup> World Conferencie on Science. SCIENCE FOR THE TWENTY-FIRST CENTURY. A New Commitment. Thematic meeting I.13. Science and New Materials. Published in 2000 for the UNESCO. ISBN 1 903 598 001.

<sup>4</sup> Materials Science and Engineering for the 1990s: Maintaining Competitiveness in the Age of Materials (1989) NATIONAL ACADEMY PRESS. Washington, D.C. 1989. en <http://www.nap.edu/books/0309039282/html/index.html>

obtenida es el resultado de la síntesis y procesos. Finalmente, ese material debe desarrollar una tarea determinada dentro de unas limitaciones económicas y sociales.

Son esos elementos – propiedades, estructura y composición, síntesis y procesamiento, y desempeño – y la fuerte interrelación entre ellos los que definen el campo de Ciencia e Ingeniería de Materiales. Esto es ilustrado de forma esquemática en la Figura 1, donde cada uno de los vértices de la pirámide representa un elemento.

- Las propiedades o fenómenos que hacen un material interesante para su uso.
- La estructura y la composición, que incluyen el tipo de átomos y la forma como ellos se arreglan y que determinan las propiedades y desempeño.
- Síntesis y procesamiento, a partir de los cuales los arreglos atómicos son alcanzados.
- El desempeño, la medida de la utilidad del material en condiciones reales de aplicación.

Con frecuencia la literatura presenta una diferenciación entre Ingeniería de Materiales y Ciencia de Materiales<sup>5</sup>, dando una connotación tecnológica a la primera y científica a la segunda. La Ciencia de Materiales es una ciencia interdisciplinaria en la que confluyen principalmente la Química (preparación, caracterización y propiedades químicas) y la Física (estudio de las propiedades físicas). El objetivo de esta ciencia es predecir las propiedades de los materiales a partir del conocimiento de los fenómenos y el control de las diferentes variables que gobiernan su estructura, en los diferentes niveles que esta se presenta: estructura electrónica, enlace atómico, estructura cristalina, microestructura y macro estructura.

La Ingeniería de Materiales, por otro lado, tiene como objetivo estudiar los procesos de fabricación, la selección y el comportamiento de los materiales frente a agentes externos, como esfuerzos estáticos y dinámicos, ataque de ambientes corrosivos, presencia de calor, fenómenos de radiación y vibraciones. Este último aspecto incluye la evaluación del desempeño del material, cualitativa y cuantitativamente, a la luz de la normatividad nacional e internacional; también es importante reconocer las relaciones existentes entre el desempeño y los elementos que forman la base de la pirámide.

En la actualidad, la frontera entre esas dos disciplinas se hace cada vez más difusa y es común referirse hoy a “ciencia e ingeniería de materiales” como el área responsable del desarrollo tanto científico como tecnológico de los materiales y el procesamiento de los mismos. Lo que se debe resaltar es que ambas disciplinas, en la actualidad, están soportadas en los cuatro elementos antes mencionados.

La exploración práctica de la investigación en nuevos materiales y procesos ha tenido un crecimiento efectivo en la medida que el entendimiento y el grado de control de características como la composición, la microestructura y las propiedades han progresado, permitiendo la aplicación de modelos teóricos a problemas cada vez más complejos. Los investigadores en CIM

---

<sup>5</sup> Smith F. William. Fundamento de La Ciencia e Ingeniería de Materiales. Mc Graw Hill. Tercera edición. 1998.

pueden ahora analizar y controlar las propiedades de los materiales en formas que eran difíciles de imaginar pocos años antes.

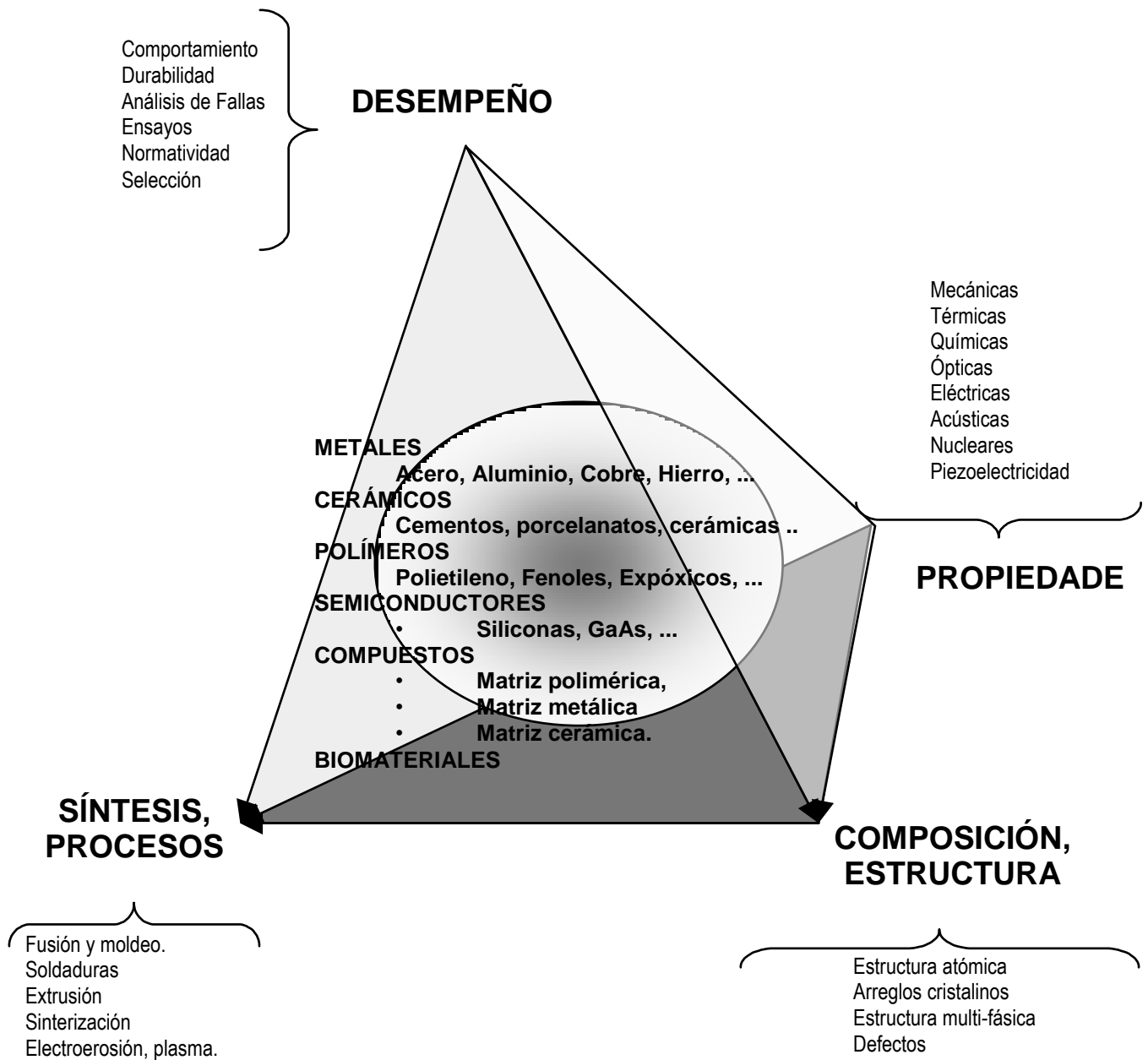


Figura 1. Tetraedro que representa los diferentes elementos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales<sup>4</sup>.

A escala atómica, el desarrollo de instrumentos como el Microscopio de Tunelamiento y el Microscopio Electrónico de Transmisión (MET) pueden revelar, la estructura interna de los

materiales. Los equipos que utilizan descargas iónicas o moleculares permiten construir elementos depositando capas sucesivas de átomos y monitorear los procesos en escalas de tiempo tan cortas que las diferentes etapas de los arreglos atómicos formados y las reacciones químicas pueden ser distinguidas. Los computadores constituyen una herramienta importante en la predicción de las estructuras y de los procesos dependientes del tiempo, partiendo del número atómico de los constituyentes.

A escalas mayores, los investigadores están comenzando a construir estructuras con cristales o granos que contienen pequeños agrupamientos de átomos. También, se están encontrando nuevas propiedades en materiales “nanocompuestos”, materiales compuestos a escala de nanómetros. El tamaño de los componentes electrónicos es reducido rápidamente y se aproxima al tamaño de pequeños grupos de átomos.

En las escalas de microestructura y de macro estructura, superiores a la nanométrica, también hay una dinámica importante en la investigación en materiales. Los desarrollos en este ámbito incluyen compuestos modernos, elementos obtenidos por solidificación direccional, cerámicas tenaces, etc. La tendencia actual se dirige hacia los microprocesos, o sea, la fabricación de componentes de tamaño reducido a través de procesos controlados vía computador, en los cuales la etapa de modelamiento es una componente fundamental.

### **2.1.1 Materiales Estructurales.**

Las propiedades de los materiales estructurales, tenacidad, resistencia, dureza, rigidez, y peso, por ejemplo, son determinadas por la interacción de átomos a través de sus arreglos moleculares o cristalinos y de sus defectos, así como de características correspondientes a una escala mayor de la estructura que incluyen grietas y otras heterogeneidades microscópicas.

Entonces, la habilidad para predecir y controlar la estructura de los materiales en las escalas mencionadas, desde las dimensiones de la retícula hasta lo microscópico, es fundamental para desarrollar materiales estructurales que alcancen el desempeño necesario para acompañar los objetivos del desarrollo tecnológico, económico de las naciones. Un ejemplo de gran importancia es la reducción conseguida en el peso de los materiales para un mismo nivel de resistencia, o sea, el aumento de la relación resistencia/peso, sin la cual no hubiese sido posible el desarrollo de navegación aérea y la realización de los viajes espaciales.

En las últimas décadas el desarrollo de los materiales estructurales ha pasado de ser una actividad guiada por el empirismo a una actividad cada vez más apoyada en la teoría. Un ejemplo de esto lo constituye el diseño de aleaciones, que se ha beneficiado fuertemente de la aplicación de los principios fundamentales, para entender la relación estructura – propiedades, y de los instrumentos avanzados para conocer los complejos mecanismos de deformación, fractura y degradación.

### **Metales**

Como se mencionó antes, a través del diseño de aleaciones puede establecerse de forma anticipada el desempeño óptimo de aleaciones metálicas ya sean solas o combinadas con cerámicos (materiales compuestos). El avance reciente más significativo en el área de metales



está relacionado con desarrollo de nuevos procesos y el control de los mismos. Los métodos de colada continua (década de los 70s) se han extendido a la producción de láminas delgadas. La aplicación de la magneto-hidrodinámica a la producción de metales y semiconductores es un campo de gran actividad en los tiempos recientes. En el área de tratamiento de superficies y recubrimientos los avances más significativos están en el área de aplicación de técnicas basadas en plasma y en láser para lograr recubrimientos con fines funcionales, protectivos o decorativos. A continuación se mencionan algunos de los temas más relevantes en el desarrollo reciente de los metales y sus aleaciones:

**Materiales monofásicos de grano fino.** Estos son logrados a través de métodos de solidificación rápida y control de crecimiento de grano. Tales materiales pueden alcanzar una excelente combinación de resistencia, ductilidad y resistencia a la corrosión.

**Aleaciones reforzadas por dispersión y aleaciones duplas.** Técnicas avanzadas, tales como la aleación mecánica, permiten crear una configuración microestructural única que tiene propiedades ideales en todas las direcciones y con microestructuras aptas para soportar altas temperaturas.

**Materiales Compuestos.** Combinaciones innovadoras de matrices metálicas, cerámicas, e ínter metálicos son ejemplos claros de materiales producidos por diseño. Aquí, el proceso es el parámetro controlador de la calidad obtenida.

**Estructuras producidas por capas y películas.** Estos son ejemplos de creación de microestructuras por colocación de capas atómicas de material.

En todos los casos mencionados, es esencial el entendimiento de los fundamentos de los mecanismos de falla – fractura, fatiga, fluencia, fricción y desgaste- para alcanzar la microestructura ideal para una aplicación específica. Los modelos actuales de mecánica de la fractura son limitados a dos dimensiones lo cual puede enmascarar detalles muy importantes. Actualmente se hacen esfuerzos para extender esos modelos y/o desarrollar otros nuevos que tengan en cuenta la interacción atómica en tres dimensiones.

En lo que respecta a los procesos de conformación es importante mencionar que es el área que más refleja el estado de desarrollo tecnológico de la industria de un país. En una economía mundial globalizada la continua modernización de los procesos productivos, acoplada a sistemas inteligentes que permitan la optimización de los materiales y del ensamblaje de componentes es el camino para alcanzar la competitividad en el mercado mundial. El desarrollo de procesos como inyección, conformación en estado semisólido, fundición con solidificación rápida, etc. Los sistemas flexibles de manufactura han elevado la calidad de las piezas obtenidas e procesos de maquinado y estampado, gracias a la presencia de la robótica como elemento controlador del proceso.

## **Cerámicos.**

Pocos años atrás el proceso de los cerámicos se limitaba a la separación y beneficio de minerales naturales y a su sinterización. En la actualidad, los cerámicos avanzados y aun los producidos convencionalmente son producidos a partir de materiales puros con procesos que incluyen la condensación, precipitación en soluciones acuosas y técnicas de sol-gel. Muchos materiales

cerámicos son procesados, aleados y refinados en estado líquido, seguidos algunas veces por solidificación rápida. Conformación en prensas isostáticas, forja y extrusión de cerámicos están representando un papel importante en la fabricación de elementos cerámicos.

Otros procesos importantes son la obtención de granos ultra finos por condensación desde el estado de vapor, laminado controlado, nucleación heterogénea y agitación electromagnética. La fabricación de mono cristales libres de dislocaciones o con baja densidad de dislocaciones son obtenidos a partir de crecimiento desde el líquido.

La atracción de los cerámicos como material estructural es debida a la excelente combinación de propiedades físicas: baja densidad, alto esfuerzo de compresión, alta dureza y resistencia a la abrasión. Son resistentes a alta temperatura, excelentes aisladores eléctricos y térmicos y químicamente inertes. Si la investigación puede adicionar otras dos propiedades como son la tenacidad y la facilidad de proceso, los cerámicos serán en el futuro un material único.

### **Polímeros.**

Los polímeros presentan una gama de propiedades que los hacen únicos para aplicaciones donde se combinan alta resistencia mecánica, alta flexibilidad y poco peso, además de sus propiedades ópticas y eléctricas específicas: Se destacan los polímeros adhesivos son utilizados hoy en uniones en la industria meta mecánica. Los polímeros reforzados con fibra están reemplazando a los metales en aplicaciones estructurales, como por ejemplo en el refuerzo del concreto. También están encontrando interesantes aplicaciones biomédicas.

Una tendencia actual es hacia el desarrollo de materiales compuestos de poliméricos de matriz polipropileno reforzada con fibras, partículas y cargas de materiales inorgánicos. Los materiales más investigados han sido el talco y la mica. Sin embargo los últimos desarrollos han sido enfocados hacia el desarrollo de nanocompuestos polímero/arcilla y polímero/silicato. Este trabajo ha inspirado la investigación hacia la fabricación de nanocompuestos con base en polipropileno con partículas dispersas de monmorilonita<sup>6</sup>.

Las técnicas computacionales son extensivamente aplicadas al mejoramiento de los polímeros existentes y al diseño de polímeros novedosos, con basen en conocimientos fundamentales sobre la estructura y las dinámicas en un amplio rango de escalas. Se busca conocer las relaciones entre la estructura química, los fenómenos de ordenamiento y el desempeño para el desarrollo de nuevas tecnologías. Ejemplos de ello son: organic light emitting diodes (OLEDs), aplicaciones a baterías y celdas de combustible, modificación de superficies por polímeros con fines de biocompatibilidad.<sup>7</sup>

---

<sup>6</sup> E. Manias,\* A. Touny, L. Wu, K. Strawhecker, B. Lu, and T. C. Chung. Polypropylene/Montmorillonite Nanocomposites. Review of the Synthetic Routes and Materials Properties. Chem. Mater. 2001, 13, 3516-3523

<sup>7</sup> G. WEGNER. FUNCTIONAL POLYMERS. Acta mater. 48 (2000) 253±262

## **Compuestos**

Los compuestos son materiales híbridos formados por dos o más materiales que mantienen sus identidades cuando son combinados. Usualmente, una propiedad de un compuesto se encuentra entre los valores de esa propiedad que presentan sus constituyentes, pero no siempre. Algunas veces la propiedad del compuesto es mucho mayor que en cualquiera de los constituyentes.

El entendimiento y control de los cambios químicos que ocurren durante la creación del compuesto serán críticos para explorar el gran potencial que presenta esta familia de materiales. Para esto se requiere el concurso de investigadores metalurgistas, físicos, químicos tanto en el campo teórico como experimental. Los compuestos presentan su mayor debilidad en las interfaces entre las diferentes fases presentes, y hacia allá se dirigen los esfuerzos de los investigadores en la actualidad. La geometría del refuerzo también constituye un área de interés para el estudio de estos materiales.

Los materiales compuestos de matriz metálica y de matriz cerámica, aún presentan costos altos comparados con los metales, pero su futuro es promisorio. Se trabaja hoy en el desarrollo de nuevos procesos tecnológicos que disminuyan los costos. La unión de los materiales compuestos a otros materiales es un problema de gran importancia práctica, la colocación de partes de estos materiales en ensamblajes complejos es difícil. Si las propiedades del material de la junta no son iguales o superiores al las del compuesto la ventaja de la utilización del compuesto se ve disminuida.

### **2.1.2 Materiales electrónicos**

Los materiales electrónicos incluyen semiconductores, cerámicos, polímeros, metales. Esos materiales tienen hoy una importancia estratégica importante debido al acelerado desarrollo de la industria electrónica. La optimización individual de cada uno de ellos debe ser acompañada por la investigación de la interacción entre los materiales entre sí. Por ejemplo, el proceso de información y comunicación al mundo ocurre por conexión de líneas metálicas con chips, circuitos integrados u otros componentes fabricados de otros materiales.

## **Semiconductores**

Son los constituyentes principales en los sistemas electrónicos. Aunque hay otros materiales en desarrollo, elemento principal continua siendo el silicio. Sus características, como alta resistencia mecánica, alto grado de perfección cristalina, su abundancia natural y su bajo costo, lo hacen un material atractivo y ha alcanzado una participación grande en los circuitos integrados. La competencia hoy se centra en la producción de circuitos más densos lo que resulta en menores costos y mayores tasas de almacenamiento de datos facilitando la fabricación de sistemas cada vez menores. El desarrollo de estos materiales ha estado ligado a los procesos con técnicas que involucran alto vacío para el crecimiento epitaxial en bajas temperaturas o la condensación de vapores químicos (CVD). Estos procesos han abierto grandes posibilidades tanto en investigación como en la fabricación de mecanismos.

Aunque el silicio será el material dominante en la industria electrónica por mucho tiempo, se están haciendo esfuerzos para desarrollar semiconductores compuestos como el arseniuro de galio (GaAs) para aplicaciones específicas. Este material provee mayor capacidad de frecuencias que el silicio y es ópticamente activo. Su fabricación es restringida por serios problemas de proceso relacionados con la diferencia de reactividad química de los componentes.

## **Cerámicos y Polímeros**

Los cableados e interconexiones electrónicas proveen una interfase entre los mecanismos semiconductores y el mundo externo. Los niveles tecnológicos necesarios en estos elementos están relacionados con los tamaños y requerimientos de desempeño de los mecanismos mencionados. Los requerimientos de los materiales de los sustratos en los cuales se colocan los chips son fácilmente entendidos, pero en la práctica esos materiales generan un grupo grande de interacciones que es necesario resolver.

En el desempeño de esos componentes es de vital importancia el proceso seguido para su obtención. La aproximación a esas tecnologías requiere de un dominio acertado de los procesos avanzados de fabricación con controles computarizados para alcanzar la precisión necesaria. Aquí aparece, como en otros tópicos tratados antes, la importancia de los procesos más que de los materiales en sí.

## **Metales**

Los componentes metálicos sirven para un gran número de funciones en los sistemas electrónicos, desde las líneas de transmisión dentro y entre mecanismos hasta los sistemas magnéticos para el almacenamiento de información. El avance más significativo es la reducción de tamaño de los cableados para atender a chips cada vez menores.

La investigación en esta área se centra en la estabilidad de los contactos entre semiconductores, uniones del metal con los semiconductores y con las líneas de comunicación, compatibilidad química y estructural con los materiales aislantes y el efecto del ambiente.

Otros materiales de gran importancia solo serán mencionados aquí en este contexto, pero también merecen la atención de los profesionales involucrados en el área de Ciencia e Ingeniería de Materiales. Se hace referencia a los materiales magnéticos y a los biomateriales, los cuales tienen un número grande aplicaciones en la industria y la medicina.

### **2.1.3 Biomateriales**

El término biomateriales ha sido utilizado alternativamente para describir materiales derivados de fuentes biológicas o para describir materiales utilizados para terapias en el cuerpo humano.

La aplicación de cerámicos y vidrios como biomateriales ha sido exitosa. La cerámica hidroxiapatita es utilizada desde hace casi tres décadas, en ortopedia, odontología y cirugía facial. La hidroxiapatita  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$  es el componente mineral principal de los huesos, representa el 43% de su peso y es altamente estable y biocompatible. Se ha tenido éxito en su uso para

desarrollar nuevas prótesis e implantes. Su mayor aplicación en biomedicina es la formación de recubrimientos delgados sobre prótesis. La aplicación de tales recubrimientos es realizada normalmente mediante la proyección de plasma en aleaciones Ti-6Al-4V y Co-Cr lo cual ha dado gran homogeneidad y resistencia a la capa<sup>8</sup>.

El uso de polímeros en la medicina es ya tradicional, hay aplicaciones conocidas desde que se inició el campo de los polímeros. La utilización de Nylon, PMMA, poliéster fue reportada desde los años cuarenta. Después las aplicaciones se ampliaron al campo de las prótesis, los lentes, las válvulas, etc. En la actualidad el campo se dirige hacia la modificación de propiedades y la biocompatibilidad para optimizar el desempeño de estos materiales en vivo.<sup>9</sup>

#### **2.1.4 Comentarios generales sobre este panorama de la investigación en CIM**

Es de importancia mencionar que el desarrollo de los materiales no es autónomo en sí mismo, requiere un gran componente de trabajo interdisciplinario. No se puede avanzar en el conocimiento de los fundamentos que rigen la constitución y el desempeño de los materiales sin esfuerzos conjuntos entre físicos, químicos, ingenieros metalúrgicos, ingenieros de materiales, ingenieros de proceso e ingenieros mecánicos. Entre todos esos profesionales debe haber una comunicación muy fuerte que permita colocar al servicio de la investigación y del desarrollo tecnológico sus conocimientos específicos y sobre todo las metodologías adquiridas para llevar a cabo la solución de problemas en la industria y acometer el desarrollo de nuevos productos.

De gran importancia es el papel que juegan aquí los procesos. Se hace referencia a procesos convencionales, dotados de sistemas de automatización y control, y a los procesos nuevos que permiten la fabricación de componentes de pequeño tamaño, necesarios en los equipos modernos. Aquí se hace un llamado de atención para que la capacitación del personal docente se enfoque hacia nuevas tecnologías de procesos de fabricación y se abandone la visión de entregar al medio un profesional formado en tecnologías que el propio medio ya domina, a veces con superior eficiencia que la propia universidad. Un comentario similar es válido para la prestación de servicios.

