



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
VICERECTORADO DE  
INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL



PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN (Internos, Semilla, Inter y Multidisciplinarios, Externos):

Área del proyecto: Ciencias Básicas  Ciencias Aplicadas X

FACULTAD: Ingeniería Química y Agroindustria

DEPARTAMENTO: Metalurgia Extractiva (DEMEX)

LINEA DE INVESTIGACIÓN: Mineralurgia, metalurgia extractiva y valorización de minerales y residuos industriales

(verificable en el SAEW)

1 Proyecto de Investigación

Título: Recuperación de  $TiO_2$  de arenas ferrotitaníferas por reducción carbotérmica

Resumen del proyecto (máximo 200 palabras)

Estudios previos han determinado la existencia y la ubicación de varios yacimientos de arenas ferrotitaníferas en el Ecuador y recomiendan su explotación para recuperación de óxidos de hierro y titanio. Con esta premisa, este trabajo propone la recuperación de  $TiO_2$  de arenas ferrotitaníferas por reducción carbotérmica.

La primera etapa de este trabajo comprenderá el muestreo y la caracterización física, química y mineralógica de las arenas ferrotitaníferas. A continuación se realizará una concentración gravimétrica y magnética para concentrar la ilmenita ( $FeTiO_3$ ) y remover los óxidos de hierro (hematita y magnetita). Este concentrado será sometido a un tratamiento térmico oxidativo para favorecer la remoción de las especies de hierro de la ilmenita. El concentrado pre-tratado se molerá y será reducido en presencia de un agente reductor (carbón o atmósfera reductora) a temperaturas entre  $800^{\circ}C$  y  $1100^{\circ}C$  durante 1-2 horas con el objetivo de obtener  $TiO_2$  y hierro metálico. El hierro será separado del  $TiO_2$  mediante lixiviación con ácido clorhídrico.

La caracterización física, química y mineralógica del  $TiO_2$  obtenido será realizada por absorción atómica, difracción de rayos X y microscopía electrónica de barrido y por el método Brunauer-Emmett-Teller para medición de superficie específica.

Palabras clave (3-5): arenas ferrotitaníferas, dióxido de titanio, pre-tratamiento oxidativo, reducción carbotérmica.



4 **Objetivos, hipótesis y resultados esperados de esta propuesta de investigación**

- **Objetivos**

*Objetivo General:*

Recuperar  $TiO_2$  de arenas ferrotitaníferas por reducción carbotérmica.

*Objetivos específicos:*

- Realizar el muestreo y la caracterización física y mineralógica de las arenas ferrotitaníferas.
- Determinar las mejores condiciones para obtención del concentrado de ilmenita mediante concentración gravimétrica y magnética.
- Evaluar la influencia del pre-tratamiento oxidativo del concentrado de ilmenita en la recuperación de  $TiO_2$ .
- Estudiar la reducción carbotérmica como método reductivo para la obtención de  $TiO_2$  a partir del concentrado oxidado.
- Remover las especies de hierro mediante lixiviación ácida.
- Realizar la caracterización física, química y mineralógica del  $TiO_2$  obtenido.
- Difundir la información obtenida a estudiantes, profesionales y empresarios interesados en el área de valorización de minerales.

- **Hipótesis**

La obtención de  $TiO_2$  a partir de ilmenita mediante reducción carbotérmica a temperaturas menores a  $1100\text{ }^\circ\text{C}$  es posible.

El tratamiento oxidativo previo a la reducción carbotérmica mejora la recuperación de  $TiO_2$  a partir de ilmenita.

- **Resultados esperados**

- Obtención de concentrados con porcentajes de ilmenita mayores al 70%.
- Obtención de  $TiO_2$  a partir de ilmenita mediante la combinación de un tratamiento oxidativo y reducción carbotérmica.
- Empresarios, profesionales y estudiantes que trabajan en el área de la metalurgia extractiva adquieren conocimientos acerca de la obtención de dióxido de titanio a partir de ilmenita presente en arenas ferrotitaníferas.

- **Potenciales Usuarios**

Esta investigación tendrá como potenciales usuarios a profesionales y estudiantes interesados en el campo de la metalurgia extractiva, especialmente en la recuperación de  $TiO_2$  a partir de arenas ferrotitaníferas con elevado contenido de ilmenita.

