



# SECRETARÍA NACIONAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR, CIENCIA TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN

#### **PROYECTO PROMETEO**

# FORMATO DE PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

Nombres del Investigador (a) / Asesor (a)	Claudio Andrés		Apellidos del Investigador (a) / Asesor (a)	Suárez-Authievre	
Área de investigación	Innovación, tecnología, desarrollo sostenible, producción y logística				
Título de PhD.	Doctor en Ciencia mención en Quími	s con	Universidad que otorgo el doctorado	Pontificia Universidad C de Valparaíso	atólica
Institución de acogida (PRINCIPAL) – Ciudad de Iocalización	Universidad Técni Machala	ca de	Nombre de la contraparte en la institución de acogida	Dr. Favian Maza Valle	
Institución de Educación Superior de acogida (COMPLEMENTARIA) – Ciudad de localización			Nombre de la contraparte en la institución de acogida		
Nombre de la investigación con la que el Investigador (a) / Asesor (a) contribuye	"Modelación y simulación del proceso de lixiviación de mineral de Au, ocupando el método(a) de cienuración y método(b) de tiourea. Comparación técnica – económica entre ambos métodos considerando la influencia de la fuerza iónica del sistema y especies acuosas expectantes en la dinámica de lixiviación"				
Objetivo general de la investigación	Desarrollar modelo integrado de lixiviación de oro con métodos a y b, considerando diferentes modelos interconectados e incubados en forma jerárquica que den cuenta del comportamiento físico – químico del electrolito respecto a las reacciones químicas, cinético e hidráulico del sistema estudiado para poder hacer comparaciones técnico económica de ambos métodos.				
Fecha de inicio de actividades	noviembre 11, 2013 Agosto 11, 2014 Febrero 23, 2015 Septiembre 11, 2015		Fecha final de actividades	Febrero 10, 2014 Noviembre 10, 2014 Mayo 22, 2015 Diciembre 10, 2015	
Total meses de vinculación	12 meses				
Número de vinculación	Primera Segunda	(x)	Postulación	Individual Institucional	(x)

## Perfil de Investigador (a) / Asesor (a)

Consultor – investigador con amplia experiencia en temas académicos relativos a electrocatálisis heterogénea, electrodeposición de metales, fotoelectroquímica de semiconductores, y temas industriales referidos a minería metálica y no metálica. En los últimos años el Dr. Suárez-Authievre ha creado una compañía con base en Canadá operando fundamentalmente para Sud América y Canadá dando asesoramiento a proyectos mineros en temas relativos al procesamiento químico de materias primas tal como, Due Diligence, modelamiento y simulación de operaciones, operación de plantas piloto y pruebas de banco para obtención de datos relevantes al diseño de proceso y optimización estadística de procesos.





#### 1. Pregunta de investigación, así como su delimitación espacial, temporal.

#### 1. Los antecedentes:

Cual problema de Investigación (el porqué de la investigación).

La lixiviación con cianuro es el método comúnmente utilizado para el procesamiento de minerales auríferos, sin embargo este agente lixiviante, además de presentar bastantes limitaciones respecto a minerales refractarios los cuales normalmente son sometidos a pre-tratamientos muy costosos, presenta problemáticas relacionadas con la elevada toxicidad ante la salud humana e impacto ambiental en los receptores ecológicos. En este sentido, se ha buscado otros agentes alternativos de lixiviación. La lixiviación con Tiourea es uno de los avances más prometedores dentro de estas nuevas técnicas. Las estrictas regulaciones para la calidad del agua, protección medioambiental y restricciones a procesos con elevados niveles de agentes polutivos, podrían ser la razón para el reemplazo gradual de procesamientos tóxicos.

Desde que Plaskin propuso por primera vez en 1941 el uso de la Tiourea como reemplazo del cianuro, considerables investigaciones han estado dirigidas hacia el uso de la Tiourea como un complejante alternativo del cianuro para lixiviación de oro (Groenewald, 1975, 1976; hasta Wan, 1995.) por ser considerado un reactivo atoxico, fácilmente degradable y además presentar elevadas velocidades iniciales en torno al proceso de lixiviación de este tipo de minerales. Como consecuencia de estos resultados, varias técnicas para recuperar oro a partir de estas soluciones han sido investigadas. Cementación con polvo de aluminio, carbón activado, intercambio iónico, y electrodeposición.

Sin embargo, a pesar de las ventajas que presenta la Tiourea respecto al cianuro como reactivo lixiviante, este procedimiento requiere un control riguroso de los parámetros operacionales, para lograr la oxidactión de Tiourea en condiciones reversibles a Disulfuro Formamidina el cual actúa como catalizador en la lixiviación ácida de oro. Esta reacción reversible se logra en potenciales menores a 430 mV respecto al electrodo normal de hidrógeno (NHE), usando agentes oxidantes adecuados, evitando de esta manera un consumo excesivo de Tiourea el cual podría inviabilizar económicamente el proceso.

Por esta razón, se propone realizar estudios de modelación de ambos procesos con corridas experimentales a escala de banco y piloto para validar los modelos y obtener parámetros de modelación que permita simular y comparar ambos procesos y evaluar viabilidad técnica de un proceso alternativo para la lixiviación de menas auríferas basado en Tiourea como reactivo lixiviante.