Es importante mencionar que, normalmente, el tiempo transcurrido entre el desarrollo en laboratorio de un material o producto, que involucre desarrollo en materiales o procesos ha sido del orden de 20 años en los países con alto desarrollo tecnológico. Si embargo, este tiempo tiende a disminuir debido a las nuevas estrategias utilizadas para la innovación. Las sinergias derivadas del trabajo conjunto empresa-universidad promueve esa disminución ya que permite una visualización e implementación de las posibles aplicaciones de nuevos materiales.

Finalmente, vale la pena mencionar que los grandes desarrollos actuales van ligados a la utilización de equipos de instrumentación de alta tecnología, que permitan el trabajo investigativo a escalas atómicas, pues como fue expuesto antes desde allí se diseñan y definen las propiedades de los materiales para aplicaciones novedosas.

---

8 Shackelford J.F., Güemes A. Introducción a la Ciencia de Materiales para Ingenieros. 4ª Edición, Printice Hall, 1998

9 L. G. GRIFFITH. POLYMERIC BIOMATERIALS. Acta mater. 48 (2000) 263±277.

## **2.2 CONTEXTO REGIONAL Y NACIONAL**

### **2.2.1 Contexto Tecnológico e Industrial**

Colombia presenta una economía en la cual las ventajas competitivas provienen del bajo costo de factores productivos, como la mano de obra y el acceso a recursos naturales. Las empresas generan productos relativamente simples; la tecnología es asimilada a través de importaciones, inversión externa e imitación, y se observa una manufactura intensiva en mano de obra y orientada a la explotación de recursos naturales. El sector agrícola aún cuenta con una importante participación en el PIB; en la industria están presentes, fundamentalmente, los sectores químico, de alimentos, bebidas y tabaco, manufacturas de madera, papel y cuero, sector textil y confecciones. La industria en Antioquia conserva la misma composición descrita pero con un papel dominante de la industria textil y de confecciones. Esas actividades industriales para Antioquia representaron para el año 2000, cerca del 70% del valor agregado generado por la industria.

En el caso particular del Departamento de Antioquia, la prórroga en el largo plazo de este modo de producción, considerando un crecimiento anual de las exportaciones del 6%, un incremento del 2,5% en la demanda interna y de 1% en la productividad, y sin desarrollo de capacidades de innovación en el tejido empresarial, el desempleo en Antioquia superaría el 20%, en el año 2015 y el ingreso per cápita solo alcanzaría 2600 dólares anuales. Si la economía antioqueña sigue produciendo los mismos bienes que hoy produce, intensivos en mano de obra y capital, seguirá una tendencia inercial que perpetuará su subdesarrollo.

El único camino viable para un crecimiento económico sostenible y una mayor vinculación de la población a la generación de bienestar, es la creación de nuevas capacidades sociales para la producción de bienes de mayor valor agregado, y para la innovación en nuevos productos intensivos en tecnología y conocimiento.

Un ejercicio de prospectiva realizado considerando un plazo de 15 años, que presenta una Antioquia con ingreso per cápita de US7000 y una tasa de desempleo del 4%, podrá lograrse a partir de: crecimientos anuales de las exportaciones y de la demanda interna del 10 y 4,5% respectivamente, y con tasas anuales de productividad del 4%. Este despegue estaría justificado fundamentalmente por una tasa anual de innovación del 5%. Para lograr esta meta la región debe trazar su propia ruta tecnológica y evitar seguir huellas de otros países o regiones, debe encontrar sus fortalezas y potenciarlas incorporando mayor valor agregado a sus productos.

Lo anterior, sugiere que el departamento de Antioquia necesita realizar un esfuerzo grande para desarrollar ciencia y tecnología en los campos correspondientes a la industria tradicional y en nuevos campos, que como la informática, la tecnología de comunicación y la electrónica, bienes de capital, industria química y farmacéutica, son áreas de gran valor agregado. Este esfuerzo tendrá resultados positivos si se realiza de manera concertada entre los diferentes actores involucrados en el desarrollo de la ciencia y la tecnología.

Colombia cuenta con un Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología (SNCyT), que a su vez esta conformado por Sistemas Regionales estructurados tal como aparece en el esquema de la figura 2, cuya política está encaminada a mejorar las condiciones de los productos nacionales en los mercados internacionales, aumentando así nuestra capacidad competitiva; para ello, apoya los

procesos de modernización, fortalece la infraestructura de investigación, incrementa la inversión privada y fomenta la interacción entre centros tecnológicos, empresas y universidades. Dentro del SNCyT fue creado el Sistema Nacional de Innovación (SNI), que es una "red de instituciones en el sector público y privado cuyas actividades e interacciones inician, importan, modifican y difunden nuevas tecnologías"<sup>10</sup>. Este sistema debe servir como apalancamiento para las actividades de ciencia y tecnología, sin embargo se hace necesario una mayor integración entre los participantes, además del fortalecimiento de otros, como son los centros de desarrollo y los grupos de investigación, esto para lograr potenciar el desarrollo del departamento desde una estrategia de innovación.

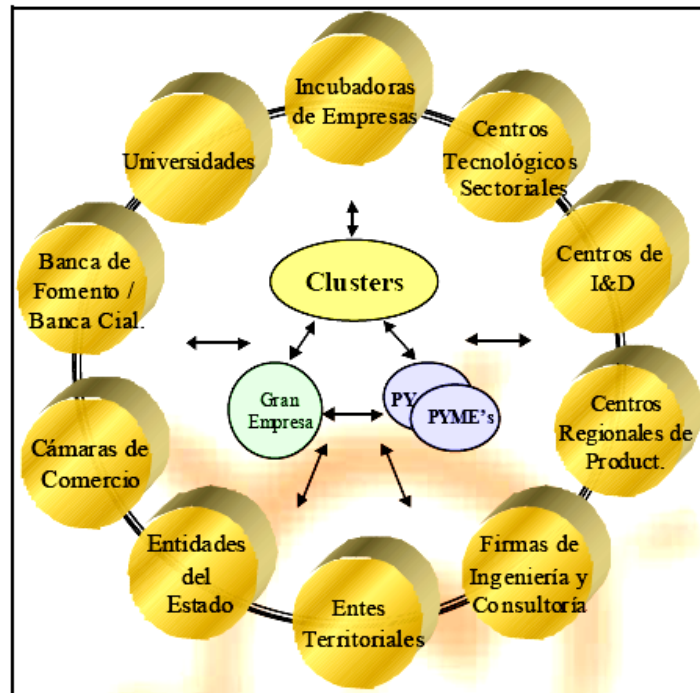


Figura 2. Diferentes actores que conforman un sistema regional de ciencia y tecnología.

El Sistema Regional de Ciencia y Tecnología (SRCyT) también busca que los investigadores den a conocer los procesos y resultados de sus investigaciones y que la sociedad pueda apropiarse de este conocimiento para su beneficio. En este sentido, en la región es necesaria una colaboración más productiva entre la Universidad y la Industria; la manera en que estas dos instituciones se relacionen constituye una característica determinante de cualquier sistema de innovación que se proponga.

En el documento del proyecto “Construcción de la Agenda de Innovación Científica y Tecnológica para Medellín y Antioquia” (primera entrega), se presenta la posible estructura económica de Antioquia en el año 2015, con base en una dinámica de crecimiento sustentada en innovación (Ver Tabla 1). Ese escenario proyecta una industria manufacturera que participaría

<sup>10</sup> “La política tecnológica y las PYMEs: fundamentos, objetivos y desafíos” Daniel Chudnovsky. Documento preparado para la Mesa Redonda organizada por el Banco Interamericano de Desarrollo sobre “Difusión, Asimilación y Uso de la Tecnología en las Empresas” 9-10 de febrero de 1998, Washington DC

con un 27% del PIB, y en su estructura predominarían sectores intensivos en tecnología y conocimiento tales como: productos químicos; fibras, textiles y confecciones; equipo de transporte; alimentos, bebidas y tabaco; y equipo eléctrico, electrónico y óptico.

**TABLA 1**  
Referente de la estructura económica en Antioquia al 2015

Actividad Económica	2000		2015	
	%	Mill. US\$	%	Mill. US\$
Agricultura, ganadería, caza, selvicultura y pesca	12.6	1264.4	5.5	2502.5
Explotación de minas y canteras	1.6	161.6	1.0	455.0
Manufactura	20.2	2852.1	27.0	12285.0
<i>Química, productos químicos</i>	13.5	385.0	14.0	2457.0
<i>Equipo electrónico, eléctrico y óptico</i>	3.9	111.2	10.0	1474.2
<i>Alimentos, bebidas y tabaco</i>	21.4	610.3	11.0	1351.4
<i>Madera y productos de madera, Pulpa y productos de papel, publicidad e imprenta</i>	8.1	231.9	8.0	982.8
<i>Otros productos minerales no metálicos</i>	8.9	253.8	5.0	614.3
<i>Maquinaria y equipo, no clasificados</i>	1.8	51.3	6.0	737.1
<i>Metalurgia y productos metálicos</i>	5.6	159.7	11.0	1351.4
<i>Manufactura no clasificada</i>	2.9	82.7	3.0	368.6
<i>Caucho y productos de plástico</i>	3.9	111.2	6.0	737.1
<i>Textiles y confecciones, cuero y productos de cuero</i>	26.3	749.8	12.0	982.8
<i>Equipo de transporte</i>	3.3	94.1	14.0	1228.5
Electricidad, gas y agua	4.3	380.3	2.0	910.0
Construcción	5.6	190.1	6.5	2957.5
Comercio, reparación, restaurantes y hoteles	11.7	1207.4	13.0	5915.0
Transporte y comunicaciones	5.8	636.9	7.0	3185.0
Actividades financieras, inmobiliarias y de alquiler, y servicios empresariales	20.4	1616.1	20.0	9100.0
Servicios sociales, comunales y personales	17.8	874.6	18.0	8190.0

Fuente: Cálculos de los autores

En términos de empleo, esa prospección prevé una disminución sustancial de las personas empleadas en el agro, y su traslado hacia otras actividades, principalmente: Industria manufacturera, construcción y actividades de servicios empresariales. Esto sería el resultado de mayores capacidades y habilidades adquiridas por la fuerza laboral a través del tiempo, como respuesta a una estrategia competitiva y de crecimiento, basada en la agregación de mayor valor a la producción a partir de la ciencia, la tecnología y la innovación.

Una mirada al panorama actual y futuro de la industria antioqueña permite afirmar que el Programa de doctorado en Ingeniería, en el área Ciencia y Tecnología de Materiales, en conjunto con los programas de otras universidades, puede constituirse en un eslabón importante del Sistema de Ciencia y Tecnología de Antioquia y del Sistema Nacional de Innovación. Los materiales constituyen un factor clave en el desarrollo tecnológico. Esta área es transversal, establece vínculos estratégicos con otras áreas de gran importancia para el desarrollo de la región como son: manufactura, industria médica, industria electrónica, metalurgia y productos metálicos, construcción, industria de transporte, etc.

Para insertarse en el SRCyT y en el SNI, la investigación en el área de materiales en nuestro medio, debe comprender una componente fuerte de I+D (investigación y desarrollo). Según el



Manual de Frascati<sup>11</sup> la investigación y el desarrollo experimental (I+D) comprenden el trabajo creativo llevado a cabo de forma sistemática para incrementar el volumen de conocimientos, incluido el conocimiento del hombre, la cultura y la sociedad, y el uso de esos conocimientos para crear nuevas aplicaciones. El término I+D engloba tres actividades: investigación básica, investigación aplicada y desarrollo experimental. La investigación básica consiste en trabajos experimentales o teóricos que se emprenden principalmente para obtener nuevos conocimientos acerca de los fundamentos de los fenómenos y hechos observables, sin pensar en darles ninguna aplicación o utilización determinada. La investigación aplicada consiste también en trabajos originales realizados para adquirir nuevos conocimientos; sin embargo, está dirigida fundamentalmente hacia un objetivo práctico específico. El desarrollo experimental consiste en trabajos sistemáticos que aprovechan los conocimientos existentes obtenidos de la investigación y/o la experiencia práctica, y está dirigido a la producción de nuevos materiales, productos o dispositivos; a la puesta en marcha de nuevos procesos, sistemas y servicios, o a la mejora sustancial de los ya existentes.

El Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia (CTA), ha liderado desde el año 1997 la creación de un programa doctoral en Antioquia, que sea el resultado del uso conjunto de recursos universitarios y que se ocupe de temas estratégicos para el desarrollo de la región y el país<sup>12</sup>. En ese programa dentro del área de Industria se considera el área de Materiales con las siguientes líneas de investigación: Ciencia de los materiales, Tratamientos y procesamientos, nuevos materiales y Biomateriales.

Es conveniente, entonces, dar una mirada al panorama nacional de la industria en el, con énfasis en el área de materiales y su procesamiento; esto dará una orientación sobre los posibles aliados en la búsqueda de avances y desarrollos tecnológicos en el programa de maestría actual y del doctorado propuesto en este documento.

### **Sector Metalmecánico**

En Colombia, las pymes representan la mayor fuerza productiva (40%), generan más del 60% de empleos y evidencian un crecimiento notorio en el número y en el nivel de exportaciones. Si en 1998 había 3.507 exportadores pymes (hasta 100.000 dólares por año), en 2002 el número ascendió a 6.313, y para el 2005 la perspectiva es que 8.000 pymes tengan orientación exportadora. Esto muestra que las PyMES son un sector dinámico y productivo.<sup>13</sup>

En lo que concierne al sector metalmecánico, es bien conocido su impacto en el desarrollo de cualquier país y en particular en el crecimiento industrial. La presencia de las microindustrias metalmecánicas tiene gran importancia por sus aportes al sector industrial y a la economía en general, medidos en términos del valor agregado, la generación de empleo y las inversiones de activos. El sector microindustrial metalmecánico está conformado por un número alto de

---

11 PROPUESTA DE NORMA PRÁCTICA PARA ENCUESTAS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EXPERIMENTAL. Medición de las actividades científicas y tecnológicas. ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y DESARROLLO ECONÓMICOS –OCDE-. Manual de Frascati 2002- ISBN 84-688-2888-2. Edición en español: Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT). Publicado por acuerdo con la OCDE, París. © 2003

12 Un Proyecto y un Consenso para el avance académico y el desarrollo productivo del Departamento de Antioquia. Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia.

13 Visión Exportadora. Revista Cambio Enero de 2004. En: <http://www.cambio.com.co/html/especiales/articulos/2018/>

industrias. Su complejidad abarca desde la fabricación de elementos menores hasta la de material que demanda una base tecnológica sofisticada

La cadena metalmeccánica se inicia con la transformación de minerales ferrosos y no ferrosos. Las industrias básicas de hierro y acero realizan el proceso de transformación del mineral de hierro a través de la fundición en altos hornos o de reprocesamiento de chatarra en las siderurgias semi integradas, hasta la fase de productos semiacabados en talleres de laminación; es decir, la producción de lingotes, tochos, planchas o barras y piezas fundidas; también se realiza la laminación y estirado en frío y en caliente de formas básicas. Las industrias básicas de metales no ferrosos, por otro lado, desarrollan procesos que incluyen la fundición, aleación, estirado y laminación, empleando metales no ferrosos como el aluminio, el cobre, el zinc, el estaño, el níquel y el plomo, a partir de los cuales se obtienen lingotes, barras, láminas, perfilería, varillas y piezas fundidas y extruidas<sup>14</sup>. Todos estos materiales constituyen a su vez materia prima para los procesos realizados por las pequeñas y medianas industrias del sector metalmeccánico.

Es evidente que este sector se encuentra en franco atraso con respecto al avance de las tecnologías en los países desarrollados, es decir su complejidad tecnológica es baja. Además, es un sector fuertemente dependiente de materias primas importadas, hecho que se ha incrementado con la apertura económica, lo cual les resta competitividad en esos mercados y capacidad exportadora. En términos generales, en el sector no hay procesos fuertes en el desarrollo de la innovación y su desarrollo se encuentra en las fases de metodologías de copia, con ausencia total de nuevas tecnologías. El ambiente innovativo está por construir en las microempresas; una fiel expresión de esta situación son las pocas innovaciones aportadas al mercado y el gran peso que tiene la copia en los procesos innovativos del diseño.

El diagnóstico anterior, que muestra a las PyMES del sector metalmeccánico como un componente importante de la economía pero con una capacidad tecnológica reducida, muestra que existe un escenario propicio para que las universidades que realizan investigación en el área de ciencia y tecnología de materiales asuman como reto de sus programas de posgrado, el estudio de esas deficiencias buscando solucionar los problemas relacionados y aumentar la complejidad tecnológica de la PyMES. Este proceso de aproximación puede iniciarse a través de la realización de proyectos investigación y desarrollo planteados conjuntamente, con el apoyo económico de agencias de cooperación nacionales (sistema SNCyT) o internacionales en los cuales se vinculen estudiantes de maestría y doctorado. En este terreno ya existen proyectos en marcha con empresas del sector que se describen en el numeral de este documento.

## **Sector Materiales Cerámicos:**

### **Cerámica Tradicional**

La industria cerámica se caracteriza por ser básica para las operaciones de otras industrias. Por ejemplo, los refractarios son un componente básico de la industria metalúrgica. Los abrasivos son esenciales en las industrias metalmeccánica y de automovilística. Los productos de vidrio son

---

14 Unidad de Desarrollo Empresarial - División de Microempresas - Ministerio de Desarrollo Económico - Santa Fé de Bogotá – 1997. Documento del Departamento Nacional de Planeación, página web: [http://www.dnp.gov.co/ArchivosWeb/Direccion\\_Desarrollo\\_Empresarial/Informacion\\_sectorial/Microempresas/metalmeccanica/Metalmeccanica.htm#3](http://www.dnp.gov.co/ArchivosWeb/Direccion_Desarrollo_Empresarial/Informacion_sectorial/Microempresas/metalmeccanica/Metalmeccanica.htm#3)

esenciales en las industrias del automóvil, la construcción, productos químicos, de alimentos, salud, productos de hogar. Los cementos forman parte fundamental de la industria de la construcción. Varios materiales cerámicos con características especiales eléctricas y magnéticas son de gran importancia para el desarrollo de mecanismos electrónicos de gran uso en hogar, oficina e industria. Los cerámicos son involucrados en estos componentes debido a su particular combinación de propiedades: químicas, eléctricas, mecánicas, térmicas, y estructurales. En estos sistemas el componente cerámico determina el comportamiento del total del sistema.

El sector de los cerámicos es importante, primero, porque estos materiales constituyen en sí una gran industria fuertemente relacionada con otras ramas de la industria y, segundo porque sus propiedades los hacen aptos para muchas aplicaciones en diferentes ramas de la ingeniería.

Las propiedades de los materiales cerámicos son determinadas en gran parte por la estructura cristalina y la composición química de sus constituyentes esenciales, así como de la naturaleza y cantidad de minerales adicionales presentes. Además, las características mineralógicas de estos materiales y por lo tanto sus propiedades cerámicas presentan amplia variación según el lugar de extracción de los minerales. En Colombia existe la necesidad de realizar investigación orientada a generar conocimiento nuevo sobre materias primas, beneficio de materiales no metálicos, materiales y productos para la industria cerámica tradicional.

El sector productor de vidrio en Colombia está centrado en la producción de botellas, vidrio plano, vidrio de seguridad, fibra de vidrio, frascos, vasos y copas. Otros sectores de esta industria se relacionan con la fabricación de cerámica refractaria y no refractaria (productor de baldosas para pisos, vajillas y productos sanitarios de porcelana) y la industria del cemento. En cuanto a la industria ladrillera, su inicio data de los tiempos de la colonia y hoy es una industria consolidada, aunque presenta deficiencias en relación con el desarrollo de tecnologías y caracterización de materias primas.

De acuerdo a lo anterior puede afirmarse que el sector de la cerámica tradicional está bien establecido en Colombia; sin embargo en un estudio del sector realizado en 1996<sup>15</sup>, se han detectado falencias que es necesario resolver, entre ellas:

- No se cuenta con la infraestructura adecuada y el recurso humano idóneos para desarrollar investigaciones de punta, relacionadas con las materias a primas y con los productos y procesos.
- Es necesario mejorar las especificaciones y normas actuales de los materiales
- Gran vulnerabilidad del sector de materiales frente a avances tecnológicos, desarrollados en países avanzados.
- Existe carencia de laboratorios para ensayos y certificaciones de sus productos, así como de investigación en materiales y orientación y asistencia técnica en la solución de problemas productivos.

---

<sup>15</sup> Estudio de prefactibilidad de creación del “Centro de productividad y desarrollo tecnológico del sector de la cerámica, vidrio y afines.” Autor: Guillermo L. Bustamante Alzate, Consultor, Abril 30 de 1996

- Es necesario realizar un esfuerzo mancomunado entre estado, sector productivo y academia para mejorar las condiciones competitivas del sector, que se encuentra en desventaja frente a otros países
- Existen problemas de calidad y altos precios de las materias primas nacionales, lo que a veces obliga a pensar en su importación.
- Los procesos y equipos, en su mayoría, son adquiridos en el exterior

### **Cerámicas Avanzadas**

En el caso de las cerámicas avanzadas, que tienen un alto valor agregado durante la manufactura, tales como cerámicas magnéticas, cerámicas electrónicas, refractarios especializados, recubrimientos, etc. apenas aparecen investigaciones puntuales que se realizan en algunas universidades. En la fabricación de estos materiales la calidad de las materias primas es un factor crítico; normalmente es necesario y apropiado realizar una purificación química o una preparación química de las materias primas<sup>16</sup>, este es el caso de las cerámicas ferro eléctricas (Titanato de Bario) que usa reactivos químicamente puros para su fabricación. En este tema se han desarrollado proyectos de investigación que muestran resultados alentadores.

En este sentido, vale la pena destacar la producción de recubrimientos cerámicos desarrollados y aplicados para disminuir el impacto de la corrosión y el desgaste de herramientas y componentes de maquinaria. Se trata de películas delgadas, de naturaleza cerámica (TiN, TiAlN, TiB, TiC, etc.), aplicadas sobre metales o polímeros a través de la deposición química o física de vapores. Aunque estas técnicas no son nuevas, recientemente ha ocurrido un incremento importante de la producción científica sobre el tema, principalmente debido a las variantes introducidas por la utilización de técnicas asistidas por plasma para la aplicación de los recubrimientos. Los procesos desarrollados recientemente tienen como característica la participación de investigadores de diferentes áreas del conocimiento: físicos, químicos, ingenieros de materiales, ingenieros metalúrgicos, ingenieros mecánicos, tribologistas. En Colombia se están desarrollando grandes esfuerzos para dominar estas tecnologías, principalmente en laboratorios universitarios pero con el objetivo de llegar a la implementación de procesos industriales.

En el campo de la aplicación de cerámicos y vidrios como biomateriales se vienen desarrollando proyectos importantes tanto en la Universidad Nacional sede Medellín como en la Universidad de Antioquia, en esta última se trabaja en un proyecto relacionado con la creación de una microempresa para la producción de hidroxapatita<sup>17</sup>.

Otro campo de interés de recubrimientos cerámicos es la producción de recubrimientos sol-gel sobre superficies metálicas y la aplicación. El propósito es desarrollar recubrimientos vítreos sobre aleaciones metálicas de uso biomédico, que contengan partículas bioactivas con el fin de mejorar sus propiedades en cuanto a resistencia a la corrosión, bioactividad y biocompatibilidad.