Múltiples empresas de alimentos, pigmentos y productos cosméticos en el Ecuador consumen  $TiO_2$ , el cual debe ser importado para satisfacer esta necesidad. El interés por las arenas ferrotitaníferas ha aumentado pero por el momento se conoce poco acerca de la tecnología necesaria para su explotación. Por esta razón, se propone la recuperación de  $TiO_2$  a partir de yacimientos que se encuentran en el Ecuador como una propuesta inicial a una futura producción de este óxido.



**5 Relevancia de esta propuesta de investigación con los objetivos científicos del departamento y su Línea de Investigación.**

Las líneas de investigación del Departamento de Metalurgia Extractiva (DEMEX) están enfocadas en el área de metalurgia y medio ambiente, con principal atención en la metalurgia extractiva, valorización de residuos industriales y tratamiento de efluentes. Este proyecto se incluye en la línea de investigación: "Mineralurgia, metalurgia extractiva y valorización de minerales y residuos industriales".

Este trabajo permitirá iniciar la investigación en cuanto a la recuperación de  $TiO_2$  a partir de las arenas ferrotitaníferas presentes en el Ecuador, cuyo procesamiento no se conoce, ni se aplica actualmente en el país. Además se determinarán las condiciones óptimas de las operaciones unitarias empleadas para el procesamiento de las arenas ferrotitaníferas. El conocimiento y experiencia adquiridos con este proyecto permitirán ofrecer una alternativa para la producción de  $TiO_2$  en el país.

**Impacto del proyecto en el medio académico, social, sectorial o tecnológico.**

El interés del sector académico, tecnológico e industrial por las arenas ferrotitaníferas del Ecuador ha aumentado debido a que este mineral es una mena de óxidos de titanio y de hierro. El  $TiO_2$  es un óxido ampliamente utilizado en las industrias alimenticias, de pigmentos y cosméticas debido a sus propiedades ópticas, electroquímicas y catalíticas. Actualmente se está investigando a nivel mundial el potencial del  $TiO_2$  como fotocatalizador de múltiples reacciones aplicadas al tratamiento de efluentes para oxidación de contaminantes (Khin et al., 2012). Por estas razones, este trabajo permitirá a los investigadores y estudiantes ecuatorianos profundizar los conocimientos acerca de los usos y propiedades del  $TiO_2$  y su recuperación a partir de yacimientos existentes en el país, es decir este estudio podría tomarse como base para el desarrollo de futuros proyectos de investigación en este campo.

Además este proyecto propone una alternativa para la producción de  $TiO_2$  en el país, lo cual podría beneficiar al sector industrial que consume  $TiO_2$  y actualmente debe importarlo. Los resultados obtenidos podrían utilizarse para desarrollar proyectos de diseño de plantas industriales para producción de  $TiO_2$  a partir de arenas ferrotitaníferas.