---

16 Introduction to Ceramics, W.D. Kingery et al. 2ND Edition; Wiley Series on Science and Technology of Materials. 1975

17 En Universidad de Antioquia: <http://bicentenario.udea.edu.co/leg01-07.html>

Otros temas de trabajo en cerámicas no tradicionales son la exploración e implementación de procesos de fabricación de pigmentos cerámicos usados en la industria, así como caracterización de los mismos, y el estudio de coloración de cementos grises y blancos de distintos fabricantes colombianos utilizando pigmentos inorgánicos, fundamentalmente Azul Ultramar. Se estudia la utilización de un recubrimiento (polímero inorgánico) en el pigmento para inhibir las reacciones de intercambio iónico.<sup>18</sup>

Finalmente, en la Universidad Nacional se viene trabajando en los últimos dos años en el área de los electrocerámicos, específicamente sobre varistores, con el fin de recuperar y fabricar este tipo de materiales, de uso ampliamente extendido en nuestro medio, con el objeto de proteger la infraestructura eléctrica del país a nivel de pararrayos, corta picos, etc. La investigación en materiales electrocerámicos tiene gran interés científico en la actualidad, lo que se debe a las múltiples aplicaciones de estos materiales en memorias ferroeléctricas, componentes eléctricos y electrónicos, etc. Las cerámicas electrónicas hacen parte del 70.5% del mercado mundial de cerámicas de alta tecnología, donde los termistores / varistores responden por el 6.7%.

### **Sector Materiales Plásticos (Materiales Poliméricos)**

El sector de manufacturas de plástico es intensivo en la utilización de mano de obra, ubicándose en el quinto renglón entre los sectores industriales con mayor empleo permanente contratado. Del empleo permanente, 34% por ciento es generado por la gran industria, 42% por ciento por la mediana industria y 24% por la pequeña industria. El sector industrial de productos plásticos en Colombia ha sobresalido por el dinamismo y crecimiento dentro de la manufactura colombiana que lo ha llevado a ser de los sectores de mayor auge y desarrollo en los últimos años. En 1974, la industria de productos plásticos representaba 1.8% de la industria manufacturera, para 1980 su participación ascendió a 2.3%, en 1990 a 3.0% y en el 2000 a 4.3%.<sup>19</sup> Luego de una caída en el 2001, retoma su crecimiento y se consolida como sector exportador. Sin embargo, la globalización económica ha generado la demanda de mayores niveles de calidad en sus productos, lo cual se ha reflejado en los diferentes renglones del sector: control de calidad de materias primas, diseño de productos, estado de obsolescencia de la maquinaria y fabricación de moldes.

En los aspectos relacionados con el diseño de productos, procesamiento y capacitación el país ha avanzado significativamente a través de la creación de centros de desarrollo tecnológico orientados a la formación de recurso humano y asistencia a la industria, destacándose el ICIPC (instituto de Capacitación e Investigación del Plástico y del Caucho) y el CDT ASTIN (Centro de Desarrollo Tecnológico de Asistencia Técnica a la Industria – SENA).

Respecto a la fabricación de moldes, se han identificado deficiencias importantes. En Colombia no se ha consolidado un sector industrial capacitado en el diseño y la fabricación de moldes, esto ha llevado a los procesadores a recurrir a los fabricantes extranjeros de moldes de inyección; quienes ofrecen una mejor calidad, un menor tiempo de entrega y un mejor servicio pre y pos

---

18 Restrepo OJ., Restrepo R., Correa S., Pulgarín DE. Implementación de una metodología para la fabricación de pigmentos cerámicos a través de las vías tradicional y sol-gel

19 Colombia: El sector plástico en pos del crecimiento. Lenin Monak Salinas, Bogotá, Colombia, Octubre 2002. [WWW.plastico.com](http://WWW.plastico.com)

venta. Adicionalmente, los fabricantes de moldes colombianos no tienen la capacidad de producir moldes de gran tamaño<sup>20</sup>.

Esta constituye un área de trabajo interesante para la ciencia e ingeniería de materiales. El estudio de los mecanismos de desgaste y de falla de los moldes, el desarrollo de moldes en materiales alternativos al acero, los tratamientos superficiales y la aplicación de recubrimientos son áreas de trabajo interesantes para desarrollar tesis de maestría y doctorado, que conduzcan a una mejora en la competitividad de la industria. Estos desarrollos deberán hacerse de manera coordinada con los procesadores y con las demás instituciones que tienen fortalezas en los temas de diseño de productos y procesamiento de material.

La velocidad con la que pasan de moda algunos productos o un volumen de producción pequeño, hacen que los costos de producción se eleven debido al alto valor de los moldes fabricados en aceros de herramientas. Esta situación lleva a la necesidad de considerar materiales alternativos para la fabricación de moldes de inyección. Ante esta realidad, las aleaciones de aluminio y cobre se convierte en alternativa interesante para la fabricación de moldes e insertos para el proceso de inyección de plásticos. Un molde para inyección de termoplásticos fabricado en una aleación de aluminio de alta resistencia puede sustituir, en muchos casos, moldes convencionales en acero. Las principales ventajas tanto para el fabricante del molde como para el procesador de termoplásticos son: bajo peso; facilidad y rapidez en el mecanizado; tiempos de ciclo de inyección más cortos y fácil manipulación.<sup>21</sup>

Otras áreas de acción relacionados con los materiales poliméricos son el estudio de la degradación de estos materiales tanto por acción mecánica como química. El estudio tribológico de los polímeros es un campo de sumo interés en el cual trabaja actualmente el grupo de tribología y superficies de la Universidad Nacional, Sede Medellín.

### **2.2.2 Contexto Académico**

En Colombia ha habido un aumento importante de la conformación de grupos de investigación que se ocupan de temas relacionados con la ciencia y la tecnología de materiales, como lo evidencia la lista presentada a continuación de los grupos del área de materiales que respondieron la convocatoria COLCIENCIAS 2004. Como se puede observar el número de grupos es significativo.

Ciencia de materiales

*Ciencia y Tecnología de Materiales*

Grupo de investigación en tecnología cerámica

Grupo de investigación afis (análisis de fallas, integridad y superficies)

Grupo Materiales Compuestos

Grupo de Cerámicos y Vítreos

---

20 Guarín Alvaro, Páramo Gabriel. “Estudio del estado del arte de Moldes de Inyección en Colombia.” Revista Universidad EAFIT N° 128, Páginas 53-63

21 Peña José Ricardo, “Moldes en aleación de aluminio: Una opción para la industria”. - Instituto de Capacitación e Investigación del Plástico y el Caucho, Medellín, Colombia, Mayo 2002. En [www.plastico.com](http://www.plastico.com)

Grupo de Investigación en Materiales Procesos y Diseño  
Grupo de Investigación en Materiales y Estructuras de Construcción INME  
*Grupo de Tribología y Superficies*  
Investigaciones Pirometalúrgicas y de Materiales-GIPIMME  
Recubrimientos Duros y Aplicaciones Industriales  
Grupo de investigación sobre nuevos materiales  
Ciencia y tecnología de materiales cerámicos (cytemac)  
Grupo de investigación en tecnología cerámica  
Grupo de investigación en geomecánica aplicada  
Grupo de investigación en materiales siderúrgicos  
Grupo de investigación sobre nuevos materiales  
Grupo Materiales Compuestos  
*Grupo de Cerámicos y Vítreos*  
Grupo de Corrosión y Protección  
Grupo de Investigaciones en Corrosión  
Grupo de Investigaciones en Minerales, Biohidrometalurgia y Ambiente  
Investigaciones Pirometalúrgicas y de Materiales-GIPIMME  
Procesos Metalmecánicos Eco-eficientes  
Recubrimientos Duros y Aplicaciones Industriales  
Corporación Centro Red Tecnológico Metalmecánico CRTM  
Corporación para la Investigación de la Corrosión  
Grupo de investigación en nuevos materiales y sus tecnologías de fabricación -newmatef-  
Grupo de Carbones  
Grupo de Investigación en Carbones (GICA)  
Grupo de Investigación en Desarrollo y Tecnología de Nuevos Materiales  
Grupo en Ciencia e Ingeniería de Materiales CITEMA  
Ciencia e Ingeniería de Materiales  
Grupo de Investigación Aplicada en Polímeros  
CIPEM - Centro de Investigaciones en Propiedades Mecánicas y Estructura de los Materiales  
Grupo de Soldadura  
Grupo de investigaciones en geología, minas y metalurgia extractiva  
Física de la materia condensada  
Física de Materiales  
Física y Tecnología del Plasma y Corrosión  
Grupo de física de la materia condensada  
Grupo de metalurgia física y teoría de transiciones de fase  
Grupo de Estado Sólido  
Grupo de Física de Nuevos Materiales  
Magnetismo y Materiales Avanzados  
Laboratorio de Física del Plasma  
Ciencia y Caracterización de Materiales  
Física de materiales  
Física aplicada del estado sólido  
Grupo de superconductividad y nuevos materiales

Adicional a la consolidación de grupos de investigación, se percibe un aumento de la apertura de programas de formación de pregrado y posgrado en esta área del conocimiento y la adquisición de equipos de alta tecnología, necesarios para la caracterización y producción en laboratorios de materiales avanzados, ponen de manifiesto la importancia de esta área del conocimiento.

En la Universidad Nacional existe una experiencia acumulada en investigación en el área de de materiales que se refleja en la existencia de grupos de investigación y el desarrollo de laboratorios en diferentes campos de esta área. La Sede Medellín cuenta con cuatro (4) grupos de investigación, resaltados en la lista anterior, que constituyen una base sólida para estructurar un programa de doctorado en ingeniería con énfasis en Ciencia y Tecnología de Materiales

Las Universidad Nacional y otras Universidades del medio realizan esfuerzos para desarrollar trabajos conjuntos con la industria, con la visión de participar en la solución de sus problemas. Estos esfuerzos se cristalizan mediante la formulación de proyectos de investigación y desarrollo, apoyados por COLCIENCIAS, las Universidades y otras entidades externas, estatales y privadas. Ejemplos de estos en la Universidad Nacional lo constituye la realización de proyectos con empresas como: Tratar S.A, Bonem, Ingenio Manuelita, COTECMAR (Operador de Astilleros), Mina el Zancudo, Mineros S.A.

El presente programa de doctorado se plantea uniendo esfuerzos entre las facultades de Minas y Ciencias de la Sede Medellín y Ciencias y Administración de la Sede Manizales.



### **3 ANTECEDENTES**

El programa de “Doctorado en Ingeniería” fue creado en la Universidad Nacional de Colombia mediante el Acuerdo Número 82 del Consejo Superior Universitario, Acta Número 18 del 11 de septiembre de 1991. El Consejo Académico de la Universidad, mediante Acuerdo Número 15, Acta Número 5 del 11 y 12 de octubre de 1991, aprobó el respectivo Plan de Estudios.

El Artículo 3º del Acuerdo de creación establece que: “El programa de Doctorado en Ingeniería se desarrollará dentro de las áreas de investigación que por su trayectoria, recursos y nivel de desarrollo sean autorizadas por el Consejo Académico para participar en el programa de Doctorado”. Actualmente, en este sentido se han aprobado las siguientes áreas dentro del Doctorado en Ingeniería:

Ingeniería Química - Sede Bogotá

Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos - Sede Medellín

Sistemas e Informática - Sede Medellín

Análisis de Sistemas Energéticos - Sede Medellín

Ingeniería Eléctrica - Sede Bogotá

Automática – Sede Manizales

El plan de desarrollo de la Facultad de Minas 2002-2005 estableció como meta el desarrollo de varias áreas estratégicas, con el fin de que se constituyan en ejes temáticos en los cuales diferentes disciplinas confluyen con el propósito de abordar problemas nacionales de alto grado de complejidad. La definición de estas áreas tiene como propósito fomentar el trabajo interdisciplinario, estimular la creación de redes que permitan consolidar la comunidad académica en el ámbito nacional e internacional. Una de las áreas definida como estratégica, es el área de Ciencia e Ingeniería de Materiales.

Coherente con la definición de esta área, la Facultad de Minas creó dentro de su reforma administrativa la Escuela de Ingeniería de Materiales y el Instituto de Ciencia e Ingeniería de Materiales. Ambos entes reúnen un grupo de docentes e investigadores altamente capacitados que han iniciado un trabajo conjunto e interdisciplinario alrededor de temas concernientes a la tecnología de materiales que pueden ser estratégicos para el desarrollo del país.

En esa línea de acción fue creada la Maestría en Ingeniería, con énfasis en Materiales y Procesos, por el Consejo Académico según acuerdo N° 004 del 18 de Abril de 2001. El programa cuenta en la actualidad con aproximadamente 30 estudiantes matriculados, y cinco personas han obtenido el título de Magíster.

La orientación principal del programa es formar Maestros con sólidos conocimientos en el área, con capacidad para aplicarlos en la investigación, análisis y solución de problemas específicos en el campo industrial. Propiciar el desarrollo científico y tecnológico del medio y estrechar el vínculo Universidad-Sector Productivo, mediante la realización de trabajos de investigación que sean de interés para ambos. Las líneas de investigación del programa son:

**Mineralogía Aplicada y Biotecnología de Minerales.**

**Procesamiento de Materiales, Reología de suspensiones.**

**Tribología.**

**Materiales cerámicos.**

**Transformaciones de Fase en Metales y Aleaciones.**

**Ciencias del Carbón.**

La propuesta de la Línea de Investigación en Ciencia y Tecnología de Materiales del doctorado cuenta con el respaldo de importantes grupos de investigación, reconocidos por Colciencias, que son listados a continuación. Una presentación detallada se encuentra en el Anexo numero 1.

<b>Grupo</b>	<b>Sede, Facultad</b>	<b>Director</b>
<b>GRUPO DE CERÁMICOS Y VÍTREOS (CyV)</b>	Medellín, Ciencias	Pablo Abad
<b>CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE MATERIALES (CTM)</b>	Medellín, Minas	Juan Manuel Vélez
<b>GRUPO DE TRIBOLOGÍA Y SUPERFICIES (GTS)</b>	Medellín, Minas	Alejandro Toro
<b>GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN FÍSICA DEL PLASMA</b>	Manizales, Ciencias y Administración	Alfonso Devia Cubillos
<b>GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN MINERALOGÍA APLICADA (GMA)</b>	Medellín, Minas	Marco Antonio Marquez

## 4 JUSTIFICACIÓN

El panorama sobre el desarrollo de los materiales, los antecedentes académicos y el contexto regional ya descritos, junto con la política de aumento de la competitividad de la industria trazada desde el gobierno y liderada por el SNCyT llevan a pensar que Antioquia puede y debe desarrollar una capacidad endógena en el campo de ciencia y tecnología (C&T). Según Trindade (Citado por Blanco<sup>22</sup>), la capacidad endógena “abarca más que la habilidad de realizar actividades de investigación y desarrollo ..... Se diferencia fundamentalmente de la capacidad de investigación y desarrollo propiamente dicha porque incluye la capacidad de comprender y administrar nexos bien establecidos con el sistema educacional, el sector productivo, la estructura social y los procesos de regulación y adopción decisiones para el desarrollo. Abarca la formación de artesanos, técnicos, administradores de nivel intermedio, científicos, ingenieros y educadores.....” Es la conjunción de la capacidad endógena y la investigación en C & T lo que permite crear las condiciones para orientar el desarrollo tecnológico en función del crecimiento económico y social del país.

Finalmente, es pertinente resaltar que esta visión sobre la importancia de la Ciencia e Ingeniería de Materiales coincide con los planteamientos de diversos organismos internacionales sobre su papel en el desarrollo tecnológico de las naciones. Los nuevos materiales abren la puerta a las nuevas tecnologías, en las diferentes áreas de la ingeniería: civil, química, construcción, nuclear, aeronáutica, agricultura, mecánica, biomédica o eléctrica. La ciencia e ingeniería de materiales participa en el cambio de la calidad de vida de las personas; su papel está centrado en la aplicación de los materiales con base en las propiedades y estas, están íntimamente relacionadas con su estructura en todos los niveles, incluyendo tipo de átomos y como se unen para formar el material. En la práctica industrial es muy importante entender que esta estructura, y las propiedades resultantes, son controladas por el procesamiento del material. El entendimiento de la relación entre propiedades, estructura, procesamiento y desempeño hace de la Ingeniería de Materiales una ingeniería de interdisciplinaria<sup>23</sup>

Desde este punto de vista, la línea de Investigación en Ciencia y Tecnología de Materiales del Programa de Doctorado en Ingeniería de la Universidad Nacional, busca generar una aproximación con la industria, con el fin de potenciar sus capacidades tecnológicas para aumentar los indicadores de innovación y por tanto la competitividad. Nuestro público objetivo serán las industrias y universidades, en el ámbito regional y nacional, que requieran aporte en esta área.

La unión de los grupos presentados alrededor de una línea de investigación en Ciencia y Tecnología de Materiales constituye una fortaleza de la Universidad Nacional que le permitirá liderar el desarrollo de nuevos materiales, innovación en procesos de transformación de materias primas, participar en la sustitución de importaciones de componentes y materias primas, etc.

---

22 Daniel Blanco “La reconversión industrial del MERCOSUR en el contexto de la globalización” [www.iaaal.usb.ve/90/90-2a.htm](http://www.iaaal.usb.ve/90/90-2a.htm)

23 Tomado de Purdue University: <https://engineering.purdue.edu/MSE/Undergrad/WHATMATERIALS/>

## **5 OBJETIVOS**

Los objetivos de la línea de investigación en Ciencia y Tecnología de Materiales en el programa de Doctorado en Ingeniería son:

- Realizar investigación y desarrollo (I+D) para incrementar el volumen de conocimientos y la creación de nuevas aplicaciones, para incrementar la capacidad tecnológica del país.
- Capacitar profesores universitarios que incrementen y mejoren el trabajo docente e Investigativo en ingeniería en la región y el país.
- Fortalecer la interacción Universidad Industria para el desarrollo de estudios e investigaciones y para el intercambio de experiencias en el campo de la ingeniería y en particular de materiales y su procesamiento
- Formar investigadores en los campos de la línea de investigación propuesta (Procesamiento de Minerales, Procesos de Manufactura, Desarrollo de nuevos materiales, Biomateriales, Caracterización de materiales, Tribología, Materiales cerámicos, Biomineralogía)
- Fortalecer las líneas de investigación en el área de Ciencia e Ingeniería de Materiales que sirven de base al programa de doctorado y al programa de maestría que se desarrolla actualmente.

Estos objetivos se logran fundamentalmente a través de la inserción de los candidatos en los grupos de Investigación y mediante la realización de un trabajo de tesis individual que, insertado dentro de un proyecto de investigación, represente un aporte científico o tecnológico original.

## **6 PROFESIONALES A QUIENES VA DIRIGIDO EL PROGRAMA**

Pueden aspirar al ingreso al programa de doctorado los egresados de programas de ingeniería, afines a la ingeniería de materiales, de ciencias básicas o de otras áreas que muestren condiciones para la investigación avanzada en el área. Es preferible que el candidato tenga formación de maestría.

## **7 PLAN DE ESTUDIOS Y CARACTERÍSTICAS DEL MISMO**

### **7.1 Plan de Estudios**

El plan de estudios se desarrolla fundamentalmente a través de actividades de investigación y exige la realización de una tesis individual que constituya un aporte original a la ciencia o sus aplicaciones. La tabla 2 presenta el plan de estudios propuesto.

Las asignaturas del programa doctoral son explícitamente seleccionadas entre el director y el estudiante para que contribuyan al desarrollo del programa de investigación del candidato. Los cursos deben ser cursos regulares de los programas de posgrado de la Universidad Nacional, o de otra Universidad previa autorización del comité asesor. El comité puede exigir al estudiante cursar un número de asignaturas mayor al establecido cuando considere que es necesario para enfrentar la investigación por parte del estudiante.

Los seminarios contarán con la intervención de diferentes profesores y estudiantes de posgrado; en ellos se analizarán temas relacionados con la propuesta de investigación de los estudiantes.

En todos los casos el comité asesor deberá aprobar el contenido de los cursos y seminarios que el estudiante deba tomar. En el contenido se deben incluir la metodología, mecanismos de evaluación y referencias bibliográficas.

Cuando el estudiante no posea título de maestría en área afín al programa deberá realizar un total de seis (6) cursos. La selección será hecha de acuerdo con el director de tesis.

**Tabla 2. Programa Curricular de Doctorado. Línea Ciencia y Tecnología de Materiales\***

SEMESTRE	CURSOS Y COMPROMISOS	HORAS /S	CREDITOS
01	CURSO I	4	5
01	SEMINARIO DOCTORAL I	4	10
02	CURSO II	4	5
02	SEMINARIO DOCTORAL II	4	10
02	EXAMEN CALIFICACIÓN		20
03	PROYECTO DE TESIS		20
04	TESIS		
05	TESIS		
06	TESIS		100
		Total Créditos	170

\*Este programa corresponde a un aspirante que ha realizado maestría en área afín al programa.

La lista de las asignaturas que actualmente se dictan en la maestría, y que pueden ser tomadas por estudiantes de doctorado son presentados en la tabla 3.

El programa requiere de una dedicación de tiempo completo y una permanencia mínima de seis (6) semestres académicos. Se entiende por dedicación de tiempo completo la disponibilidad plena que debe tener el estudiante para cumplir con el desarrollo del programa del posgrado.

Las actividades de investigación deberán cubrir mínimo 90% del programa.

Los estudiantes de doctorado deberán presentar avances de los resultados de su investigación en seminarios programados semestralmente por el director de la tesis conjuntamente con el coordinador del posgrado.

Adicionalmente, el estudiante deberá preparar artículos para ser presentados en conferencias nacionales e internacionales, así como para someterlos a consideración de revistas nacionales e internacionales

TABLA 3. Cursos ofrecidos actualmente por el programa de posgrado Maestría en Ingeniería, área Materiales y Procesos\*

<u>Fundamentos de Reología</u>
<u>Cinética de la reacción</u>
<u>Pirometalurgia (procesos a alta temperatura)</u>
<u>Fragmentación y clasificación avanzada</u>
<u>Fenómenos de transporte y Equilibrio de Fases</u>
<u>Ingeniería Cerámica Avanzada</u>
<u>Comportamiento Inelástico de los Materiales y Sistemas</u>
<u>Modelamiento Numérico de Materiales y Sistemas</u>
<u>Fundamentos de la teoría de elasticidad</u>
<u>Materiales de construcción I</u>
<u>Materiales de construcción II</u>
<u>Fundamentos de tribología</u>
<u>Microscopía electrónica de barrido de materiales inorgánicos</u>
<u>Mineralogía de metales, óxidos y sulfuros</u>
<u>Caracterización de materiales asociados al cemento</u>
<u>Caracterización y preparación de carbones avanzada</u>
<u>Principios de geoquímica orgánica</u>
<u>Flotación de minerales avanzada</u>
<u>Metalurgia avanzada de la soldadura por fusión</u>
<u>Procesos y metalurgia de la soldadura por fusión</u>

\*Los programas detallados se pueden consultar en la dirección de la Escuela de Ingeniería de Materiales, <http://www.unalmed.edu.co/%7Emaesinge/programa.html>

El estudiante de Doctorado será considerado Candidato a Doctor una vez apruebe el examen de calificación y el proyecto de tesis. Los proyectos de tesis de Doctorado deberán sustentarse públicamente. El Consejo de Facultad, con el concepto de los evaluadores y el resultado de las exposiciones, deberá aprobar o rechazar los proyectos de tesis de Doctorado.

Desde su ingreso al programa al estudiante le será asignado un director de Tesis, que será responsable de orientar al candidato para la elaboración del proyecto de tesis doctoral, la presentación del examen de calificación y para la finalización de la misma.

Los seminarios tienen como objetivo la preparación del proyecto de tesis; los Cursos I y II podrán ser cursos regulares de posgrado en la diferentes facultades de la Universidad Nacional o en otras Universidades con las que se establezca, o podrán ser cursos dirigidos por el director de la tesis.

## **7.2 Sobre la Tesis Doctoral:**

La tesis de Doctorado es un trabajo individual que deberá contribuir con un aporte al campo del conocimiento del programa y ha de ser un trabajo original realizado específicamente para la obtención del respectivo título.

La tesis de Doctorado será evaluada por un jurado calificador de no menos de tres (3) miembros, expertos en el tema de la misma y nombrados por el Consejo de Facultad a sugerencia del Comité Asesor. Los miembros del jurado deben tener el título académico igual o superior al cual opta el candidato o en su defecto deberán ser acreditados por el Consejo de Facultad según los criterios del Comité Nacional de Programas Curriculares. Al menos uno de los miembros del jurado debe ser externo a la Universidad Nacional de Colombia (preferiblemente de una universidad o institución extranjera) y debe pertenecer a una institución de reconocido prestigio académico a nivel internacional.

Los candidatos al título de Doctor deben sustentar su tesis ante el jurado calificador en pleno, en sesión pública convocada por el director del programa o quién ejerza sus funciones

La sustentación de la tesis podrá efectuarse mediante teleconferencia cuando alguno de los jurados o el director de la tesis no pueda asistir a la misma.

Antes de sustentar la tesis el estudiante debe entregar el documento final al Comité Asesor del respectivo programa, quien lo remitirá a los jurados con el concepto escrito del director de la tesis. Los jurados deben pronunciarse por escrito sobre la calidad de la tesis antes de la sustentación pública; este pronunciamiento no es un concepto de aprobación, sino que se refiere al cumplimiento de los requisitos que debe cumplir una tesis de Doctorado. Con base en los conceptos del director de la tesis y de los jurados el Comité Asesor convocará a la sustentación pública de la tesis.

En el caso de la tesis de Doctorado el resumen que contenga el trabajo escrito, deberá ser repartido por el coordinador del programa a universidades e instituciones de reconocido prestigio con el fin de dar a conocer el resultado de los trabajos de Doctorado que se realizan en la Universidad. El Consejo de Facultad definirá, según cada campo del conocimiento, las universidades e instituciones pertinentes. Este resumen deberá estar escrito en castellano y en inglés y el Consejo de Facultad respectivo podrá exigir adicionalmente un resumen ejecutivo de la tesis.

Realizada la sustentación pública, el jurado levantará un acta que hará parte de la hoja de vida del candidato. En el acta figurarán explícitamente, los comentarios del jurado acerca de la calidad de la tesis y se pondrán por escrito las observaciones a la misma. El estudiante recibirá una copia del acta.

La tesis recibirá del jurado una de las siguientes calificaciones debidamente justificadas:  
Aprobada Reprobada

La calificación será asignada por mayoría para el caso de las Maestrías y por unanimidad para el caso de los Doctorados.

En caso de que la tesis haya sido calificada como REPROBADA, el estudiante no podrá optar al título del postgrado correspondiente.

Las tesis aprobadas podrán recibir las siguientes menciones: Meritoria o Laureada

La mención MERITORIA será otorgada por el Consejo de Facultad a solicitud motivada y unánime del jurado calificador. Los criterios generales para otorgar o recomendar estas menciones serán definidos por el Comité Nacional de Programas Curriculares. La mención LAUREADA será otorgada por el Consejo Académico a solicitud del Consejo de Facultad, previa petición motivada y unánime del jurado calificador.

Una vez aprobada la tesis el estudiante deberá entregar al coordinador del programa un original y dos (2) copias que se destinarán así: el original para la biblioteca central, una copia para la biblioteca de la Facultad y la copia restante para el director de la tesis; también deberá entregar la tesis en medio magnético. En el caso de las tesis de la Facultad de Artes, el Consejo de Facultad establecerá la forma en que éstas deben ser entregadas.

## **8 REQUISITOS DE ADMISIÓN**

Para la admisión al programa de Doctorado en Ingeniería, área de Ciencia y Tecnología de Materiales, se deben satisfacer los siguientes requisitos:

- Acreditar un título de pregrado y preferiblemente de maestría, en áreas afines con las definidas por el programa: ingeniería, ciencias básicas u otras áreas afines a la ingeniería de materiales, que muestren condiciones para la investigación avanzada en el área.
- Poseer una hoja de vida académica y/o profesional que le permita al candidato desarrollar el programa de manera satisfactoria. Este requisito se verificará a través de: artículos científicos publicados en los últimos cinco años, participación en proyectos de investigación, rendimiento académico en pregrado y maestría, cuando la haya realizado.
- Poseer conocimientos suficientes y potencial para realizar investigación en las áreas que, evaluados a través de una prueba oral o escrita.
- Presentar al Comité Asesor una propuesta preliminar del tema de investigación de interés del aspirante.
- Tener el respaldo de un grupo de investigación y un profesor, que a juicio del Comité Asesor, sea idóneo para dirigir la tesis.
- Prueba de suficiencia de un idioma extranjero, pertinente para el programa. Para el caso de los Doctorados esta prueba será eliminatoria.

El proceso de selección de los candidatos inscritos para admisión comprende los siguientes componentes (puntaje Máximo/Puntaje mínimo)

Pruebas de conocimiento (400/200)

Examen de comprensión de textos en inglés (100/70)

Estudio de calificaciones obtenidas en pregrado y en maestría. (200/120)



Estudio de Hoja de Vida (150/85)

Entrevista (150/85)

Para ser admitido al programa el aspirante requiere cumplir un puntaje mínimo de 700 puntos; los puntajes mínimos de cada componente deben ser obtenidos. La prueba de conocimientos versará sobre: ciencia de materiales, procesamiento de materiales, propiedades de los materiales.

## ***9 TÍTULO Y REQUISITOS PARA SU OBTENCIÓN***

Para obtener el título de Doctor en Ingeniería, en el área Ciencia y Tecnología de Materiales, el estudiante deberá cumplir los siguientes requisitos:

Haber aprobado todas las asignaturas y actividades contempladas en el plan de estudios de acuerdo con lo señalado en el Artículo 25 del Acuerdo 020 del Consejo Académico (CA). La calificación mínima es 3,5 en la escala de 0,0 a 5,0.

Haber recibido nota aprobatoria en la tesis de Doctorado, de acuerdo con lo estipulado en los numerales 11 a 14 del Artículo 30 del Acuerdo 020 del Consejo Académico.

Acreditar producción intelectual mediante publicaciones. Se exigirá como mínimo una publicación en una revista indexada internacionalmente. Para efecto del cumplimiento de este requisito se tomarán como revistas indexadas internacionalmente a aquéllas que estén catalogadas en cualquiera de las bases de datos del Instituto de Información Científica - ISI. Como revistas indexadas nacionalmente se considera a aquéllas que estén catalogadas en la versión más reciente del índice de Colciencias.

Encontrarse a paz y salvo por todo concepto con la Universidad.

Los demás que establezcan los Reglamentos de los programas curriculares aprobados por la Universidad

Para optar al título de doctor cada Consejo de Facultad podrá exigir como requisito de grado que los estudiantes hayan realizado una pasantía de estudios en una institución de reconocido prestigio en Colombia o en el exterior. Durante esa pasantía el estudiante deberá adelantar parte de su tesis. El tiempo que dure la pasantía hará parte de la permanencia del estudiante en el programa de Doctorado.

## ***10 CUPOS***

Los cupos del programa se definen de acuerdo con la disponibilidad de docentes y proyectos de investigación, realizados por los grupos de investigación que lideran el programa.

## ***11 DISPONIBILIDAD DE PERSONAL DOCENTE***

El grupo de profesores que atenderán el programa está conformado por especialistas con título de doctorado (o profesores titulares de reconocida trayectoria) en el área de ciencia y tecnología de materiales y sus áreas básicas relacionadas. Estos docentes están vinculados a las distintas sedes

de la Universidad Nacional. Los profesores disponibles y vinculados de tiempo completo a la Universidad Nacional de Colombia son (ver hojas de vida en anexo):

**Alfonso Devia Cubillos.** Doctorado en Ciencias Físicas. Universidad de Buenos Aires, U.B.A., Argentina Título: Flujos MHD de Fluidos Conductores entre Paredes Caladas. Postdoctorados en la Univ. Simón Bolívar, USB, Venezuela y en la Universidad de Buenos Aires, U.B.A., Argentina.

**Moises Oswaldo Bustamante Rúa,** Ingeniero de Minas y Metalurgia, Magister en Ciencias de la Ingeniería, Doctor en Ciencias de la Ingeniería, Universidad de Concepción (CHILE).

**Juan Manuel Vélez Restrepo,** Ingeniero Mecánico, Magister en Ingeniería Metalúrgica, Doctor en Ingeniería de Materiales, Universidad de São Paulo (Brasil).

**Marco Antonio Márquez Godoy,** Ingeniero Geólogo, Magister en Geología Económica, Doctor en Geología con énfasis en Minerología aplicada, Universidad de Brasilia (Brasil)

**Pablo de J Abad.** Ingeniero Civil. Magíster en Física Universidad de Puerto Rico, UPR, Puerto Rico. Doctorado en Física Aplicada. Universidad Autónoma de Madrid, U.A.M., España.

**Oscar Jaime Restrepo Baena,** Ingeniero de Minas, Magister en Evaluación de Impactos Ambientales, Doctor en Metalurgia y Materiales Universidad de Oviedo (España)

**Alejandro Toro Betancur,** Ingeniero Mecánico, Doctor en Ingeniería Metalúrgica Universidad de São Paulo (Brasil), Postdoctorado en Lehigh University, L.U., Estados Unidos.

**Marion Beatriz Weber Scharff,** Geóloga, Doctora en Geología Universidad de Leicester (Alemania).

**Claudia Patricia García García.** Ingeniera Geologa. Doctorado en tendencias actuales en Química Inorgánica y Analítica. Universidad Autónoma de Madrid, España 2004

## ***12 INFRAESTRUCTURA***

### ***Laboratorio de Tribología y Superficies. Universidad Nacional de Colombia- Medellín***

Equipo pin – disco para el estudio de desgaste por deslizamiento en seco y con lubricación (Norma ASTM G99).

Equipo pin – lija para la medida del desgaste abrasivo a dos cuerpos (Norma ASTM G132).

Equipo rueda de caucho- abrasivo para el estudio del desgaste abrasivo a tres cuerpos (Norma ASTM G65).

Equipo para realización de ensayos de corrosión-erosión en lodos, con posibilidad de medición de sinergismo por vía electroquímica.

Microscopio estereoscópico Leica Gz6.

Microscopio estereoscópico Olympus PME.

Balanza analítica con resolución de 0.1 mg.

Rugosímetro Mitutoyo SurfTest SJ-210 y software para análisis de datos.

***Laboratorio de Materiales Universidad Nacional de Colombia Medellín.***

Maquina Universal de Ensayos

Equipos par amedida de Dureza y Microdureza.

Microscopio óptico Olympus y Sistema de Análisis de Imagen Leica QWIN

Laboratorio Metalográfico

Microscopio Electrónico de Barrido JEOL 5049

***Laboratorio de Física del Plasma. Universidad Nacional de Colombia- Manizales***

Sistema Automático de Producción de Recubrimientos Asistido por Plasma: diseñado, construido y automatizado en el Laboratorio de Física del Plasma(LAFIP) de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales

Osciloscopio Infiniium HP54845A

Difractómetros BRUKER D8 ADVANCED.

Equipo XPS

Microscopio de Fuerza Atómica

FT-IR Spectrum BX (Perkin Elmer).

Multímetro KEITHLEY 2000

Nanovoltímetro KEITHLEY 182

Osciloscopio TEKTRONIX TDS 524A

Amplificador LOCK-IN EG&G PARC Modelo 5210

***Laboratorio de Análisis Térmico***

Análisis Térmico Simultáneo (STA), que consiste de un sensor de Análisis Termogravimétrico (TG) (rango de temperatura entre 20 y 2000°C), análisis termodiferencial (DTA), entre 20 y 2000°C, y un calorímetro de barrido diferencial (DSC), el cual funciona entre temperatura ambiente y 1600 °C.

Dilatómetro NETZSCH DIL 402C, con dos hornos uno que cubre el rango entre 20 y 1600°C y otro entre 20 y 2000°C, para diversas atmósferas y con facilidades para muestras tanto en bloque como material en polvo.

***Laboratorio de Biomineralogía-Parque De La Minería***

Agitadores orbitales con control de temperatura regulable (dos).

Biorreactor, a escala de laboratorio, con una capacidad para cinco puestos de cinco litros cada uno.

Instalaciones varias del laboratorio.

Microscopio óptico biológico.

### ***13 RECURSOS ECONÓMICOS Y PRESUPUESTO DEL PROGRAMA.***

La fuente principal de recursos económicos para la realización de las tesis doctorales son los proyectos de investigación que presentan los grupos de investigación comprometidos con el programa. Adicionalmente, el programa participará en convocatorias de COLCIENCIAS y La Universidad Nacional para la asignación de recursos para la implementación de nuevos programas doctorales; con estos recursos se podrán financiar adecuaciones, compra de material bibliográfico.

Los costos de matrícula y manutención de los estudiantes serán financiados de diferentes maneras: recursos propios, programa de académicos en formación de la Universidad Nacional, becas COLCIENCIAS para doctorado, recursos de proyectos de investigación.

Dada la orientación de esta línea de investigación del doctorado la solución de problemas nacionales, con interacción dentro del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología, la financiación de las actividades de investigación estará sustentada en la elaboración de proyectos de investigación industria-universidad que serán presentados a Colciencias y a otros entes nacionales e internacionales.

### ***14 DERECHOS ACADÉMICOS Y ADMINISTRATIVOS (VALOR ES EN PUNTOS)***

La Universidad Nacional de Colombia determina los derechos y tarifas para cursar estudios de posgrado de acuerdo con una escala en puntos. Generalmente el punto tiene un valor de un salario mínimo legal diario. El consejo de la Facultad de Minas reglamentó los valores de los derechos como se estipula a continuación:

<b><i>CONCEPTO</i></b>	<b><i>NÚMERO DE PUNTOS</i></b>	<b><i>FRECUENCIA</i></b>
<b><i>DERECHOS DE INSCRIPCIÓN</i></b>	<b><i>10</i></b>	<b><i>UNA VEZ</i></b>
<b><i>DERECHOS DE MATRICULA</i></b>	<b><i>15</i></b>	<b><i>SEMESTRAL</i></b>
<b><i>SERVICIO MÉDICO</i></b>	<b><i>10</i></b>	<b><i>SEMESTRAL</i></b>
<b><i>DERECHOS ACADÉMICOS</i></b>	<b><i>200</i></b>	<b><i>SEMESTRAL</i></b>

Nota: Los profesores de planta y los miembros del personal administrativo de la Universidad Nacional de Colombia que están cursando estudios de postgrado en la Universidad estarán exentos del pago de los derechos académicos, siempre y cuando el rendimiento académico sea satisfactorio, en el sentido de que no hayan perdido asignaturas y los informes del Director del trabajo final o de la tesis sean favorables.

#### **Los derechos Administrativos.**

Todos los estudiantes de postgrado deben pagar derechos administrativos conforme a la siguiente tabla:

DERECHOS	PUNTOS
Doctorados	20
Bienestar Universitario	10
Matrícula extemporánea	30
Cancelación de período académico	5
Reserva de cupo	10
Derechos de grado	20
Expedición de certificados y calificaciones semestrales	1
Expedición de certificados o calificaciones de estudio de todo el programa	5
Duplicado del diploma	35
Adición extemporánea de asignaturas	5
Cancelación de asignaturas	5
Exámenes de validación	10
Exámenes supletorios	5

Nota 1. Un punto equivale a un día de salario mínimo mensual legal vigente.

Nota 2. La inscripción a los programas de posgrado tendrá el valor equivalente a 10 puntos.

## ***15 CONVENIOS Y APOYOS DE OTROS GRUPOS DE INVESTIGACIÓN***

Universidad de Oviedo, España. Departamento de Ciencia de Materiales e Ingeniería Metalúrgica Contacto: Profesor Dr Javier Belzunce Varela

Universidad de Antioquia: Facultad de Ingeniería, Departamento de Metalurgia y Materiales. Contacto: Profesor Dr Carlos Arroyave

Universidade de Sao Paulo: Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Mecânica: Laboratorio de Fenómenos de Superficie, Contacto: Professor Dr Amilton Sinatora.

Universidade de Sao Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Metalurgica y de Materiais: Contacto: Professor Dr André Paulo Tschiptschin

Institute for Metal Forming, Lehigh University, Bethlehem, USA, Investigador principal Dr. Wojciech Misiolek.

Grupo de Mejoramiento Industrial, Universidad del Valle, Investigador Principal Dr. Adolfo León Gómez

Laboratorio de Tribología y Materiales – LTS. Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Federal de Uberlandia, Brasil. Investigador principal Dr. José Daniel Biassolli de Mello.

Grupo de Física del Plasma, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Investigador principal Dr. Alfonso Devia Cubillos.

Grupo de Tribología, Universidad del Valle, Cali, Colombia. Investigador principal Dr. Yesid Aguilar Castro.

## **ANEXO 1**

### **GRUPOS DE INVESTIGACIÓN PARTICIPANTES**

## **GRUPO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE MATERIALES (CTM) - FACULTAD DE MINAS – UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA - MEDELLÍN**

Este grupo ha orientado su trabajo académico, investigativo y de extensión en el área de materiales involucrados en la fabricación de componentes para el sector metalmecánico, principalmente aceros, fundiciones ferrosas y no ferrosas. El énfasis mayor de esos trabajos ha sido en la relación entre la microestructura y las propiedades mecánicas, pero paulatinamente se ha introducido la ciencia básica en el estudio de materiales, relacionando aspectos de la estructura interna del material con aplicaciones novedosas para el medio. Esto ha generado una conciencia de la necesidad de realizar trabajo interdisciplinario, como lo muestran algunas investigaciones realizadas de manera conjunta entre la Facultad de Ciencias y la Facultad de Minas.

En la última década se ha consolidado un estudio más fundamental de los materiales, incorporando el uso de técnicas avanzadas como la difracción de Rayos X, la microscopía electrónica de barrido (SEM) y el análisis de imagen (metalografía cuantitativa automática). También se ha incursionado en el estudio de otros grupos de materiales como los cerámicos, principalmente desde el punto de vista de sus propiedades mecánicas y eléctricas. Adicionalmente, se están realizando desarrollos en lo relativo al proceso de obtención de los mismos.

Las líneas de investigación de este grupo son: Propiedades mecánicas de Recubrimientos Cerámicos (Nanodureza, Fricción interna en materiales metálicos y en recubrimientos cerámicos TiN, Adhesión)); Física del plasma aplicada a procesos industriales; Características micro estructurales de materiales naturales (Fibras, Guadua); Evaluación de juntas adhesivas poliméricas para unión de metales; Tratamientos Térmicos y Transformación de Fase

### **Clasificación Colciencias: Grupo Reconocido**

#### **Proyectos Desarrollados por el Grupo**

- Capas PVD aplicadas sobre herramientas de corte y cuchillería, propiedades mecánicas y tribológicas (conjunto con el Grupo de tribología y Superficies GTS)
- Caracterización de material particulado en filtros de calidad de aire con diámetros entre 10y 30  $\mu\text{m}$ , utilizando FTIR, XRD, SEM/EDX y análisis de imagen
- Desarrollo y caracterización de cristalización orientada en fresnoita obtenida a partir de capas sol-gel
- Estudio de la fricción interna de materiales
- Fabricación de electrocerámicos y caracterización de propiedades electromecánicas
- Indicadores de Falla en varistores de ZnO cuando circula una corriente de descarga tipo atmosférica
- Efecto del cobre en las transformaciones isotérmicas de la fundición nodular.
- Producción de refractarios de magnesio a partir de magnesitas colombiana

- Relación entre microestructura y propiedades acústicas de materiales metálicos utilizados en la construcción de instrumentos musicales
- Síntesis y caracterización de las propiedades mecánicas de titanato de Ba
- Desarrollo de una técnica fotolitográfica para escritura directa de micro patrones sobre resinas fotosensibles. 2004-2005
- Caracterización microestructural de la guadua angustifolia kunth y su relación con sus propiedades mecánicas 2004-2005

### **Publicaciones recientes del Grupo**

Herrera Clara, Vélez R. Juan Manuel, Sierra R., Horacio. Resistencia a la abrasión de Fundición Nodular Aleada con Cu, Austemperada a 300°C. Revista DYNA - Revista de La facultad de Minas. Medellín: n.137, p.51 - 59, 2002.

Herrera, Clara, Vélez Restrepo, Juan Manuel, Cesar Cháves, Estudio del ciclo de doble austemperado en una fundición nodular con 0.6 Mn. Dyna. Medellín: n.131, p.2 - 8, 2001.

Sierra R. Horacio. Propiedades mecánicas del acero 15B30. En: Revista Universidad EAFIT Medellín. N° 124 (octubre-diciembre. 2001); p. 67-75.

Gómez G., Adriana, Velez R., Juan Manuel. Efecto del tratamiento de revenido en la fundición nodular austemperada. Dyna. Medellín: v.130, p.47 - 54, 2000.

Sierra R. Horacio. Propiedades mecánicas del acero 15B30. En: Revista Universidad EAFIT Medellín. N° 124 (octubre-diciembre. 2001); p. 67-75.

Sierra R. Horacio y Ortega G. Jeimar. Temperatura de Transición de la Fundición Nodular Austemperada no Aleada. En: Revista Universidad EAFIT Medellín. N° 134 (octubre-diciembre. 2004; p. 80-89

### **Artículos para a ser Publicados en 2004**

H. A. Colorado L., 2, SALVA, H. R., VELEZ, J. M., ROLDAN, C. C. Internal Friction and Shear Modulus of Ti<sub>32</sub>Zr<sub>18</sub>Ni<sub>50</sub> Hydrogen Storage Alloy. Materials Science and Technology. Aprobado para publicación, 2004.

Piedad Gañán, Robin Zuluaga, Juan Manuel Velez. Biological natural retting for determining the hierarchical structuration of banana fibres. Aprobado para Publicación en Macromolecular Journal. 2004

Viáfara a. Cristian Camilo, Vélez R. Juan Manuel. Transformación Bainítica En Aleaciones Fe-C. Sometido a Publicación Revista Dyna 2004

**Número de Investigadores Vinculados: 6**

**Participación de Estudiantes: 8 estudiantes de pregrado, 6 estudiantes de Maestría**

### **Conexión con otros grupos**

- Grupo de Física del Plasma, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Investigador principal Dr. Alfonso Devia Cubillos



- Departamento de Ciencia de Materiales e Ingeniería Metalúrgica de la Universidad de Oviedo en España. Investigador principal Dr. Javier Belzunce.
- Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Escola Politécnica, Universidade de Sao Paulo. Profesor André Paulo Tschiptschin.