6	<b>Descripción del proyecto, metodología, cronograma de trabajo y justificación del equipo requerido</b>
	<p><b>- Descripción del proyecto (Máximo una carilla)</b></p> <p>El <math>\text{TiO}_2</math> es uno de los minerales más utilizado actualmente en varias industrias como la alimenticia, de pigmentos y cosmética debido a sus propiedades ópticas, electroquímicas y catalíticas. Una de las menas más utilizada a nivel mundial para obtención de <math>\text{TiO}_2</math> es la ilmenita. Este mineral se encuentra en porcentajes mayores al 30% en los yacimientos de arenas ferrotitaníferas. En el Ecuador se han determinado varios yacimientos de arenas ferrotitaníferas y se ha recomendado el aprovechamiento de los mismos (Díaz, 2013).</p> <p>En el Ecuador se han realizado trabajos de recuperación hierro de arenas ferrotitaníferas pero el rendimiento de la reducción obtenido fue menor al 50% y no se evaluó la recuperación de <math>\text{TiO}_2</math> (Chuquirima y Cortez, 2014).</p> <p>Con esta premisa, este trabajo propone recuperar <math>\text{TiO}_2</math> a partir de arenas ferrotitaníferas en presencia de carbón a temperaturas menores a los 1100 °C. La primera etapa de este trabajo comprenderá el muestreo y la caracterización física, química y mineralógica de las arenas ferrotitaníferas. A continuación se realizará una concentración gravimétrica y magnética para concentrar la ilmenita (<math>\text{FeTiO}_3</math>) y remover los óxidos de hierro (hematita y magnetita). Este concentrado será sometido a un tratamiento térmico oxidativo para favorecer la remoción de las especies de hierro de la ilmenita. El concentrado pre-tratado se molerá y será reducido en presencia de un agente reductor a temperaturas entre 800°C y 1100°C durante 1-2 horas con el objetivo de obtener <math>\text{TiO}_2</math> y hierro metálico. El hierro será separado del <math>\text{TiO}_2</math> mediante lixiviación con ácido clorhídrico y se caracterizará el <math>\text{TiO}_2</math> obtenido por absorción atómica y difracción de rayos X. Finalmente los resultados de esta investigación serán difundidos en conferencias y en publicaciones nacionales.</p> <p><b>- Metodología y diseño de la investigación (Máximo una carilla)</b></p> <p>Este trabajo comprende las etapas de muestreo, caracterización, concentración y una combinación de un tratamiento oxidante con reducción carbotérmica para la recuperación de <math>\text{TiO}_2</math> a partir de arenas ferrotitaníferas.</p> <p>a) <i>Muestreo y caracterización física y mineralógica de las arenas ferrotitaníferas</i></p> <p>Se realizarán dos viajes de muestreo para recolectar arenas ferrotitaníferas con contenidos de ilmenita mayores al 40%, según el estudio de prospección de Díaz (2013). Se homogeneizará la muestra y se determinará el tamaño de partícula (<math>d_{30}</math>), densidad real y aparente. La muestra se analizará por difracción de rayos X para conocer el porcentaje de ilmenita, óxidos de hierro y silicatos presentes.</p> <p>b) <i>Concentración de ilmenita mediante concentración gravimétrica y magnética</i></p> <p>Se realizará una concentración gravimétrica para la separación de minerales de gravedad específica menor a la ilmenita, para esto se utilizará la mesa vibratoria (Wilfley). Se variará el grado de inclinación de la mesa para determinar el valor óptimo (Valderrama, 2008). A continuación se utilizará un separador magnético para remover los óxidos de hierro presentes en las arenas ferrotitaníferas (Sarmiento, 2011).</p>



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
VICERECTORADO DE  
INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL



c) *Pre-tratamiento oxidativo del concentrado de ilmenita*

El concentrado será sometido a un tratamiento térmico en atmósfera oxidante a temperaturas entre 500-1000 °C. Mozammel et al. (2013) determinaron que la oxidación del concentrado de ilmenita cambia su estructura y se forman nuevas fases de óxidos de titanio y hierro que son fácilmente reducibles a  $TiO_2$  y hierro metálico. Además se ha determinado que la oxidación ayuda a disminuir la temperatura de reducción carbotérmica y facilita la separación de las especies de hierro del  $TiO_2$ . Para estudiar la influencia del tratamiento oxidativo se analizarán las nuevas fases óxidos de titanio y hierro formadas por la oxidación de la ilmenita a diferentes temperaturas; estos análisis se realizarán por difracción de rayos X (D8 Advance).

d) *Reducción carbotérmica*

El concentrado oxidado será molido y se prepararán mezclas con carbón activado pulverizado. El porcentaje de carbón variará en un rango de 5 a 20%. Esta mezcla se colocará en un horno tubular (Nabertherm) que permite un flujo de gas de  $N_2$  para arrastre de los gases formados en la reducción. En estos ensayos se variará la temperatura en un rango de 800 a 1000 °C y el tiempo en un rango de 1 a 2 horas. Se determinarán las condiciones óptimas de porcentaje de carbón, temperatura y tiempo a las cuales se obtiene la mayor recuperación de  $TiO_2$ .

e) *Lixiviación ácida para remoción de las especies de hierro*

Se realizarán ensayos de lixiviación ácida (ácido clorhídrico) del producto obtenido de la reducción carbotérmica para separar las especies de hierro formadas. Se variará la concentración del ácido clorhídrico y el tiempo de lixiviación. Se determinarán las condiciones óptimas de concentración de ácido clorhídrico y tiempo de lixiviación para alcanzar la mayor remoción de Fe.

f) *Caracterización física, química y mineralógica del  $TiO_2$  obtenido*

El  $TiO_2$  obtenido será caracterizado por absorción atómica (AAAnalyst 300) y por difracción de rayos X (D8 Advance). Además se medirá la superficie específica por el método Brunauer-Emmett-Teller (NOVA 4200e).

g) *Tratamiento estadístico de datos y publicaciones para difusión de resultados:*

Para el procesamiento de los resultados obtenidos se emplearán métodos estadísticos como el análisis de varianza global (ADEVA o ANOVA). Además se elaborarán documentos técnicos para su publicación y difusión en espacios específicos para ello a nivel nacional.