## **GRUPO DE TRIBOLOGÍA Y SUPERFICIES (GTS)- FACULTAD DE MINAS – UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MEDELLÍN**

El objetivo principal de este grupo es estudiar el comportamiento tribológico de diferentes materiales, que es gobernado por la interacción entre las superficies, siendo cada vez más importante el estudio de su topografía, sus propiedades y los mecanismos que conducen a su deterioro durante la interacción de componentes mecánicos entre sí o con partículas duras provenientes del medio o de algún proceso industrial. Como líneas de acción importantes están el estudio de los fenómenos presentes durante el contacto de pieza en movimiento relativo, la evaluación del desgaste de materiales, la relación entre acabado superficial y la microestructura de materiales y la mecánica de materiales aplicada al contacto de piezas en movimiento. El grupo participa en la evaluación del desempeño de recubrimientos cerámicos aplicados por técnicas PVD desde el punto de vista del desgaste y la corrosión.

Este grupo pretende consolidar una línea de investigación en Ingeniería de Superficies, como contribución al Doctorado en Ingeniería, Línea de Investigación en Ciencia y Tecnología de Materiales, que se plantea en el presente documento. En 5 años, se espera contar con un grupo de estudiantes de doctorado de alto perfil enfrentados a problemas de desgaste y corrosión en la industria. Esperamos también incrementar el número de profesores doctores del grupo, vinculando específicamente una persona con experiencia en degradación de polímeros y otra con trabajo en materiales compuestos.

Los temas en los que se trabaja actualmente son: Comportamiento de recubrimientos TiN, aplicados vía PVD sobre herramientas de corte; Comportamiento en erosión y corrosión de recubrimientos TiN aplicados sobre diferentes sustratos de acero; Estudio de fricción, desgaste y corrosión de biomateriales; Estudio de fenómenos de desgaste en el sistema rueda/riel en sistemas de trenes; Desgaste en moldes de inyección de plásticos.

### **Clasificación Colciencias: Grupo Reconocido**

#### **Proyectos de Investigación en Curso**

- Capas PVD aplicadas sobre herramientas de corte y cuchillería: propiedades mecánicas y tribológicas, COLCIENCIAS, 2003-2004. Involucra 2 tesis de pregrado y 2 de maestría.
- □ Estudio de la resistencia a corrosión -erosión de recubrimientos cerámicos depositados sobre acero inoxidable, DIME, 2003-2004. Involucra 1 tesis de pregrado y una de maestría.
- Relación entre microestructura y propiedades acústicas de materiales metálicos utilizados en la construcción de instrumentos musicales, DIME, 2003-2004. Involucra una tesis de pregrado.

- □Desgaste abrasivo de recubrimientos duros aplicados por soldadura para uso en la industria minera, 2003-2004. Involucra una tesis de pregrado y una de maestría.
- Fricción Interna de Materiales, DIME, 2002-2004. Involucra una tesis de pregrado y una de maestría.
- Corrosión-Desgaste de Materiales Usados en la Fabricación de Implantes Quirúrgicos. 2004-2005.
- Análisis semiautomático de la citotoxicidad y genotoxicidad in vitro de recubrimientos bioactivos. COLCIENCIAS. 2004-2005.
- Comportamiento mecánico de juntas adhesivas anaeróbicas con sustratos metálicos. DIME. 2004-2005.
- Desgaste de Aceros Bainíticos y Perlíticos en el Sistema Rueda/Riel. DIME. 2004-2005.

### **Publicaciones Seleccionadas de Miembros del Grupo en los Últimos 3 Años**

Toro, A., Misiolek, W., Tschiptschin, A.P. Correlations between microstructure and Surface properties in a high nitrogen martensitic stainless steel, *Acta Materialia* Vol. 51 n. 12 (2003) 3363-3374.

Mesa, DH., Toro, A., Sinatora, A., Tschiptschin, AP., The effect of the testing temperature on corrosion-erosion of martensitic stainless steels, *Wear* 255/1-6 (2003) 139-145.

Karsokas Filho, N.; Rodrigues, D.; Ambrosio Filho, F.; Toro, A.; Tschiptschin, AP., Sintered High Nitrogen Stainless Steel Obtained using Pre-Mixed Powders, *Materials Science Forum* 416/418 (2003) 269-275.

Giraldo, D., Vélez J.M. Estudio del desgaste por deslizamiento en seco de algunos plásticos, *Revista DYNA* 136 (2003) 11 -20.

Toro, A.; Alonso-Falleiros, N.; Rodrigues, D.; Ambrosio Filho, F.; Tschiptschin, AP., P/M processing routes of martensitic stainless steels, *Transactions of The Indian Institute of Metals*, Vol. 55 n. 5 (2002) 481-487.

Garzón, CG.; Toro, A.; Tschiptschin, AP., Microstructure and chemical characterization of high temperature nitrided martensitic stainless steels, *Transactions of The Indian Institute of Metals*, Vol. 55 n. 4 (2002) 255-263.

Vélez, J.M., Tanaka, D.K., Sinatora, A., y Tschiptschin, A. Evaluation of abrasive wear of ductile cast iron in a single pass pendulum device, *Wear* 251 (2001).

Toro, A., Sinatora, A., Tanaka, D.K., Tschiptschin, A.P., Corrosion-erosion of nitrogen bearing martensitic stainless steels in seawater-quartz slurry, *Wear* 251 (2001) 1257-1264.

Toro, A., Alonso-Falleiros, N., Rodrigues, D., Ambrosio Filho, F., Liberati, J.F., Tschiptschin, A.P., Microstructure and corrosion resistance of simultaneous ni trided and sintered AISI 434L powder, *Key Engineering Materials* 189-191 (2001) 418 -424.

Toro, A., Tanaka, D.K., Sinatora, A., Tschiptschin, A.P., Improvement of Corrosion –Erosion Resistance of Martensitic Stainless Steels by Nitrogen Addition at High Temperature, Journal of Materials Processing Technology , Vol 117/3 (2001).

Toro, A., Alonso-Falleiros, N., Rodrigues, D., Ambrozio Filho, F., Liberati, J.F., A. P. Tschiptschin, P/M Processing of Nitrogen Bearing Corrosion Resistant Martensitic Stainless Steels, Journal of Materials Processing Technology , Vol 117/3 (2001).

Toro, A., Sinatora, A., Tanaka, D.K., Tschiptschin, A.P., Wear resistance of high-nitrogen martensitic stainless steels in a sand slurry environment, Proceedings of the Stainless Steel World 99 Conference, The Hague, November 15-17, 1999, 393-400.

Gómez, A., Vélez J.M. Efecto del revenido en las propiedades mecánicas de la fundición nodular austemperada, Revista DYNA 130 (2001).

Sierra R. Horacio, García Carlos, Morales Jorge y Vélez R. Juan M. Relación entre Desgaste y Tenacidad para algunos Aceros al Carbono Templados y Revenidos a Iguales Niveles de Dureza. Revista de Eafit. Marzo de 2000.

Sierra R. Horacio. Propiedades mecánicas del acero 15B30. En: Revista Universidad EAFIT Medellín. N° 124 (octubre-diciembre. 2001); p. 67-75.

Sierra R. Horacio, Vélez R. Juan M. y Herrera Clara. Resistencia a la Abrasión de la Fundición Nodular Aleada con Cobre, Austemperada a 300°C. Revista Dyna Número 137. Agosto de 2002.

Sierra R. Horacio y Ortega G. Jeimar. Temperatura de Transición de la Fundición Nodular Austemperada no Aleada. En: Revista Universidad EAFIT Medellín. N° 134 (octubre-diciembre. 2004; p. 80-89

#### **Artículos para a ser Publicados en 2004**

López, D., Sánchez, C., Toro, A., Corrosion-erosion behavior of tin-coated stainless steels in aqueous slurries, aceptado para publicación en Wear.

López, D., Congote, J.P., Cano, J.R., Tschiptschin, A.P., Toro, A., Use of electrochemical tests for assessment of corrosion-erosion synergism in bare and TiN-coated stainless steels, sometido para publicación en Tribology International

Viáfara, C.C., Castro, M.I., Vélez, J.M., Toro, A., Unlubricated sliding wear of pearlitic and bainitic steels, sometido para publicación en Wear.

Buchely, M., Gutierrez, J.C., León, L.M., Toro, A., The effect of microstructure on abrasive wear of hardfacing alloys, sometido para publicación en Wear.

López, D., Congote, J.P., Cano, J.R., Toro, A., Tschiptschin, A.P., Effect of particle velocity and impact angle on the corrosion-erosion of AISI 304 and AISI 420 stainless steels, sometido para publicación en Wear.

Toro, A., Garzón, CM., Tschiptschin, AP., Chemical Characterization of High Nitrogen Stainless Steels by SEM-EDS/WDS Microanalysis, accepted for publication in Materials Characterization.

Toro, A., Alonso-Falleiros, N., Rodrigues, D., Ambrosio Filho, F., Tschiptschin, A.P., Polarization Response of High-Nitrogen Martensitic Stainless Steels in Acid Solution Containing Chloride Ions, submitted to Corrosion.

Suarez B. Fabio Alexander, Vélez R. Juan Manuel. Estudio del Modelo de Desgaste Propuesto por Archard. Sometido a publicación. Revista Dyna 2004

**Número de Investigadores Vinculados: 9**

**Participación de Estudiantes: 20 estudiantes de pregrado, 6 estudiantes de Maestría**

**Conexión con otros grupos**

- Institute for Metal Forming, Lehigh University, Bethlehem, USA, Investigador principal Dr. Wojciech Misiolek.
- Laboratorio de Fenómenos de Superficie - LFS. Depto. de Ingeniería Mecánica, Universidad de Sao Paulo, Brasil. Investigador principal Dr. Amilton Sinatora.
- Grupo de Mejoramiento Industrial, Universidad del Valle, Investigador Principal Dr. Adolfo León Gómez
- Laboratorio de Tribología y Materiales – LTS. Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Federal de Uberlandia, Brasil. Investigador principal Dr. José Daniel Biassolli de Mello.
- Grupo de Física del Plasma, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Investigador principal Dr. Alfonso Devia Cubillos.
- Grupo de Tribología, Universidad del Valle, Cali, Colombia. Investigador principal Dr. Yesid Aguilar Castro.
- Departamento de Ciencia de Materiales e Ingeniería Metalúrgica de la Universidad de Oviedo en España. Investigador principal Dr. Javier Belzunce.

## **GRUPO DE CERÁMICOS Y VÍTREOS (CyV) – FACULTAD DE CIENCIAS – UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA - MEDELLÍN**

Este grupo de la Universidad Nacional, Sede Medellín, se creó en 1992 como una respuesta al vacío de instrucción especializada en el campo que se presenta en el país. En la industria se detectó las necesidades de formación especializada y acceso a asistencia técnica para futuros desarrollos del sector. Desde su inicio se concibió como un Grupo interdisciplinario con la participación de las Facultades de Ciencias y de Minas.

Actualmente el grupo tiene a su cargo una línea de profundización que consta de cuatro materias y que se ofrece a los estudiantes de Ingeniería Mecánica, Química, Minas y Metalurgia, Geológica e Industrial, de la Facultad de Minas e Ingeniería Física de la Facultad de Ciencias. En la línea de profundización se tratan los temas fundamentales para otorgar al estudiante formación en el área de la cerámica tanto tradicional como avanzada. Las asignaturas que se ofrecen son las siguientes:

Algunos de los temas de trabajo del grupo son: Capas Sol-Gel aplicadas a sustrato metálico; Recubrimientos vítreos con cristales de hidroxiapatita sobre sustratos metálicos por el método de sol – gel; Cementos pigmentados; Estudio de las características multifractales en un vitrocerámico de Disilicato de Litio asociado a propiedades fisicoquímicas

### **Clasificación Colciencias: Grupo Reconocido**

#### **Proyectos desarrollados por el grupo:**

- Cristalización Orientada Durante la Densificación de Materiales del tipo Fresnoita  $Ba_2TiSi_2O_8$
- Estudio de las características multifractales de los mecanismos iniciales de nucleación inducida en un vidrio LS2 asociado a propiedades Fisicoquímicas
- Síntesis y caracterización de hidroxiapatita de uso en implantología
- Preparación y caracterización de vitrocerámicos de uso en aplicaciones ópticas y eléctricas.
- Preparación, caracterización y estudio de propiedades de conducción en Vitrocerámicos de disilicato de litio
- Estudio de alternativas para mejoramiento mecánico de resinas acrílicas dentales
- Fabricación y caracterización de materiales piezoeléctricos de tipo PZT
- Fabricación de hormigones pigmentados con azul ultramar
- Cuantificación del efecto citotóxico y genotóxico de los productos liberados durante el envejecimiento in vitro de recubrimientos cerámicos.
- Desarrollo de propiedades bactericidas en esmaltes para cerámica sanitaria
- Recubrimientos vítreos con cristales de hidroxiapatita sobre sustratos metálicos por el método de sol - gel.
- Obtención de óxidos de hierro como pigmento a partir de biolixiviación
- Determinación y valoración de efectos electroviscosos en suspensiones y pastas minerales de arcilla.
- Modelación del tensor de esfuerzos en suspensiones y pastas minerales y de la viscosidad.
- Vitrocerámicos con bajo coeficiente de expansión térmica obtenidos por sinterización con cristalización concurrente en partículas vítreas de  $Li_2O \cdot Al_2O_3 \cdot xSiO_2$ .

#### **Publicaciones Seleccionadas de Miembros del Grupo en los Últimos 3 Años**

Alejandro Peláez, Claudia Garcia, Juan Carlos Correa, Pablo Abad. Reliability Weibull analysis for structural evaluation of bioactive films obtained by sol-gel process. KEY MATERIALS ENG.

SILVIA CERÉ,, GARCÍA C.P., Galliano , Pablo. Electrochemical evaluation of resistance to localised corrosion of vitreous coatings containing particles applied on metallic substrates for

biomedical applications. JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE LETTERS. , v.57, n.12, p.1810 – 1814.

Fernando Betancur, Juan, Yessid Restrepo, Mario Arias, Abad Mejía, Pablo Jesús. Inmovilización de Lactobacillus Helveticus en soportes vítreos obtenidos por tecnología sol-gel. BOLETÍN DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE CERÁMICA Y VIDRIO. v.42, n.2, 2003.

**Número de Investigadores Vinculados:** 9

**Participación de Estudiantes:** 6

**Conexión con otros grupos:**

- Grupo Fotónica. Facultad de Ciencias Universidad Nacional de Colombia - Medellín
- Grupo Tribología. Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia - Medellín
- Ciencia y Tecnología de Materiales. Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia - Medellín

## **GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN FÍSICA DEL PLASMA – FACULTAD DE CIENCIAS Y ADMINISTRACIÓN – UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA - MANIZALES**

De otro lado, en la Universidad Nacional, Sede Manizales, se ha consolidado el Grupo de Investigación en Física del Plasma que tuvo desarrollo inicial en aspectos teóricos, donde se estudiaron los fenómenos de aceleración de partículas cargadas y las aplicaciones de la magnetohidrodinámica al confinamiento de fluidos conductores en presencia de campos electromagnéticos. En los últimos años, el grupo se ha dedicado a la investigación aplicada, a través de aplicaciones tecnológicas de la Física del Plasma en crecimiento de películas duras para recubrimientos industriales, así como también deposición polimérica en sustratos de aluminio y aceros con el apoyo de COLCIENCIAS, bajo el proyecto "Técnicas de generación de Plasma" y también con el auspicio de la dirección de Investigación de la Universidad Nacional sede Manizales (DIMA).

Como fruto de tales investigaciones, inicialmente se diseñó e implementó un sistema para crecimiento de polímeros por PACVD en descargas glow lo cual permitió la realización de una tesis de pregrado durante su desarrollo; posteriormente se puso en funcionamiento un sistema PAPVD completamente automatizado para la producción de recubrimientos duros (TiN, WN, ZrN, DLC), sobre piezas planas con un área máxima de 3 cm<sup>2</sup>, el cual se basa en la generación combinada de arcos en vacío pulsados y descargas continuas.

**Clasificación Colciencias: Grupo Reconocido**

**Principales Proyectos del Grupo**

- Aplicaciones Industriales de los Recubrimientos Superficiales por Plasma
- Caracterización de recubrimientos por Difracción de rayos X
- Caracterización Eléctrica y Magnética de un Plasma

- Caracterización a escala Atómica por Microscopía de Fuerza Atómica de Recubrimientos Tipo Diamante
- Caracterización de recubrimientos de ZnO, TiN y Poliméricos Utilizando la Técnica de GDOES
- Caracterización de un Plasma Pulsado para Producir Recubrimientos Duros de TiN, por medio de Espectroscopía Óptica de Emisión.
- Caracterización de un plasma utilizando sondas eléctricas y Magnéticas
- Flujos Magnetohidrodinámicos y Teoría Cinética
- Producción de Películas Duras Tipo Diamante por Arco de Plasma Pulsado
- Programa EXPORTE (MINCOMEX) - Exportación de productos y servicios tecnológicos
- Recubrimientos de Metales con Películas Delgadas de Polímeros por el Método de Deposición de Plasma
- Caracterización y producción de multicapas de TiN/DLC/TiN/DLC en películas delgadas
- Flujos Magnetohidrodinámicos y Teoría Cinética
- Desarrollo de un sistema automatizado y de control remoto vía internet para un reactor monoevaporador de arco pulsado

#### **Conexión con otros grupos:**

- Universidad de Buenos Aires - Argentina (Profesores Horacio Bruzzone y Hector Kelly).
- Universidad Simón Bolívar de Caracas Venezuela (Profesor Ricardo Castell)
- Universidad Autónoma de México (Profesor Jesus Heiras)
- Universidad del Valle Colombia (Profesor Pedro Prieto).
- Universidad Industrial de Santander (Profesor Jaime Castro).
- Universidad del Cauca (Profesor Wayner Rivera)
- Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá (Profesor Mauricio García).
- Universidad Nacional de Colombia –Medellín. Grupo Ciencia y Tecnología de Materiales. Juan Manuel Vélez R

#### **GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN MINERALOGÍA APLICADA (GMA)- FACULTAD DE MINAS – UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA - MEDELLÍN**

El objetivo principal de este grupo es impulsar la investigación y el desarrollo en temas relacionados con el monitoreo de procesos naturales y/o artificiales (industriales) que envuelvan la generación o transformación de minerales, para el mejoramiento, optimización y control de

materias primas, problemas ambientales, productos elaborados, etc., así como hacia el entendimiento de los procesos geológicos y sus implicaciones genéticas, económicas y de aplicación en diferentes campos conexos.

La investigación en esta área permite optimizar el desempeño de un sistema, mejorar la recuperación en un proceso de extracción, prevenir, mitigar, definir el potencial de algún proceso para ocasionar problemas ambientales, definir la calidad de materiales naturales o artificiales de alguna utilidad como gemas, minerales de mena (ej. oro, plata, platino) minerales industriales (ej. arcillas, caliza, feldespato, zeolitas,), materiales producidos por el hombre (ej. cementos, vidrios, cerámicos), caracterizar materiales directamente relacionados con el área de la salud como es el caso de diversos tipos de prótesis, cálculos renales, y finalmente en la arqueometría y conservación de monumentos arqueológicos y edificios contemporáneos. Los temas en que trabaja el grupo son:

Caracterización mineralógica de depósitos minerales; Definición de calidad de materiales recuperados como oro, piedras preciosas, concentrados poliminerale, etc.; Caracterización desechos; Aplicaciones en la geología dentro de los campos de la petrología; procesamiento biotecnológico de minerales.

#### **Clasificación Colciencias: Grupo Reconocido.**

#### **PRINCIPALES PROYECTOS DEL GRUPO**

- Análisis litotectónico y petrogénesis de las rocas de la Serranía de Jarara, Guajira, Colombia- Implicaciones en la evolución geotectónica del Caribe y el límite norte de la placa Suramericana
- Biooxidación de sulfuros complejos mediada por bacterias como pretratamiento, para el mejoramiento de la extracción de valiosos vía lixiviación con cianuro de sodio, mina El Zancudo, Titiribí, Antioquia
- Caracterización de la evolución mineralógica del cemento producido por cementos el Cairo S.A. El Cairo
- Caracterización de los minerales de uso industrial de las arenas negras residuo de la explotación aurífera aluvial de Mineros de Antioquia S.A
- Caracterización de material particulado en filtros de calidad de aire con diámetros entre 10y 30  $\mu\text{m}$ , utilizando FTIR, XRD, SEM/EDX y análisis de imagen
- Caracterización preliminar del talco de La Unión
- Estandarización de técnicas para caracterización de bacterias calcificantes.
- Exploración de dolomitas en la licencia Ríoclaro de Sumicol S. A.
- Identificación de facetas triangulares mediante el uso de MDEs
- Indicadores de Falla en varistores de ZnO cuando circula una corriente de descarga tipo atmosférica



- Influencia de las fases minerales y sus relaciones microestructurales en las tendencias del comportamiento mecánico resistencia y compresibilidad en suelos tropicales del Stock de San Diego
- Ultramafitas del Cabo de la Vela y rocas gabroicas asociadas
- Recuperación de Zn mediante lixiviación bacteriana de esfalerita (var. marmatita) proveniente de los residuos de la explotación aurífera en el distrito minero de Marmato (Caldas).

**Publicaciones recientes del grupo:**

Análisis teórico de un problema de infiltración a través de un medio poroso con saturación residual

Aplicación de la metodología ZERI en la producción de proteasas alcalinas de *Bacillus Sp.*

Crustal Make-up of the Northern Andes: Evidence based on Deep Crustal Xenolith Suites, Mercaderes, SW Colombia

Defects analyzes on ZnO degraded varistors

El Sublevel-stopping aplicado a la mina de caliza de Cementos El Cairo S.A

Estimación de la Producción de Carbonatos de Calcio Mediante la Precipitación Bacteriana del *Bacillus Subtilis* Aplicando pruebas de FTIR y Difracción de Rayos X en Suelo Residual de Gabro

Evaluación de la oxidación bacteriana de sulfuros con *Acidithiobacillus ferrooxidans* mediante pruebas de FTIR y difracción de rayos X.

Patologías de las fachadas revestidas en piedra arenisca, esquisto clorítico y mármol en la ciudad de Medellín

Potencial industrial de los mármoles en la concesión Río Claro de Sumicol

Proteinase detection, DNA typing and antimicrobial susceptibility of *Candida* isolates from Colombian women with vulvovaginal candidiasis

Recovery of the non-ohmic properties of degraded high voltage commercial ZnO based varistors

Study of the degradation by pulses in ZnO varistors utilized in high tension devices

The failure analyzed on ZnO varistors used in high tension devices

**GRUPO DE METALURGIA EXTRACTIVA (CIMEX) FACULTAD DE MINAS –  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA - MEDELLÍN**

Este grupo es representado por el Instituto de Investigación en Minerales, realiza trabajos enfocados en la investigación de los procesos de beneficio y obtención de materias primas, así como a la caracterización de nuevos materiales para la industria Metalúrgica y Cerámica. Algunos docentes de esta unidad participan en el Grupo de Investigación en Cerámicos y vítreos en forma conjunta con profesores del Departamento de Física, con proyectos de investigación en

ejecución en Recubrimiento vítreos con partículas de hidroxiapatita sobre sustrato metálico y en Ladrillos para construcción. Algunos proyectos de investigación que se adelantan en esta unidad son: Reología de caolines. Cimex – Minerales Industriales – Colciencias; Cementos coloreados. Cimex; Estudio de efectos electroviscosos en arcillas caoliníticas

## **ANEXO 2**

### **HOJAS DE VIDA DE LOS PROFESORES PARTICIPANTES**

## MARCO ANTONIO MÁRQUEZ GODOY

Ingeniería Geológica	Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas - Medellín	1989
Doctor en Ingeniería	Universidad de Brasilia	1995
Maestría en Ingeniería	Universidad de Brasilia	1999
Vinculo	Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas - Medellín	
Dirección electrónica	mmarquez@unalmed.edu.co	
Grupo de Investigación	Grupo de Mineralogía Aplicada – Director Grupo Ciencia y Tecnología de Materiales - Investigador	

## PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

- Biooxidación de sulfuros complejos mediada por bacterias como pretratamiento, para el mejoramiento de la extracción de valiosos vía lixiviación con cianuro de sodio, mina El Zancudo, Titiribí, Antioquia
- Caracterización de la evolución mineralógica del cemento producido por cementos el Cairo S.A. El Cairo
- Caracterización de los minerales de uso industrial de las arenas negras residuo de la explotación aurífera aluvial de Mineros de Antioquia S.A
- Caracterización de material particulado en filtros de calidad de aire con diámetros entre 10y 30  $\mu\text{m}$ , utilizando FTIR, XRD, SEM/EDX y análisis de imagen
- Caracterización preliminar del talco de La Unión
- Estandarización de técnicas para caracterización de bacterias calcificantes.
- Indicadores de Falla en varistores de ZnO cuando circula una corriente de descarga tipo atmosférica
- Influencia de las fases minerales y sus relaciones microestructurales en las tendencias del comportamiento mecánico resistencia y compresibilidad en suelos tropicales del Stock de San Diego
- Recuperación de Zn mediante lixiviación bacteriana de esfalerita (var. marmatita) proveniente de los residuos de la explotación aurífera en el distrito minero de Marmato (Caldas).

## PUBLICACIONES

Petrografía e química mineral das arsenopiritas da mina São Bento (Minas Gerais-Brasil). Marco Antonio Márquez Godoy, José Carlos Gaspar, Nilson Francisquini Botelho. Anais do XXXIX Congresso Brasileiro de Geologia, Vol. 3, pp 301-303. Salvador, Brasil, 1996.

Petrografia e química mineral do ouro livre da mina São Bento (MG, Brasil). Marco Antonio Márquez Godoy, José Carlos Gaspar. Anais do XXXIX Congresso Brasileiro de Geologia, Vol. 3, pp 304-308. Salvador, Brasil, 1996.

Oro "invisible": definición, técnicas de investigación, caracterización condiciones de formación, métodos de recuperación. Ejemplo de la mina São Bento (MG-Brasil). Marco Antonio Márquez Godoy, José Carlos Gaspar. II Simposio Colombiano de Microscopía Electrónica Aplicada a la Investigación en Geociencias. Publicación Especial de la Sociedad Colombiana de Microscopía Electrónica No. 2, pp. 9-21 1996.

Caracterização mineralógica do minério, concentrado e rejeito da flotação da mina São Bento. Marco Antonio Márquez Godoy, José Carlos Gaspar. In: Caracterização de Minérios e Rejeitos de Depósitos Mineraias Brasileiros, DNPM/DIRES, PADCT/GTM. Ed. Onildo João Marini, Brasília D.F. (Brasil), pp.9-12. 1997.

Utilización de la magnesita en la elaboración de refractarios básicos. Mojica A., Delgado E., Bedoya A., Márquez M.A., Pachón M., Quintero J., Segura E.. Cuaderno Cer. Vit. No. 6, pp. 23-27. 1997.

Gold in sulphides from São Bento Mine, Brazil: Comparative analysis by SXRF and SIMS. Steele, I.M.; Cabri, L.J.; Gaspar, J.C.; McMahon, G.; Márquez, M.A.; Vasconcellos, M.A.Z. Canadian Mineralogical, noviembre de 1999.

Márquez, M.A.; Gaspar, J.C. 2001. Mineralogía de las arsenopiritas en la mina de oro São Bento (Minas Gerais, Brasil). Boletín de Ciencias de la Tierra (14): 59-73.

Muñoz, N.A.; Montoya C, O.I.; Márquez, M.A., Ruiz, Orlando; Lemeshko, V. 2002. Evaluación de la oxidación bacteriana de sulfuros con *Acidithiobacillus ferrooxidans* mediante pruebas de FTIR y difracción de rayos X. Revista Colombiana de Biotecnología Vol. IV No. 2.

Alba Nury Gallego H.; Dioni Mabel Zapata A y Marco A. Márquez G. 2003 Mineralogía aplicada a la definición del tipo de refractariedad en la mina de oro El Zancudo, Titiribí, Antioquia. IX Congreso Colombiano de Geología – Simposio de Mineralogía Aplicada.

J. M. Meza, C. A. Cárdenas, M. A. Márquez, C. A. Chávez, J. H. Marín, "Fabrication of Barium Titanate by Cold Pressing solid state reaction and characterization of its mechanical properties" trabajo presentado al 58° Congreso de la ABM- Junio de 2003 Río de Janeiro.

J. M. Meza, C. A. Cárdenas, M. A. Márquez, C. A. Chávez, J. H. Marín, "Fabricación de electrocerámicas" aceptado en: revista ESPIRAL. Publicación electrónica.

M.A Ramírez, A.Z Simões, D.A Donet, J.M Villa, M.A Márquez, R. Longo, J.A Varela, C.R Rojo. The failure analyzed on ZnO varistors used in high tension devices. Artículo sometido para publicación en la revista Materials Chemistry and Physics, 2004. Trabajo presentado en la Fourth International Latin-American Conference on Powder Technology, Brazil, 2003.

M.A Ramírez, A, Z Simões, M.A Márquez, E. Longo, J.A Varela, C.R Rojo. Defects analyzes on ZnO degraded varistors. Artículo sometido para publicación en la revista Applied Physics Letters, 2004. Trabajo presentado en la 106 Annual Meeting and Exposition of the America Ceramic Society. Indianápolis, USA, 2004.

M.A Ramírez, A.Z Simões, M.A Márquez, P.R Bueno, M.O Orladi, E. Longo, J.A Varela. Recovery of the non-ohmic properties of degraded high voltage commercial ZnO based varistors. Artículo sometido para publicación en el Journal European Ceramic Society, 2004. Trabajo aceptado para presentación oral en la International Conference on Electroceramics and their Applications, France, 2004.

M.A Ramírez, A. Z. Simões, M.A Márquez, P.R Bueno, M.O. Orlandi, E. Longo, J.A Varela. Study of the degradation by pulses in ZnO varistors utilized in high tension devices. Artículo sometido para publicación en la revista Ceramic International.

### **DIRECCIÓN DE TESIS DE MAESTRÍA**

Oxidación de sulfuros para recuperación de Au a partir de una cepa nativa de Thiobacillus ferrooxidans en la mina La Maruja (Marmato/Caldas). Estudiante: Nury Alexandra Muñoz Blandón - Bacterióloga - Facultad de Ciencias - Maestría en Biotecnología - Universidad Nacional de Colombia. Finalizó: septiembre de 2002.

Biolixiviación de sulfuros (pirita-arsenopirita) utilizando cepas nativas de acidófilos como pretratamiento, para el beneficio de metales preciosos, mina El Zancudo, Titiribí, Antioquia. Estudiante: Diana Marcela Ossa Henao – Bióloga - Facultad de Ciencias - Posgrado en Biotecnología - Universidad Nacional de Colombia. Cursando en la actualidad.

“Caracterización mineralógica de varistores de ZnO utilizados en descargadores de sobretensión”. Estudiante: Miguel Ángel Ramírez Gil. Facultad de Minas - Maestría en Ingeniería – Área de Materiales y Procesos - Universidad Nacional de Colombia. Cursando en la actualidad.

Caracterización mineralógica de la mena y concentrado aurífero proveniente de la zona alta del distrito minero de Marmato y su implicación en las alternativas metalúrgicas extractivas. Estudiante: Samith Mauricio Botero B. Facultad de Minas - Maestría en Ingeniería – Área de Materiales y Procesos - Universidad Nacional de Colombia. Cursando en la actualidad.

Efecto de la microestructura en los parámetros de la resistencia al esfuerzo cortante de algunos suelos provenientes de rocas ígneas presentes en Medellín. Maestría en Ingeniería: Geotecnia. Yamile Valencia González. Fecha prevista: octubre de 2004

Efecto de la microestructura en los parámetros de la resistencia al esfuerzo cortante de algunos suelos provenientes de rocas ígneas presentes en Medellín. Maestría en Ingeniería: Geotecnia. Oscar Echeverri Ramírez. Fecha prevista: octubre de 2004

Mineralogía aplicada al uso y aprovechamiento de las arenas negras (El Bagre, Antioquia). Maestría en Ingeniería: Materiales y Procesos. Clara M. Lamus. En curso.

### **DIRECCIÓN TRABAJOS DE GRADO:**

Caracterización mineralógica como soporte para la implementación y mejoramiento del proceso de extracción de oro mina de oro el zancudo, titiribí, Antioquia. estudiantes: Alba Nury gallego - Dioni Mabel zapata. ing. geológica - facultad de minas - Universidad Nacional de Colombia. septiembre de 2003.

Caracterización de la fases ricas en elementos del grupo del platino y los minerales de las “arenas negras” en algunos aluviones del río San Juan, en el municipio de Condoto, departamento de

Chocó, Colombia. Estudiantes: Edilma Elsy Murillo Córdoba – Judy Alexandra Múnera Peña – Ingeniería de Minas y Metalurgia - Facultad de Minas - Universidad Nacional de Colombia. Octubre 2003.

Influencia de las fases minerales y sus relaciones microestructurales en las tendencias del comportamiento mecánico: resistencia y compresibilidad en suelos tropicales del stock de San Diego (Medellín, Colombia). Estudiantes: Maria del Mar Mesa y Julio César Solano. Ing. Geológica - Facultad de Minas - Universidad Nacional de Colombia. Febrero 2004.

Automatización mediante análisis de imagen para la caracterización mineralógica de los minerales de uso industrial subproducto de la minería aluvial de Mineros de Antioquia S.A. Estudiantes: Flor Ester Gómez López- Ana María Pérez Assia. Ingeniería de Minas y Metalurgia - Facultad de Minas - Universidad Nacional de Colombia. En curso.

Estudio de la reactividad de la mezcla de residuos orgánicos (biomasa)-carbón de la cuenca Amagá. Estudiantes: Nelsy Nayibe Guerrero, Anyela Marcela Guzmán, Diana Milena Montoya. Ingeniería Química - Facultad de Minas - Universidad Nacional de Colombia. En curso.

## JUAN MANUEL VÉLEZ RESTREPO

Ingeniería Mecánica	Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas - Medellín	1975-1983
Doctor en Ingeniería	Universidad de Sao Paulo, Brasil	1994-1997
Maestría en Ingeniería	Universidad de Sao Paulo, Brasil	1989-1992
Vinculo	Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas - Medellín	
Dirección electrónica	<a href="mailto:jmvelez@unalmed.edu.co">jmvelez@unalmed.edu.co</a>	
Grupo de Investigación	Grupo Ciencia y Tecnología de Materiales – Director Tribología y Superficies – Investigador	

## PUBLICACIONES

1. VÉLEZ RESTREPO, JUAN MANUEL, Diego Giraldo. Estudio del Desgaste por deslizamiento en seco de algunos plásticos. Revista DYNA. Medellín: n.136, p.11 - 20, 2002.
2. VÉLEZ RESTREPO, JUAN MANUEL, CLARA HERRERA,, SIERRA RESTREPO, HORACIO Resistencia a la abrasión de Fundición Nodular Aleada con Cu, Austemperada a 300°C. Revista DYNA - Revista de La facultad de Minas. Medellín: n.137, p.51 - 59, 2002.
3. VÉLEZ RESTREPO, JUAN MANUEL, CLARA HERRERA,, CESAR CHÁVES, Estudio del ciclo de doble austemperado en una fundición nodular con 0.6 Mn. Dyna. Medellín: n.131, p.2 - 8, 2001.
4. VELEZ RESTREPO, JUAN MANUEL, DK TANAKA,, A SINATORA,, AP TSCHIPTSCHIN, Evaluation of abrasive wear of ductile cast iron in a single pass pendulum device. Wear Of Materials. Amsterdam: v.251, p.1315 - 1319, 2001.
5. VELEZ RESTREPO, JUAN MANUEL, GÓMEZ GÓMEZ, ADRIANA. Efecto del tratamiento de revenido en la fundición nodular austemperada. Dyna. Medellín: v.130, p.47 - 54, 2000.
- 6.VELEZ RESTREPO, JUAN MANUEL, AP TSCHIPTSCHIN,, A. GARBOGGINI, Effect of Silicon on the Kinetics of the bainitic reaction in Austempered Ductile cast iron. Materials Science And Technology. Londres: v.12, p.329 - 335, 1996.
- 7 GARCÍA, CARLOS ALBERTO; MORALES JORGE; SIERRA RESTREPO, HORACIO; VÉLEZ, JUAN MANUEL,. Relaciones entre desgaste y tenacidad para algunos aceros al carbono templados y revenidos a iguales niveles de dureza. Revista Eafit. , 2000.

## ARTÍCULOS COMPLETOS EN EVALUACIÓN

H. A. Colorado L., 2, SALVA, H. R., VELEZ, J. M., ROLDAN, C. C. Internal Friction and Shear Modulus of Ti<sub>32</sub>Zr<sub>18</sub>Ni<sub>50</sub> Hydrogen Storage Alloy. Materials Science and Technology. , 2003.

Piedad Gañán, Robin Zuluaga, Juan Manuel Velez. Biological natural retting for determining the hierarchical structuration of banana fibres. Aprobado para Publicación en Macromolecular Journal. 2004



Viáfara a. Cristian camilo, Velez R. Juan Manuel. Transformación Bainítica En Aleaciones Fe-C. Sometido a Publicación Revista Dyna 2004

### **PARTICIPACIÓN EN PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN:**

1. Efecto de la microestructura en la rugosidad del acero 4140, sometido a operación de torneado. 2000 – 2001 Coinvestigador. Financiación: Universidad Nacional de Colombia
2. Estudio de la fricción interna de materiales. 2001 – 2002 Coinvestigador. Financiación: Universidad Nacional de Colombia
3. Comportamiento Mecánico y resistencia a la erosión de capas cerámicas de Ti N, aplicadas sobre acero inoxidable utilizando PVD. Investigador Principal. Financiación: Universidad Nacional de Colombia
4. Capas PVD aplicadas sobre herramientas de corte y cuchillería. Propiedades mecánicas y tribológicas. Financiación COLCIENCIAS.
5. Relación entre microestructura y propiedades acústicas de materiales metálicos utilizados en la construcción de instrumentos musicales. Coinvestigador. Financiación Universidad Nacional de Colombia

### **TESIS DE MAESTRÍA CONCLUIDAS:**

Técnicas de Indentación Aplicadas Al Estudio De Propiedades Mecánicas De Recubrimientos De Nitruro De Titanio. Estudiante: Juan Manuel Meza Meza. 2004.

### **TESIS DE MAESTRÍA EN CURSO:**

1. Desempeño tribológico de capas finas TiN aplicadas sobre los aceros M2, AISI 4340 y AISI 52100. Estudiante Ximena Gaviria. Finaliza diciembre 2004.
2. Comportamiento de poliamidas en la fabricación de Bujes para el sistema de propulsión de embarcaciones. Estudiante Juan Carlos Muñoz Barrientos. Finaliza diciembre 2004.
3. Aplicación de técnicas de fricción interna para la evaluación de la adhesión de capas TiN sobre acero Inoxidable 304. Estudiante: Henry Alonso Colorado. Finaliza Diciembre 2004.
4. Estudio de los mecanismos .desgaste de moldes de inyección de Poliuretano. Estudiante: Nora Catalina Restrepo. Finaliza Julio 2005.

### **ORIENTACIONES CONCLUIDAS EN CURSOS DE ESPECIALIZACIÓN:**

1. Estudio de la resistencia al desgaste abrasivo de soldaduras de mantenimiento. Luis Fernando Molina Salazar. 1999. Monografía (Especialización en Tratamientos térmicos) - Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín

### **TRABAJOS DE CONCLUSIÓN DE CARRERA DE PREGRADO:**

1. Henry Alonso Colorado. Estudio de Fricción Interna. 2003. Curso (Ingeniería Mecánica) - Universidad Nacional de Colombia – Medellín
2. Fabio Alexander Suárez Bustamante. Análisis del modelo de Archard para Desgaste por Deslizamiento en seco. 2002. Curso (Ingeniería Mecánica) - Universidad Nacional de Colombia – Medellín

3. Julio Cesar Carvajal Rendón. Estudio del efecto de las propiedades mecánicas de metales y aleaciones de sobre la resistencia al desgaste. 2002. Curso (Ingeniería Mecánica) - Universidad Nacional de Colombia – Medellín
4. Adriana Gómez Gómez. Efecto del tiempo y la temperatura de revenido en las propiedades mecánicas de fundición nodular bainítica (austemperada). 2000. Curso (Ingeniería Mecánica) - Universidad Nacional de Colombia – Medellín
5. Lina María Muñoz Arango. Estudio comparativo de la resistencia al desgaste abrasivo de una fundición nodular con microestructuras: bainíticas, perlíticas y martensíticas. 2000. Curso (Ingeniería Mecánica) - Universidad Nacional de Colombia – Medellín
6. Alejandro Restrepo Martínez. Evaluación de la morfología de microestructuras de aleaciones metálicas empleando análisis digital de imágenes y geometría fractal. 2000. Curso (Ingeniería Mecánica) - Universidad Nacional de Colombia – Medellín
7. Carlos Andrés Pérez Gutiérrez. Estudio del desgaste por deslizamiento en seco de un equipo PIN-ON-DISK. 1999. Curso (Ingeniería Mecánica) - Universidad Nacional de Colombia – Medellín
8. Iván Darío Ramírez Rivas. Templabilidad de la fundición nodular. 1994. Curso (Ingeniería Mecánica) - Universidad Nacional de Colombia – Medellín
9. Sandra María Idarraga Gómez. Estudio de aleaciones ZN-Al moldeadas en arena. 1993. Curso (Ingeniería Mecánica) - Universidad Nacional de Colombia – Medellín
10. Jaime Iván Acosta Córdoba. Transformación martensítica en aleaciones no ferrosas. 1983. Curso (Ingeniería Mecánica) - Universidad Nacional de Colombia – Medellín.

**OSCAR JAIME RESTREPO BAENA**

Ingeniería de Minas y Metalurgia	Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas - Medellín	1985-1991
Doctor en Ingeniería	Universidad de Oviedo, Oviedo, España	1993-1996
Maestría	Instituto de Investigaciones Ecológicas. Málaga, España	1994-1995
Vínculo	Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas - Medellín	
Dirección electrónica		

**PUBLICACIONES**

Coloración de Cementos con Pigmento Azul Ultramar. Revista Dyna No. 139 Julio de 2003 pp 35-41

Caracterización de caolines utilizando microscopía electrónica de transmisión (TEM). Cuaderno de Cerámicos y Vítreos. Universidad Nacional de Colombia. N°9. Medellín, Septiembre de 2000. pp. 25-30

La industria de sal en Antioquia. Una historia olvidada. Boletín de Ciencias de la Tierra. Universidad Nacional de Colombia. N°13. 1999

Discusión General sobre los Diagramas de Fase. Cuaderno de Cerámicos y Vítreos. Universidad Nacional de Colombia. N°7. Medellín, Septiembre de 1998. 60 p.

Caracterización de materia primas para la fabricación de azul de ultramar. Revista de Minas. Universidad de Oviedo. Oviedo España. N° 13-14 1996

**TESIS Y TRABAJOS DE GRADO DIRIGIDOS**

EFFECTO DE LA TEMPERATURA ELEVADA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS CONECTORES DE ALTA TENSIÓN. Universidad Pontificia Bolivariana. Maestría en Ingeniería con énfasis en Nuevos Materiales. FERNÁNDEZ GLORIA PATRICIA

FABRICACIÓN DE HORMIGONES PIGMENTADOS CON AZUL ULTRAMAR. Universidad Nacional Medellín. Maestría en Ingeniería Área de Materiales y Procesos. RESTREPO GUTIERREZ JUAN CAMILO

PROPUESTA DE TRATAMIENTO TÉRMICO PARA LA TREFILACIÓN DE ACEROS 1070 CON ALTO PORCENTAJE DE REDUCCIÓN”. Universidad Pontificia Bolivariana. Maestría en Ingeniería con énfasis en Nuevos Materiales. ARCILA VERA, MARCELA MARÍA

OBTENCIÓN DE ÓXIDOS DE HIERRO COMO PIGMENTO A PARTIR DE BIOLIXIVIACIÓN. Universidad Nacional Medellín. Trabajo Dirigido de Grado, Ingeniería de Minas y Metalurgia. MARÍN GÓMEZ, HERNÁN DARÍO y RESTREPO DÁVILA, JUAN CARLOS

ESTUDIO DE LA ELIMINACIÓN DE IMPUREZAS EN PIGMENTOS DE OXIDO DE HIERRO SINTÉTICOS. Universidad Nacional Medellín. Trabajo Dirigido de Grado, Ingeniería de Minas y Metalurgia. RIASCOS MAYA, ERIKA PATRICIA y VILLAMIZAR RETAMALES, ANA MARIA

DISEÑO DE UN NUEVO MÉTODO DE OPERACIÓN MINERA. ZONA DE CHECUA. SUMICOL S.A. (2004). Universidad Nacional Medellín. Trabajo Dirigido de Grado, Ingeniería de Minas y Metalurgia. ESCUDERO RESTREPO SERGIO ANDRÉS

8. IMPLEMENTACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA LA FABRICACIÓN DE PIGMENTOS CERÁMICOS A TRAVÉS DE LAS VÍAS TRADICIONAL Y SOL GEL (2003). Universidad Nacional Medellín. Trabajo Dirigido de Grado Ingeniería Mecánica. CORREA ARCILA, SERGIO ALBERTO y PULGARÍN, DAVID ESTEBAN

7. COLORACIÓN DE CEMENTO CON PIGMENTO AZUL ULTRAMAR (2002). Universidad Nacional Medellín. Trabajo Dirigido de Grado, Ingeniería Química-Geología. POSADA GARCÍA, NATALIA y SANMARTIN TORO, NESTOR

PROPUESTA DE GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA EL PARQUE RECREATIVO LOS OSOS DE COMFAMA (2001). Universidad Nacional Medellín. Trabajo Dirigido de Grado, Ingeniería Industrial. BEDOYA BOLÍVAR, DORA EUGENIA y PEÑA HERNÁNDEZ, GABRIEL IGNACIO

ESTUDIO DE MERCADO PARA ÓXIDOS DE HIERRO EN LA INDUSTRIA COSMÉTICA Universidad EAFIT, Ingeniería de Procesos. GALLÓN RESTREPO, JULIÁN y MOLINA DELGADO, HÉCTOR ANDRÉS

ESTUDIO DE LA CONTAMINACIÓN POR CIANURO (NaCN) EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE MINERALES AURÍFEROS EN EL MUNICIPIO DE SEGOVIA Y BIOREMEDIACIÓN DE ARENAS CONTAMINADAS. Universidad de Antioquia. Medellín, Maestría en Ingeniería Ambiental. MONTOYA CARLOS ARTURO

DISEÑO DE UN MÉTODO DE EXPLOTACIÓN PARA LA EXTRACCIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN LA CANTERA SINIFANÁ Y SUS APLICACIONES AMBIENTALES (2000). Universidad Nacional Medellín. Trabajo Dirigido de Grado Ingeniería de Minas y Metalurgia. MONTOYA CASTRILLÓN, VÍCTOR MANUEL

LA EXPLOTACION DE UN YACIMIENTO DE ARCILLAS Y SUS IMPLICACIONES AMBIENTALES (1999). Universidad Nacional Medellín. Trabajo Dirigido de Grado, Ingeniería de Minas y Metalurgia. MUNOZ OSPINA. JORGE ANDRES

MODELO DE IMPLEMENTACION DE LA NORMA ISO 14001 EN EMPRESAS CONSTRUCTORAS URBANAS (1999). Universidad Nacional Medellín. Trabajo Dirigido de Grado, Construcción. RIVERA MORALES. LUZ ESTELA y VALENCIA V. JESUS ALBERTO.