**Bibliografía empleada**

1. Chuquirima M. y Cortez L., 2014, "Estudio y obtención de metal de hierro a partir de arenas ferruginosas", Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico", Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
2. Díaz J., 2013, "Caracterización geológica y geofísica de la zona oeste de la concesión minera Mompiche, ubicada en la provincia de Esmeraldas, cantón Muisne, recinto Mompiche", Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Geológico, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
3. Khin M., Nair A., Babu V., Murugan R., Ramakrishna A., 2012, "A review on nanomaterials for environmental remediation", Energy and Environmental Science, 5, 8075.
4. Mozammel M., Sadmezhaad S., Khoshnevisan A. y Youzbashizadeh H., 2013, "Kinetics and reaction mechanism of isothermal oxidation of Iranian ilmenite concentrate powder", Journal of Thermal and Analytical Calorimetry, 112, 781-789.
5. Sarmiento, P., 2011, "Definición y análisis del proceso más ventajoso para la concentración de la Ilmenita presente en la arena de la playa Ventanilla en el Estado de Oaxaca", Tesis para obtener el título de Ingeniero en Minas y Metalurgista, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F., México.
6. Valderrama L., 2008, "Concentración de minerales de titanio contenido en las arenas de playas de la región de Atacama-Chile", IDICTEC-Universidad de Atacama-Chile, Holo, 24, (1), 119-130.
7. Welham N., 1996, "A parametric study of the mechanically activated carbothermic reduction of ilmenite", Minerals Engineering, 9, (12), 1189-1200.
8. Wang Y. y Yuan Z., 2006, "Reductive Kinetics of the reaction between a natural ilmenite and carbón", International Journal of Mineral Processing, 81, 133-140.



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**VICERECTORADO DE**  
**INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL**



Se recomienda que el proyecto, su metodología y diseño de la investigación, este sustentada en referencias bibliográficas actualizadas y que en el cronograma de ejecución del proyecto se considere el tiempo que toma la adquisición de equipos, reactivos y materiales de laboratorio.

Cronograma de trabajo anual:  
 Año 1

Actividad	MESES					
	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12
Revisión bibliográfica						
Compra de equipos y reactivos						
Muestreo y caracterización de las arenas ferrotitaníferas						
Concentración gravimétrica y magnética						
Ensayos de tratamiento pre-oxidativo del concentrado						
Ensayos reducción carbotérmica del concentrado pre-oxidado						
Ensayos de lixiviación ácida						
Caracterización del dióxido de titanio obtenido						
Evaluación y procesamiento de resultados						
Elaboración de publicaciones técnicas y difusión de resultados						

- Justificación del equipo requerido

El proyecto contempla la lixiviación ácida para la separación de las especies de hierro del  $TiO_2$ , para esto se requiere agitadores mecánicos de hélice y una bomba de vacío.

**7 Fecha de inicio**

(Indique cuando iniciaría este proyecto de investigación)  
 El proyecto iniciará el 23 de junio de 2014.

**8 Tiempo dedicación docentes, infraestructura, equipamientos y fondos adicionales.**

- Tiempos de dedicación semestral del Director de proyecto, de los docentes participantes y otros colaboradores. (Máximo 200 horas por semestre para el Director y 100 horas por semestre para los docentes colaboradores)

Participantes	Función	Tiempo de dedicación
Lucía Eliana Manangón	Directora de proyecto	200 horas/ semestre
Diana Endara	Docente Colaborador	100 horas/ semestre
Evelyn Criollo Tirado	Analista colaborador	50 horas /semestre
Tesista 1- pregrado	Auxiliar de laboratorio	440 horas /semestre
Tesista 2- pregrado	Auxiliar de laboratorio	440 horas /semestre

- Infraestructura y equipos disponibles para la ejecución del proyecto

El Departamento de Metalurgia Extractiva de la EPN posee un equipamiento completo en sus laboratorios para el análisis físico, químico y mineralógico. El laboratorio dispone de infraestructura para ensayos metalúrgicos, así como equipamiento para procesamiento de minerales como trituradoras, molinos, muflas y hornos (escala laboratorio y piloto). Contamos además con una planta piloto completa de procesamiento de minerales de 2 ton/día de capacidad. Se cuenta con acceso a Internet y a bibliografía especializada en su área de trabajo.