#### **PARTICIPACIÓN EN PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN FINANCIADOS:**

Título: Coloración de Morteros y Hormigones con Azul Ultramar. Institución: DIME Universidad Nacional. Año: 2003-2004. Participación: Investigador Principal.

Título: Caracterización de los minerales de uso industrial de las arenas negras residuo de la explotación aurífera-aluvial de Mineros de Antioquia S.A. Institución: Dime Universidad Nacional. Año: 2003-2004. Participación: Co-investigador.

Título: Coloración de Cementos con pigmentos. Institución: Cindec Universidad Nacional. Año: 2000-2001. Participación: Investigador Principal

## ALEJANDRO TORO BETANCUR

Ingeniero Mecánico.	Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas - Medellín	1997
Doctor en Ingeniería	Universidad de Sao Paulo, Brasil	1998-2001
Postdoctorado	Lehigh University, Bethlehem, PA, Estados Unidos.	2002
Vinculo	Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas - Medellín	
Dirección electrónica	<a href="mailto:aotoro@unalmed.edu.co">aotoro@unalmed.edu.co</a>	
Grupos de investigación	Tribología y Superficies – Director Ciencia y tecnología de Materiales - investigador	

## PUBLICACIONES

Correlations between microstructure and surface properties in a high nitrogen martensitic stainless steel. Toro B. Alejandro, Misiolek, W., Tschiptschin, A.P. Acta Materialia Vol. No. 51 n. 12. (2003) 3363-3374

Surface properties of HNS. Toro B. Alejandro, Tschiptschin, A.P. HNS 2003. The Institute of Metallurgy - ETH Zurich. 3 7281 2891(2003) 229-240

The effect of the testing temperature on corrosion-erosion of martensitic stainless steels, Toro B. Alejandro, Mesa, DH., Sinatora, A., Tschiptschin, AP. Wear 255/1-6 (2003) 139-145

Sintered High Nitrogen Stainless Steel Obtained using Pre-Mixed Powders. , Toro B. Alejandro, Karsokas Filho, N.; Rodrigues, D.; Ambrosio Filho, F.; Tschiptschin, AP. Materials Science Forum 416/418, (2003) 269-275

P/M processing routes of martensitic stainless steels., Alonso-Falleiros, N.; Rodrigues, D.; Ambrosio Filho, F.; Tschiptschin, AP. Transactions of The Indian Institute of Metals. 55 n. 5. 2002) 481-487

Microstructure and chemical characterization of high temperature nitrated martensitic stainless steels. Toro B. Alejandro, Garzón, CG.; Tschiptschin, AP. Transactions of The Indian Institute of Metal. 55 n. 4. 2002) 255-263

Corrosion-erosion of nitrogen bearing martensitic stainless steels in seawater-quartz slurry. Sinatora, A., Tanaka, D.K., Tschiptschin, A.P. Wear 251. (2001) 1257-1264

Microstructure and corrosion resistance of simultaneous nitrated and sintered AISI 434L powder. Toro B. Alejandro, Alonso-Falleiros, N., Rodrigues, D., Ambrosio Filho, F., Liberati, J.F., Tschiptschin, A.P. Key Engineering Materials. 189-191(2001) 418-424

Improvement of Corrosion-Erosion Resistance of Martensitic Stainless Steels by Nitrogen Addition at High Temperature. Toro B. Alejandro, Tanaka, D.K., Sinatora, A., Tschiptschin, A.P. Journal of Materials Processing Technology. Section A1, Vol 117/3 (2001

P/M Processing of Nitrogen Bearing Corrosion Resistant Martensitic Stainless Steels. Toro B. Alejandro, Alonso-Falleiros, N., Rodrigues, D., Ambrozio Filho, F., Liberati, J.F., A. P. Tschiptschin. Journal of Materials Processing Technology. Section A1, Vol 117/3 (2001)

### **PARTICIPACIÓN EN PROYECTOS**

Estudio de la resistencia a corrosión-erosión de recubrimientos cerámicos depositados sobre acero inoxidable

Estudio del desgaste abrasivo de recubrimientos duros aplicados por soldadura para uso en la industria minera

Relación entre microestructura y propiedades acústicas de materiales metálicos utilizados en la construcción de instrumentos musicales

Desgaste abrasivo de cuchillas utilizadas en la preparación de caña de azúcar

Corrosión-Desgaste de Materiales Usados en la Fabricación de Implantes Quirúrgicos

Desgaste de Aceros Bainíticos y Perlíticos en el Sistema Rueda/Riel

Corrosión-Desgaste de Materiales Usados en la Fabricación de Implantes Quirúrgicos

Comportamiento mecánico de juntas adhesivas anaeróbicas con sustratos metálicos

Análisis semiautomático de la citotoxicidad y genotoxicidad in vitro de recubrimientos bioactivos

### **DIRECCIÓN DE TRABAJOS DE GRADO**

Mecanismos de degradación superficial en aceros inoxidables sometidos a erosión y corrosión en lodos

Desgaste abrasivo de recubrimientos duros aplicados por soldadura para procesamiento de minerales

Relación entre la microestructura y las propiedades de emisión acústica de aceros inoxidables martensíticos, en curso

Corrosión-desgaste en materiales usados para la construcción de implantes de juntas articulares, en curso

Corrosión-erosión de aceros inoxidables recubiertos con TiN aplicado por PVD (Maestría)

Relación entre la resistencia al corte de la caña de azúcar y las propiedades mecánicas de la herramienta de corte (Maestría), en curso

Aplicación y comportamiento de recubrimientos duros por soldadura resistentes a la abrasión, en curso (Maestría), en curso

## MARION WEBER SCHARFF

Geóloga.	Universidad de EAFIT	1987-1993
Ph.D.	Universidad de Leicester	1994-1998
Postdoctorado	Universidad de Buenos Aires, U.B.A., Argentina	2002
Vinculo	Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas - Medellín	
Dirección electrónica	mweber@unalmed.edu.co	
Grupo de Investigación	Mineralogía Aplicada - Investigadora	

## PUBLICACIONES

Rodriguez A., Koester E., Mallmann G., Conceição R.V., Kawashita, K., Weber M.B.I. 2003. Sr and Nd isotopic signatures of mantle and crustal xenoliths from Mercaders, Northern Volcanic Zone, Colombia. IV South American Symposium on Isotope Geology, short papers. Salvador, Brasil, 662-664.

Conceição R.V., Koester E., Mallmann G., Kawashita, K., Chemale Jr. F., Cingolani C., Hervé F., Bertotto G.W., Schilling M., Rodriguez A., Weber M.B.I. 2003. New Insights on the Andean-Related Subcontinental Lithospheric Mantle and Evidence of Sr-Nd Decoupling. IV South American Symposium on Isotope Geology, short papers. Salvador, Brasil, 528-531.

Sepúlveda L. P., Weber M., González H., Franco E., Cardona A. y Wilson R., 2003. Serpentinitas del Cabo de La Vela y rocas gabroicas asociadas. Memorias IX Congreso Colombiano de Geología – Simposio de Petrología. 68-69.

Weber, M., Tarney, J. T., Kent, R., Kempton, P., 2002. Crustal Make-up of the Northern Andes: Evidence based on Deep Crustal Xenolith Suites, Mercaderes, SW Colombia. Tectonophysics, 345, 49-82.

Weber, M., Tarney, J. T., Kent, R. & Kempton, P., 1999. A lower crustal and upper mantle model for southern Colombia, based on xenolith evidence. IV Interantional Symposium for Andean Geodynamics, Goettingen, Alemania, 801- 805.

Marin, M. I., Molina, M. M., Ordoñez, O. & Weber, M., 1999. Petrography and geochemistry of the Doña Juana volcanic complex, southwestern Colombia. IV Interantional Symposium for Andean Geodynamics, Goettingen, Alemania, 472 - 474.

Weber, M., Tarney, J., Kent, R., & Kempton, P. D., 1996. Deep crust and mantle xenoliths, Granatífera Tuff, SW Colombia - Implications for Andean Magmatism. III International Symposium for Andean Geodynamics, St. Malo, Francia, 657.

Weber, M., & Tarney, J., 1995. Crustal and Mantle Xenoliths from Volcanic Breccias, SW Colombia: Implications for the Crustal Structure of the Northwestern Andes. (abs.) EOS (Transactions of the American Geophysical Union, Fall Meeting Dec'95), F376.



Weber, M., & González, H., 1993. Origen de los corindones y granates asociados en el área de Mercaderes-Río Mayo, Departamento del Cauca, Colombia. VI Congreso Colombiano de Geología. Memorias, Tomo I, Medellín. p. 115-128.

### **PARTICIPACIÓN EN PROYECTOS**

2002-2003 Correlación regional do magmatismo Triassico de los Andes do norte: inicio de cooperación acadêmica nas ciencias da terra na parte NW de America do Sul. Programa Sul-americano de apoio às atividades de cooperação em ciência e tecnologia - PROSUL

2002-2003 Evolucao do Manto Litosferico da Plata Sul-Americana no Cenozoico: Caracterizacao Isotópica e Petrología Experimental. Programa Sul-americano de apoio às atividades de cooperação em ciência e tecnologia – PROSUL

### ALFONSO DEVIA CUBILLOS

Físico	Universidad del Valle, UV, Colombia	1976
Maestría en Física	Universidad del Valle, UV, Colombia	1980 - 1982
Doctor en Ciencias Físicas	Universidad de Buenos Aires, U.B.A., Argentina	1996
Postdoctorado	Universidad de Buenos Aires, U.B.A., Argentina	2002
	Postdoctorado. Univ. Simón Bolívar, USB, Venezuela	1998 - 1998
Vínculo	Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias.- Manizales	
Dirección electrónica	<a href="mailto:adevia@epm.net.co">adevia@epm.net.co</a>	
Grupo de investigación	Laboratorio de Física del Plasma - Director	

### PUBLICACIONES

DEVIA CUBILLOS, ALFONSO, ELISABETH RESTREPO,, BENAVIDES, V., ARANGO, YULIETH CRISTINA, RODRIGUEZ, R. Diseño y Construcción de un Calotest Utilizado Para Medir Espesores.. Scientia Et Technica. Pereira Colombia: , v.24, n.1, p.269 - 272, 2004.

DEVIA CUBILLOS, ALFONSO, RESTREPO PARRA, ELISABETH. Optical Emission Diagnostic of a Pulsed Arc Discharge. Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films --. America Vacuum Society: , v.22, p.377 - 382, 2004.

RESTREPO PARRA, ELISABETH, DEVIA CUBILLOS, ALFONSO, GUSTAVO ZAMBRANO,, RIASCOS LANDAZURY, HENRY, PRIETO PULIDO, PEDRO ANTONIO, RINCÓN, CARLOS. Optical Emission Spectroscopy Study Of R.F. Magnetron Sputtering Discharge Used For Multilayers Thin Film Deposition. Surface and Coatings Technology. Florida, Estados Unidos: , v.172, p.144 - 149, 2003

DEVIA CUBILLOS, ALFONSO, ARIAS MATEUS, DIEGO FERNANDO, BELARMINO SEGURA,, MAURICIO ARROYAVE,, LORENA GIRALDO, ASTRID, BENAVIDES, V. Producción y Caracterización de Bicapas deTiN/DLC en Películas Delgadas. Revista de la Sociedad Colombiana de Física. Cali Colombia: , v.36, n.2, p.272 - 276, 2004.

DEVIA CUBILLOS, ALFONSO, TOVAR BUSTOS, EDIXON HERNANDO, RÍOS LÓPEZ, HERNÁN MAURICIO, BEDOYA RESTREPO, CÉSAR AUGUSTO, OLAYA GÓMEZ, NILSON. Laboratorios Remotos de Física Básica. Revista Colombiana de Física. Sociedad Colombiana de Física: , v.35, n.1, p.118 - 121, 2003.

CRISTINA ARANGO, YULIETH, DEVIA CUBILLOS, ALFONSO, CAICEDO, CARLOS HERNÁN, ARROYAVE FRANCO, MAURICIO. Aplicación Actual De La Técnica De Difracción De Rayos X Para La Caracterización De Productos Farmacéuticos. Revista Colombiana de Física. Cali, Colombia: , v.34, n.2, p.464 - 468, 2002.

RESTREPO PARRA, ELISABETH, DEVIA CUBILLOS, ALFONSO. Caracterización De Materiales Utilizando La Espectroscopía Óptica De Emisión. Revista Colombiana de Física. Cali, Colombia: , v.34, n.2, p.478 - 483, 2002.

SEGURA GIRALDO, BELARMINO, RESTREPO PARRA, ELISABETH, DEVIA CUBILLOS, ALFONSO. Caracterización de Recubrimientos Utilizando la Técnica OES. Revista Colombiana de Física. Cali, Colombia: , v.34, n.1, p.168 - 172, 2002.

GARCÍA GARCÍA, LUIS ALPIDIO, PULZARA MORA, ÁLVARO ORLANDO, DEVIA CUBILLOS, ALFONSO. Caracterización Eléctrica de un Arco Pulsado a Baja Presión . Revista Colombiana de Física. Cali, Colombia: , v.34, n.1, p.147 - 151, 2002.

PINEDA GÓMEZ, SANTOS POSIDIA, ARIAS MATEUS, DIEGO FERNANDO, PULZARA MORA, ÁLVARO ORLANDO, DEVIA CUBILLOS, ALFONSO, CRISTINA ARANGO, YULIETH, ARROYAVE FRANCO, MAURICIO. Crecimiento y Caracterización de Recubrimientos con Bicapas de Zr/ZrN. Revista Colombiana de Física. Cali, Colombia: , v.34, n.1, p.119 - 122, 2002

DEVIA CUBILLOS, ALFONSO, RESTREPO PARRA, ELISABETH, COGOLLO, RAFAEL, SÁNCHEZ MACHET, HERNÁN, MARIÑO CAMARGO, ÁLVARO. Espectroscopía Óptica De Un Sistema De Magnetron Sputtering. Revista Colombiana de Física. Cali, Colombia: , v.34, n.2, p.488 - 493, 2002.

RESTREPO PARRA, ELISABETH, SEGURA GIRALDO, BELARMINO, ARROYAVE FRANCO, MAURICIO, DEVIA CUBILLOS, ALFONSO. Estudio Eléctrico De Un Plasma De Arco Pulsado. Revista Colombiana de Física. Cali, Colombia: , v.34, n.2, p.493 - 498, 2002.

ARROYAVE FRANCO, MAURICIO, DEVIA CUBILLOS, ALFONSO. Obtención de Imágenes con Resolución Atómica de Diferentes tipos de Superficies por Microscopía de Fuerza Atómica . Revista Colombiana de Física. Cali, Colombia: , v.34, n.1, p.128 - 133, 2002.

BOTERO LONDOÑO, MÓNICA ANDREA, RESTREPO PARRA, ELISABETH, ARROYAVE FRANCO, MAURICIO, DEVIA CUBILLOS, ALFONSO. Parámetros del Plasma obtenidos Durante el proceso de Producción de Recubrimientos Poliméricos.. Revista Colombiana de Física. Cali, Colombia: , v.34, n.1, p.163 - 167, 2002.

SÁNCHEZ OSPINA, CARLOS GERMÁN, ARROYAVE FRANCO, MAURICIO, DEVIA CUBILLOS, ALFONSO. Procesamiento por Software de Imágenes Obtenidas por Microscopía de Fuerza Atómica.. Revista Colombiana de Física. Cali, Colombia: , v.34, n.1, p.173 - 176, 2002.

SEGURA GIRALDO, BELARMINO, RESTREPO PARRA, ELISABETH, DEVIA CUBILLOS, ALFONSO, ARROYAVE FRANCO, MAURICIO. Producción y Caracterización De Recubrimientos De TiO<sub>2</sub>. Revista Colombiana de Física. Cali, Colombia: , v.34, n.2, p.474 - 477, 2002.

MORENO PEÑA, LUIS EDGAR, RESTREPO PARRA, ELISABETH, ARROYAVE FRANCO, MAURICIO, DEVIA CUBILLOS, ALFONSO. Producción y Caracterización de Recubrimientos de ZNO Usando un Plasma de Arco Pulsado. . Revista Colombiana de Física. Cali, Colombia: , v.34, n.1, p.138 - 141, 2002.

RESTREPO PARRA, ELISABETH, ANDRÉS VELÁSQUEZ, ABILO, ARROYAVE FRANCO, MAURICIO, SEGURA GIRALDO, BELARMINO, DEVIA CUBILLOS, ALFONSO. Relación Entre Los Parámetros Del Plasma Y La Morfología De Un Recubrimiento De TiN. Revista Colombiana de Física. Cali, Colombia: , v.34, n.1, p.142 - 146, 2002.

PULZARA MORA, ÁLVARO ORLANDO, PINEDA GÓMEZ, SANTOS POSIDIA, ARIAS MATEUS, DIEGO FERNANDO, CRISTINA ARANGO, YULIETH, DEVIA CUBILLOS, ALFONSO. ZrN Hard Coating by PAPVD. Revista Colombiana de Física. Cali, Colombia: , v.34, n.1, p.95 - 99, 2002.

MONSALVE OSPINA, JEIMY MARITZEL, TORRES OSPINA, GIOVANNY ALEXANDER, DEVIA CUBILLOS, ALFONSO, SUAREZ, ALFONSO. Control Y Monitoreo De Variables De Un Motor Vía Internet. Revista Colombiana de Física. Cali, Colombia: , v.33, n.2, p.221 - 224, 2001.

CRISTINA ARANGO, YULIETH, DEVIA CUBILLOS, ALFONSO. Diseño de una Fuente de Potencia Controlada para Generar Arcos Electricos en un Proceso PAPVD. Revista Colombiana de Física. Cali, Colombia: , v.33, n.2, p.429 - 434, 2001.

ARIAS MATEUS, DIEGO FERNANDO, PINEDA GÓMEZ, SANTOS POSIDIA, PULZARA MORA, ÁLVARO ORLANDO, DEVIA CUBILLOS, ALFONSO, ARROYAVE FRANCO, MAURICIO. Producción De Recubrimientos Duros De Bicapas TiN / ZrN Por PAPVD Por Arco Pulsado . Revista Colombiana de Física. Cali, Colombia: , v.33, n.2, p.456 - 459, 2001.

TORRES OSPINA, GIOVANNY ALEXANDER, MONSALVE OSPINA, JEIMY MARITZEL, DEVIA CUBILLOS, ALFONSO, AUGUSTO SÁNCHEZ, CÉSAR. Sistema De Programación De Descarga Y Monitoreo Remotos Sobre Internet Para Un Sistema Automático De Producción De Recubrimientos Asistidos Por Plasma. Revista Colombiana de Física. Cali, Colombia: , v.32, n.2, p.417 - 420, 2001.

RESTREPO PARRA, ELISABETH, RAMÍREZ DELGADO, WILDER, DEVIA CUBILLOS, ALFONSO, ARANGO ARANGO, PEDRO JOSÉ. Cálculo de la Temperatura Electrónica de un Plasma Producido en una Descarga Pulsada Utilizando su Espectro de Emisión. Revista Colombiana de Física. Cali, Colombia: , v.32, n.1, p.225 - 228, 2000.

ARANGO ARANGO, PEDRO JOSÉ, ARROYAVE FRANCO, MAURICIO, DEVIA CUBILLOS, ALFONSO, BOTERO ÁNGEL, JOSÉ JAIRO. Caracterización de Películas Delgadas de TiN. Revista Colombiana de Física. Cali, Colombia: , v.32, n.1, p.229 - 232, 2000.

ARROYAVE FRANCO, MAURICIO, TORO GARCÍA, NICOLÁS, DEVIA CUBILLOS, ALFONSO, ARANGO ARANGO, PEDRO JOSÉ. Control de Corriente de Descargas Glow Utilizando un Controlador Basado en Conocimiento Difuso. Revista Colombiana de Física. Cali, Colombia: , v.32, n.1, p.243 - 246, 2000.

DEVIA CUBILLOS, ALFONSO, RIVERA MARQUEZ, WAINER. Estudio de Enlaces y Modos Vibracionales de alotros del Carbono Por FTIR. . Revista Colombiana de Física. Cali, Colombia: , v.32, n.1, p.21 - 24, 2000.

ARROYAVE FRANCO, MAURICIO, ARANGO ARANGO, PEDRO JOSÉ, BOTERO ÁNGEL, JOSÉ JAIRO, DEVIA CUBILLOS, ALFONSO. Actividades Científico-Académicas del Laboratorio de Física del Plasma.. Revista Noos. Manizales, Colombia: , v.9, p.87 - 92, 1999.

DEVIA CUBILLOS, ALFONSO, GONZÁLEZ, ANDRÉS FELIPE ROJAS, ALZATE SERNA, RAFAEL. Cinética de la Formación de una Película de Nitruro de Titanio (TiN). Revista Noos. Manizales, Colombia: , v.9, n.9, p.115 - 120, 1999.

ROJAS GONZÁLEZ, ANDRÉS FELIPE, DEVIA CUBILLOS, ALFONSO, ALZATE SERNA, RAFAEL. Efecto del Número de Desacargas en el Espesor del Recubrimiento de Nitruro de Titanio (TiN). Revista Noos. Manizales, Colombia: , v.9, n.9, p.140 - 168, 1999.

DEVIA CUBILLOS, ALFONSO, BOTERO ÁNGEL, JOSÉ JAIRO, ARROYAVE FRANCO, MAURICIO, MARQUEZ, WAYNER RIVERA. Estabilidad Para el Problema MHD en Placas Perforadas y Paralelas. . Revista Colombiana de Fisica. Cali, Colombia: , v.31, n.2, p.185 - 188, 1999.

DEVIA CUBILLOS, ALFONSO, RIVERA MARQUEZ, WAYNER, TAMAYO, LUIS HERNANDO. Evaluación de las Características Superficiales de Películas de Dióxido de Estaño Por STM. Revista Colombiana de Fisica. Cali, Colombia: , v.31, n.2, p.247 - 250, 1999.

DEVIA CUBILLOS, ALFONSO, HINCAPIÉ ROZO, YULY SOLANCI, PÉREZ MARTELO, COSTANZA BEATRIZ, ARANGO ARANGO, PEDRO JOSÉ, PINZÓN ATEHORTUA, JAIME. Interacción entre la Física e Ingeniería Para el Direccionamiento de la Investigación hacia el Desarrollo Tecnológico. Revista Colombiana de Fisica. Cali, Colombia: , v.31, n.2, p.384 - 387, 1999.