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
VICERECTORADO DE  
INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL**



Además disponemos de dos equipos de absorción atómica Perkin Elmer AAnalyst 200, AAnalyst 300 con horno de grafito y muestreadores automáticos, microscopios ópticos (luz reflejada y transmitida), un difractorómetro de rayos X (D8 Advance- Bruker) para análisis mineralógicos, un microscopio electrónico de barrido con micro-analizador de rayos X (Tescan- Bruker), espectrofotometría de chispa (Q4- Bruker), espectrofotometría HACH. Para medición de la superficie específica de los materiales se cuenta con un equipo que utiliza el método Brunauer-Emmett-Teller (NOVA 4200e).

El DEMEX cuenta con un sólido grupo de investigadores (con maestrías y doctorados en ciencias de universidades americanas y europeas), analistas y asistentes con experiencia en la ejecución de proyectos de investigación con financiamiento nacional e internacional.

9

**Presupuesto estimado para la ejecución del presente proyecto**

Se recomienda que los costos de los equipos, reactivos y materiales de laboratorio, **estén sustentados con proformas actuales:**

**Año 1**

Lista de ítems (por favor especifique)	Cantidad solicitada (US \$)
1. Contratación de pasantes Se contratarán dos estudiantes durante un periodo de seis meses cada uno	2 500,00
<b>Subtotal</b>	<b>2 500,00</b>
2. Equipos - 2 agitadores con hélice completo (1 387,68 USD\$) - Bomba de vacío ( 429,00 USD\$)	2 775,36 429,00
<b>Subtotal</b>	<b>3 204,36</b>
3. Reactivos y materiales de laboratorio -Ácidos, hidróxidos, alcoholes (503,38 USD\$) -Nitrógeno líquido (para BET) (380,00 USD\$) -Gases: CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , GLP (300 USD\$) -Materiales de laboratorio: pHmetro, navcillas de porcelana, papel filtro, material de vidrio, etc. (320 USD\$)	503,38 380,00 300,00 320,00
<b>Subtotal</b>	<b>1 503,38</b>
4. Literatura especializada	1 000,00
<b>Subtotal</b>	<b>1 000,00</b>
5. Viajes técnicos y de muestreo Se realizarán dos viajes de muestreo de arenas ferrotitaníferas	1 000,00
<b>Subtotal</b>	<b>1 000,00</b>
6. Presentación de ponencias en congresos internacionales	-
<b>Subtotal</b>	<b>-</b>
<b>TOTAL AÑO 1</b> (Proyectos Semilla hasta US\$ 10.000,00 más IVA) (Proyectos Inter y Multidisciplinarios US\$ 40.000,00 más IVA)	<b>9 207,74</b>
<b><u>Año 2</u></b>	
Lista de ítems (por favor especifique)	Cantidad solicitada (US \$)
7. Contratación de pasantes	-
<b>Subtotal</b>	<b>-</b>



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
VICERECTORADO DE  
INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL



	8. Equipos	-
	Subtotal	-
	9. Reactivos y materiales de laboratorio	-
	Subtotal	-
	10. Literatura especializada	-
	Subtotal	-
	11. Viajes técnicos y de muestreo	-
	Subtotal	-
	12. Presentación de ponencias en congresos internacionales	-
	Subtotal	-
	<b>TOTAL AÑO 2</b> (Proyectos Inter y Multidisciplinarios US\$ 40.000,00 más IVA)	-
	<b>TOTAL</b>	<b>9 207,74</b>
10	<i>Eliana L. Manangón P.</i> Nombre: Lucía Eliana Manangón Perugachi CC: 1720014859	Quito, 11 de junio de 2014

**DECLARACION DEL JEFE DE DEPARTAMENTO**

Esta propuesta ha sido aprobada por el Consejo del Departamento de Metalurgia Extractiva, en Sesión del 22 de mayo de 2014 mediante Resolución No. 6-14 y las instalaciones, incluyendo personal, edificios, equipo y recursos financieros están a disposición del aplicante de acuerdo con las especificaciones que se encuentran en esta aplicación.

  
JEFE DEL DEPARTAMENTO (Subrogante)  
Nombre: Diana Endara  
CC: 171561104-0

*Quito 12 junio 2014*  
(lugar y fecha)