DEVIA CUBILLOS, ALFONSO, ARANGO ARANGO, PEDRO JOSÉ, ARROYAVE FRANCO, MAURICIO, TORO GARCÍA, NICOLAS. Obtención de Función de Ajuste por Red Neuronal Para Sensor Pirani en un Controlador de Presión. Revista Colombiana de Fisica. Cali, Colombia: v.31, n.2, p.423 - 427, 1999.

ROJAS GONZÁLEZ, ANDRÉS FELIPE, ORTIZ ZAMORA, JAIRO AARTURO, RESTREPO PARRA, ELISABETH, DEVIA CUBILLOS, ALFONSO. Análisis de la Película Polimérica y Polvillo Obtenidos en un Plasma de Acetileno y Acetileno Nitrógeno. Revista Noos. Manizales, Colombia: , v.6, n.6, p.116 - 129, 1998.

DEVIA CUBILLOS, ALFONSO, CANDELO, CARLOS, ARROYAVE, CARLOS, MORANTE GARCÍA, GONZALO, CÉSAR MINOTAS, JULIO. Caracterización Anticorrosiva de una Película Polimérica Obtenida Mediante Plasma . Revista Colombiana de Fisica. Colombia: , v.30, n.1, p.37 - 40, 1998.

DEVIA CUBILLOS, ALFONSO. Código Numérico Bidimensional para Simular un Tubo de Descarga. Noos. Manizales, Colombia: , v.4, n.1, p.108 - 117, 1998.

BOTERO ÁNGEL, JOSÉ JAIRO, RESTREPO PARRA, ELISABETH, DEVIA CUBILLOS, ALFONSO. El Motor de Corriente Continua con Excitación Independiente. Revista Noos. Manizales, Colombia: , v.6, n.6, p.65 - 72, 1998.

DEVIA CUBILLOS, ALFONSO, RESTREPO PARRA, ELISABETH. La Ecuación de Schrödinger y los Armónicos Esféricos en el Mathematica. Revista Noos. Manizales, Colombia: , v.4, n.1, p.83 - 90, 1998.

DEVIA CUBILLOS, ALFONSO, BOTERO LONDOÑO, MÓNICA ANDREA. Mecanismos de Polimerización en Plasma. Noos. Colombia: , v.4, n.4, p.82 - 90, 1998.

DEVIA CUBILLOS, ALFONSO. Preparación de Sustratos de Acero para Recubrimientos en Plasma. Revista Noos. Manizales: , v.4, n.4, p.91 - 97, 1998.

ROJAS GONZÁLEZ, ANDRÉS FELIPE, ORTIZ ZAMORA, JAIRO ARTURO, RESTREPO PARRA, ELISABETH, DEVIA CUBILLOS, ALFONSO. Variables y Ventajas del proceso de Polimerización en Plasma. Revista Noos. Manizales, Colombia: , v.6, n.6, p.85 - 94, 1998.

ARANGO ARANGO, PEDRO JOSÉ, DEVIA CUBILLOS, ALFONSO, BARCO ROJAS, HÉCTOR. Electromagnetic oscillations in cylindrical plasmas with electron beams interactions. Astrophysics and Space Science. , v.256, p.321 - 326, 1997.

DEVIA CUBILLOS, ALFONSO, VARGAS HERNÁNDEZ, CARLOS Modos Normales de Vibración de Redes Cúbicas de Caras Centradas en Materiales Magnéticos de Tipo Sulfocromitas. Revista Colombiana de Física. Bogotá, Colombia: , v.28, n.2, p.245 - 248, 1996.

DEVIA CUBILLOS, ALFONSO, ÁNGULO GARCÍA, FABIOLA, GONZÁLEZ, GUSTAVO. Calculo de la Función de Dispersión del Plasma  $Z(z)$ . Revista Colombiana de Física. Cali, Colombia: , v.27, n.1, p.179 - 182, 1995.

DEVIA CUBILLOS, ALFONSO, MORALES BETANCOURT, ADRIANA MARÍA, ÁNGULO GARCÍA, FABIOLA. Flujos Disipativos Magnetohidrodinámicos. Revista Colombiana de Física. Cali, Colombia: , v.27, n.1, p.143 - 146, 1995.

DEVIA CUBILLOS, ALFONSO, GRATTON, FAUSTO TULIO. Escape de un Fluído Conductor a Través de un Campo Magnético. Física de Fluídos 93. La Plata, Argentina: , v.49, p.33 - 37, 1994.

## **PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN**

2002 - Actual Capas PVD aplicadas sobre herramientas de corte y cuchillería, propiedades mecánicas y tribológicas. Financiador(es): Instituto Colombiano para el desarrollo de la Ciencia y la Tecnología Franc-COLCIENCIAS, Universidad Nacional de Colombia -Manizales-UNCM, Universidad Nacional de Colombia - Medellín-UNCM.

2002 - Actual Diseño y construcción de un sistema multicátodo automatizado para deposición física de vapores asistida por plasma en arco pulsado. Financiador(es): Instituto Colombiano para el desarrollo de la Ciencia y la Tecnología Franc-COLCIENCIAS, Servicio nacional de aprendizaje SENA-SENA

2002 - Actual Flujos Magnetohidrodinámicos y Teoría Cinética. Financiador(es): Universidad Nacional de Colombia -Manizales-UNCM.

2001 - Actual Producción y caracterización de recubrimientos en multicapas de TiN/DLAC/TiN/DLC. Financiador(es): Instituto Colombiano para el desarrollo de la Ciencia y la Tecnología Franc-COLCIENCIAS, Universidad Nacional de Colombia -Manizales-UNCM

2001 - Actual Recubrimientos de Nitruro de Boro cúbico producidos mediante la tecnología de multicapas para el mejoramiento del desempeño de herramientas de corte Financiador(es): Instituto Colombiano para el desarrollo de la Ciencia y la Tecnología Franc-COLCIENCIAS, Servicio nacional de aprendizaje SENA-

2000 - Actual Producción y caracterización de películas poliméricas.

2000 - Actual Diseño e implementación de una fuente automatizada de potencia para generar arcos eléctricos pulsados repetitivos Financiador(es): Universidad Nacional de Colombia - Manizales-UNCM, Universidad Nacional de Colombia-UNC

2000 - 2002 Implementación de la técnica GDOES para caracterización de recubrimientos Financiador(es): Universidad Nacional de Colombia -Manizales-UNCM

2000 - Actual Producción y caracterización de películas delgadas conductoras transparentes. Financiador(es): Universidad Nacional de Colombia -Manizales-UNCM.

1999 - 2001 Caracterización eléctrica de un sistema de deposición de películas Financiador(es): Universidad Nacional de Colombia -Manizales-UNCM

1998 - 1999 Automatización del Sistema de Descargas del Laboratorio. Financiador(es): Universidad Nacional de Colombia -Manizales-UNCM

1997 - 2000 Caracterización de un plasma pulsado utilizado para producir recubrimientos de TiN , por medio de espectroscopía óptica de emisión Financiador(es): Instituto Colombiano para el desarrollo de la Ciencia y la Tecnología Franc-COLCIENCIAS, Universidad Nacional de Colombia -Manizales-UNCM

1997 - 2000 Análisis Computacional de la Relación de Dispersión Financiador(es): Instituto Colombiano para el desarrollo de la Ciencia y la Tecnología Franc-COLCIENCIAS, Universidad Nacional de Colombia -Manizales-UNCM

1990 - 1996 Fluidos Electromagnéticos Disipativos. Financiador(es): Instituto Colombiano para el desarrollo de la Ciencia y la Tecnología Franc-COLCIENCIAS, Universidad Nacional de Colombia -Manizales-UNCM

## PABLO JESÚS ABAD MEJÍA

Ingeniero Civil	Facultad de Mina- Universidad Nacional de Colombia	1976
Magister Scientiae Physicae	Universidad de Puerto Rico	1990
Doctor en Ciencias Físicas	Universidad Autónoma de Madrid	1998
Vínculo	Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias.- Medellín.	
Dirección electrónica	<a href="mailto:pdjabad@perseus.unalmed.edu.co">pdjabad@perseus.unalmed.edu.co</a>	
Grupo de Investigación	Cerámicos y Vítreos - Director	

## PUBLICACIONES

Centered Reduced Moments and Associated Density Functions Applied to Alkaline Comet Assay Journal of Biomedical Optics (JBO) (coautor) Pendiente para su publicación.

“Reliability Weibull Análisis for Structural Evaluation of Bioactive Film Obtained by Sol – Gel Process” (coautor) Key Engineering Material, vol. 254-256, p. 431-434

“Inmovilización de lactobacillus helveticus en soportes vítreos obtenidos por tecnología sol-gel” (coautor) Soc. Esp. Cerám. Vidrio, 42 [2] 000-000 2003

“Computación Evolutiva, una Herramienta de Modelamiento en Ciencias de la Salud” (coautor) Revista CES Medicina, vol 16 No 2, Abril – septiembre 2002, p. 43 - 48

“Características Microestructurales de Vitrocerámicos de Fresnoita Obtenidas por Tratamiento de Imágenes” (coautor) Cuaderno Cerámicos y Vítreos No 8 ISSN 0121-7771, Medellín 2000, p. 15 - 24

“Capas sol - gel aplicadas sobre sustrato metálico” (coautor) Cuaderno Cerámicos y Vítreos No 8 ISSN 0121-7771, Medellín 2000 p. 45 - 48

“Tratamientos superficiales y Recubrimientos”, Memorias del Taller de Trabajo sobre Recubrimientos Anticorrosivos para Aplicaciones Odontológicas y Traumatológicas, Cuaderno Cerámicos y Vítreos No 8 ISSN 0121-7771, Medellín 1999, p. 11 - 18.

“Reciclaje del Vidrio en Colombia” Revista Red Iberoamericana sobre Ciencia y Tecnología de Materiales Vítreos, ISSBN 84-8198-259-8, Madrid 1999, p. 47 - 55.

“La Industria y la Investigación Vidriera en Colombia”, Revista Red Iberoamericana sobre Ciencia y Tecnología de Materiales Vítreos, ISSBN 84-8198-259-8, Madrid 1998, p. 47 - 62.

## TESIS DE MAESTRÍA

“Valoración de la efecto mutagénico de los productos liberados durante el envejecimiento in vitro a largo plazo de recubrimiento cerámicos”. Alejandro Peláez para optar al título de Maestría en Biotecnología (en proceso).

“Desarrollo de Propiedades Bactericidas en Esmaltes para Cerámica Sanitaria” Carlos Mario Restrepo para optar al título de Maestría en Física (en proceso).



## **TRABAJOS DIRIGIDOS DE GRADO**

“Obtención y valoración de cristalización orientada de fresnoita a través de capas Sol-Gel”  
Edwin Rivera

“Viabilidad y estudio de alternativas de diseño de un proceso de trituración y limpieza de desecho de vidrio asociado a centros de acopio” Walter Gustavo López López, para optar el título de Ingeniero Industrial. Tomás Felipe Correa Gutiérrez, Juan Esteban Gómez Mejía para optar el título de Ingeniero Mecánico. Universidad Nacional De Colombia Sede Medellín Facultad Nacional De Minas Medellín 2002

“Estudio de alternativas para el mejoramiento mecánico de una resina dental” Mónica Lucía Álvarez Láinez, Lina María García Ramírez, para optar al título de Ingeniero Químico Universidad Nacional De Colombia Sede Medellín Facultad Nacional De Minas Medellín 2002

“Viabilidad del uso de vidrio reciclado en la fabricación de fritas para esmaltado cerámico” Jorge Alberto Galindo Urquijo para optar al título de Ingeniero Químico. Universidad Nacional De Colombia Sede Medellín Facultad Nacional De Minas Medellín 2001

“Estudio de la viabilidad técnica para inmovilizar lactobacillus helveticus sobre soportes elaborados mediante la técnica sol – gel” Juan Fernando Betancur, Yaly Restrepo V. para optar al título de Ingeniero Químico. Universidad Nacional De Colombia Sede Medellín Facultad Nacional De Minas Medellín 2000

“Obtención y estudio de capas sol-gel sobre sustrato metálico como protectoras de la corrosión” Miguel Alejandro Rico, Claudia Patricia Ossa para optar el título de Ingeniero Mecánico. Universidad Nacional De Colombia Sede Medellín Facultad Nacional De Minas Medellín 1999

“Recubrimiento cerámico sobre matriz metálica: llama y descarga” Wilson Martínez V., Mónica Ramírez Q. para optar el título de Ingeniero Mecánico. Universidad Nacional De Colombia Sede Medellín Facultad Nacional De Minas Medellín 1999

Modelo organizacional y estructura administrativa de un Instituto Especializado de Investigación y Servicio

## **PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN**

“Desarrollo Y Caracterización de Cristalización Orientada En Fresnoita Obtenida A Partir De Capas Sol-Gel” Proyecto DINAIN 2002 - 2004.

“Caracterización Mecánica Y Biológica De Recubrimientos Sobre Sustrato Metálico Por Sol – Gel Para Aplicaciones Biomédicas”. Proyecto presentado a la convocatoria DINAIN – COLCIENCIAS para la realización de la tesis de maestría en Biotecnología de Alejandro Peláez, vinculado por el grupo C y V como joven investigador del concurso de Colciencias.

"Recubrimientos vítreos sobre sustrato metálico a partir de soles con suspensión de partículas de hidroxiapatita, para aplicaciones biomédicas". Coinvestigador

Hace parte del proyecto global de desarrollo de capas funcionales presentado por la Red de Ciencia y Tecnología del Vidrio aprobado por el CYTED, y vincula actividades conjuntas de la Universidad del Mar del Plata de Argentina, del grupo de investigación en Biomateriales de la Universidad de Antioquia, de la Unidad de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Minas y del Programa Cerámicos y Vítreos de las facultades de Ciencias y de Minas.

"Optimización de propiedades mecánicas de recubrimientos sol-gel altamente absorbentes de radiación ultravioleta en substrato de vidrio". Investigador. Hace parte del proyecto global de desarrollo de capas funcionales aprobado por el CYTED

"Estudio de las Características Multifractales de los Mecanismos Iniciales de Nucleación Inducida en un Vidrio LS2, Asociadas a Propiedades Físico Químicas". Coinvestigador. Hace parte del proyecto marco "Nucleación de fases metaestables en vidrios y bio-vitrocerámicos" presentado por la Red Iberoamericana de Ciencia y Tecnología del Vidrio aprobado por el CYTED

## CLAUDIA PATRICIA GARCÍA GARCÍA

Ingeniera Geologa	Facultad de Minas- Universidad Nacional de Colombia	1988
Doctor en Ciencias Físicas	Universidad Autónoma de Madrid	2004
Vinculo	Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias.- Medellín.	
Dirección electrónica	<a href="mailto:pdjabad@perseus.unalmed.edu.co">pdjabad@perseus.unalmed.edu.co</a>	
Grupo de Investigación	Cerámicos y Vítreos -	

### Artículos publicados en revistas científicas

A. DURÁN, A. CONDE, A. GÓMEZ COEDO, T. DORADO, C. GARCÍA, S. CERÉ Sol-gel coatings for protective and bioactive functionalisation of metals used in orthopaedic devices. Journal of Material Chemistry. J. Mater. Chem., 2004, DOI: 10.1039/b401370k.

GARCÍA, Claudia Patricia; CERÉ, Silvia; GALLIANO, Pablo. Electrochemical evaluation of resistance to localized corrosion of vitreous coatings containing particles applied on metallic substrates for biomedical applications. Journal Of Materials Science Letters 57 (2003) P. 1810-1814

PAUCAR, Carlos Guillermo; GARCÍA, Claudia Patricia; GAVIRIA, Jair de Jesús. Efecto de algunas variables críticas en la ruta de síntesis de Hidroxiapatita ( $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ). Cuaderno Cerámicos & Vítreos, V. 9, p. 31-38, 2000.

GARCÍA, Claudia Patricia; GARCÍA, Catalina; CATAÑO, Nora. Utilización del Subproducto del Reciclaje del Vidrio como Materia Prima en una Planta de Cerámica Roja. Cuaderno Cerámicos & Vítreos, V. 9, p. 39-44, 2000.

### Artículos enviados a revistas científicas

García C., A. Durán, R. Moreno. Stability of Suspensions of Bioactive Particles using Hybrid Organic-Inorganic Solutions as Dispersing Media. Sent to J. of Sol-Gel Sci. and Techn. Mayo de 2003. Actualmente se encuentra en revisión.

García C., Ceré S., Durán A. Bioactive Coatings Prepared By Sol-Gel On Stainless Steel 316L. Sent to J. of Non Cryst. Sol. Noviembre de 2003

### PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

Recubrimientos vítreos funcionales. Descripción: Desarrollo de recubrimientos vítreos por diversas técnicas y sobre diferentes sustratos con funciones específicas. Situación: Concluido. Financiación: CYTED, Proyecto VIII-9 y Red VIII-E

1998 - 1998 Expansión por humedad de arcillas cocidas. Financiación: Universidad Nacional de Colombia - Medellín

1995 - 1997 Recuperación de arenas negras como subproducto de la minería aluvial de oro. Financiación: Instituto Colombiano para el desarrollo de la Ciencia y la Tecnología - COLCIENCIAS

### **IDIOMAS**

Entiende:	Inglés	(Razonablemente).
Habla:	Inglés	(Razonablemente).
Lee:	Inglés	(Bien).
Escribe:	Inglés (Razonablemente)	

### **Trabajos en Eventos**

GARCÍA, Claudia Patricia; CERÉ, Silvia; DURÁN, Alicia Bioactive coatings on metals for biomedical applications THE ANNUAL MEETING OF THE INTERNATIONAL COMMISSION ON GLASS, 6TH BRAZILIAN SYMPOSIUM ON GLASS AND RELATED MATERIALS AND 2ND INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NON-CRYSTALLINE SOLIDS. Campos do Jordão, Brazil. Septiembre 2003

GARCÍA, Claudia Patricia; CERÉ, Silvia; DURÁN, Alicia. Recubrimientos bioactivos realizados por sol – gel sobre acero inoxidable 316 L. II CONGRESO INTERNACIONAL DE MATERIALES – VII CONGRESO NACIONAL DE CORROSIÓN Y PROTECCIÓN, Bucaramanga, Colombia Septiembre 2003.

C. Garcia, S. Cere, A. Durán. Preparation and electrochemical evaluation of bioactive sol gel coatings applied on surgical alloys. 54th ISE (International Society of Electrochemistry). Sao Pedro, Brasil 31 de agosto al 5 de sept. 2003

X. Gaviria, C. García, S. Ceré. Recubrimientos vítreos por el método sol – gel para aceros inoxidables”. XIII Congreso Argentino de Físicoquímica. Bahía Blanca, Abril 2003

GARCÍA, Claudia Patricia; CERÉ, Silvia; GALLIANO, Pablo. Electrochemical evaluation of resistance to localized corrosion of vitreous coatings containing particles applied on metallic substrates for biomedical applications. FIRST INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NON CRYSTALLINE SOLIDS IN BRAZIL AND FIFTH BRAZILIAN SYMPOSIUM ON GLASS AND RELATED MATERIALS, 2001, Foz de Iguazú.

GARCÍA, Claudia Patricia; CERÉ, Silvia; GALLIANO, Pablo; AMATO, Luis; ABAD, Pablo. Recubrimientos bioactivos por sol-gel sobre aleaciones en base cobalto para implantes. CONGRESO ARGENTINO E INTERNACIONAL DE CERÁMICA, VIDRIO Y REFRACTARIOS. V CONGRESO DE CERÁMICA DEL MERCOSUR, 2000, Buenos Aires. Atacer 2000. Asociación técnica Argentina de cerámica, 2000. p. 341 -350.

PAUCAR, Carlos Guillermo; GARCÍA, Claudia Patricia García; RESTREPO, Ramiro. Transformación de finos del lavado del carbón del Cerrejón Zona Norte. IV CONGRESO NACIONAL Y II INTERNACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA DEL CARBON, 1998,

Tunja. Memoria del IV congreso nacional y II internacional de ciencia y tecnología del carbón. 1998. V. 5, p. 2-12.

GARCÍA, Claudia Patricia; MEZA, Luis Alberto. Recuperación de arenas negras como subproducto de la minería aluvial de oro. CONGRESO NACIONAL DE MINERÍA, 1997, Medellín. Memoria del X Congreso nacional de minería. 1997. y. 01, p. 165-1 75.

### **TRABAJOS DIRIGIDOS DE PREGRADO CONCLUIDOS**

GAVIRIA, Ximena. Recubrimientos vítreos sobre aceros inoxidable. 2002. Trabajo de conclusión de Pregrado en Ingeniería Mecánica Universidad Nacional de Colombia - Medellín. Tutor: Claudia Patricia García García.

GARCÍA, Catalina Y CATAÑO, Nora. Utilización del subproducto del reciclaje del vidrio como materia prima en una planta de cerámica roja. 2000. Trabajo de conclusión de Pregrado en Ingeniería Industrial - Universidad Nacional de Colombia - Medellín. Tutor: Claudia Patricia García García.

AYALA, Gloria Patricia. Expansión por humedad de ladrillos cocidos. 1998. Trabajo de conclusión de Pregrado en Construcción Civil - Universidad Nacional de Colombia - Medellín. Tutor: Claudia Patricia García García.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Sede Medellín

ACUERDO XXX DE 2004

Acta XX del XXXX

“Por medio del cual se autoriza la apertura de la Línea de Investigación en Ciencia y Tecnología de Materiales en el programa de Doctorado de Ingeniería de la Facultad de Minas, creado por Acuerdo 82 del 11 de septiembre de 1991 del Consejo Superior Universitario”.

EL CONSEJO DE SEDE

En uso de sus atribuciones legales, y

CONSIDERANDO:

Que el Consejo Académico mediante Acuerdo 05 de 1996, Artículo 2º, delegó en los Consejos de Sede la aprobación de nuevas líneas de investigación en los programas de Maestría y Doctorados.

Que el Comité Asesor del programa de Doctorado en Ingeniería, presentó ante el Comité de Programas Curriculares y de Docencia de la Facultad de Minas, la propuesta de apertura de la Línea de Investigación en Ciencia y Tecnología de Materiales habiéndose estudiado y evaluado favorablemente dicha propuesta según acta xxxxx.

Que el Consejo de Facultad de Minas acogió dicha propuesta y dio su aprobación en primera instancia, según Acta XXXXXXXXX y la presentó al Comité de Dirección Académica de la Sede, quien a su vez por Acta XXX 19 del 7 de noviembre de XXXX dio traslado con concepto favorable al Consejo de Sede.

Que el Consejo de Sede en su sesión XXX encontró pertinente la apertura de esta nueva línea.

RESUELVE:

ARTÍCULO 1º. A partir del semestre 01-2001, se aprueba la apertura de la nueva línea de investigación en Ciencia y Tecnología de Materiales del programa de Doctorado en Ingeniería de la Facultad de Minas.

ARTÍCULO 2º. Reportar a la Dirección Nacional de Programas Curriculares.

ARTÍCULO 3º. El presente Acuerdo rige a partir de la fecha de su expedición. COMUNÍQUESE Y CÚMPLASE.

Dado en Medellín, a los XXXX del XXXX de XXXX