En este sentido, el rol central de la modelación de procesos en diseño y operación de plantas mineras es hoy en día ampliamente reconocido y aceptado. De este modo, aunque la mayoría de los primeros modelos han sido de "estado estacionario", más recientemente se ha enfatizado el desarrollo de modelos "dinámicos" que pueden ser utilizados para procesos con conductas variables y/o inestables en él tiempo. En efecto, hay un incremento en la tendencia hacia modelos de "alta fidelidad", los cuales pueden predecir las trayectorias de variables claves que afectan la performance de proceso, seguridad y economía de los mismos. Esta demanda por modelos substancialmente más precisos puede ser a menudo atribuida a la necesidad por generar mayor rentabilidad de proceso en el mínimo de tiempo los cuales ya han sido objeto de mejora gradual durante varias décadas. En otros casos, esta tendencia se genera desde estrictas restricciones ambientales, de seguridad y especificaciones de productos bajo las cuales muchos procesos mineros comúnmente operan.

El modelamiento de procesos siempre ha sido un importante componente de diseño, desde la síntesis conceptual del diagrama de flujo hasta el detallado de equipos de proceso especializado, tales como dispositivos de separación – reacción y el diseño de sus sistemas de control. Por otra parte, la modelación de alta fidelidad ha sido una alternativa factible para la descripción y control de procesos con enorme inercia en los cuales los tiempos de respuesta y la complejidad fenomenológica son una restricción en el momento de realizar cambios o innovación tendiente a mejoras de proceso o control del mismo. Ejemplo de esto, se verifica en los procesos mineros de Litio y Potasio desde salmueras de salares, donde el sistema de producción de salmuera





concentrada posee extensos tiempos de residencia, operación completamente desarrollada en estado transciende y en el cual ocurren simultáneamente una serie de fenómenos físico — químicos que hacen extremadamente complicado el control y operación de este tipo de sistemas. En estos casos, gran parte del control del proceso, dirección, mejoras e innovación del mismo es asistido por modelación y simulación. Otro ejemplo de este tipo de problemática, lo representan los sistemas de lixiviación en pilas, los cuales poseen una inercia apreciable, conducta altamente dinámica y fenomenología compleja, generando así la necesidad de establecer modelos de alto nivel predictivo para abordar temáticas tales como el diseño de pilas, cambios en la tecnología de agentes lixiviantes, manejo de variables de operación y control de proceso, los cuales afectarán directamente en ahorro de tiempo y costo.

El impacto de un modelo de esta índole que pueda reproducir virtualmente un proceso de esta magnitud, deriva en una serie de ventajas tales como:

- La optimización del proceso en tiempos muy cortos sin necesidad de realizar de introducir perturbaciones en el proceso industrial poniendo en riesgo parte o la totalidad de la producción.
- Diseño de proceso desde las etapas conceptuales hasta la ingeniería de detalle. Es posible tener diferentes niveles de complejidad en el modelo dependiendo de las necesidades.
- Ahorro en tiempo y dinero en definición de experimentos cruciales para cambios, modificación o mejoras tecnológicas locales o globales.
- En etapa de proyecto, es posible realizar evaluaciones económicas y estudios de factibilidad dependiendo de la precisión del modelo de proceso. Área de interés evaluación de proyectos.
- Modelar y simular puestas en marcha de proceso.
- Es posible enfrentar problemáticas en las cuales los tiempos de residencia son muy extensos y las respuestas de estos procesos a muy largo plazo, en las cuales llevar a cabo experimentos o pilotajes resulten con un alto costo y extensos en tiempo.

En virtud de lo anteriormente expuesto, la modelación del proceso de lixiviación de oro, representa un reto tremendamente estimulante desde una visión científica – tecnológica, ya que este proceso posee una inercia enorme y simultáneamente una cantidad apreciable de fenómenos físico – químicos, de transporte de masa – energía – cantidad de momentum y al menos tres fases coexistiendo y reaccionando, lo cual le otorga una complejidad considerable al manejo y control en condiciones de posibles cambios o fluctuaciones del sistema ante los parámetros de entrada al proceso tal como, cambios en las leyes de mineral, tipo de mineral, tipo y cantidad de reactivos lixiviantes, concentración de impurezas, aglomeración del mineral, efectos ambientales, fuerza iónica, etc.

Por otra parte, la producción de Oro en el Ecuador es una de las actividades mineras más importantes en su tipo, sin embargo, esta presenta problemáticas medioambientales asociadas a la utilización de cianuro en la cadena productiva, lo cual otorga una relevancia especial en tomo a este tema. Así, el desarrollo de un modelo predictivo de alta precisión para la lixiviación en pilas que permita simular cambios tecnológicos en la operación de la misma, como por ejemplo la utilización de tiourea como agente lixiviante, posibilita estudios comparativos técnico – económico respecto la cianuración a nivel PEA (preliminary economic assessment) entre ambos procesos u otras alternativas tecnológicas con cierta factibilidad, que permitirían la toma de decisiones de alto nivel que articulen la solución a problemáticas en torno a un cambio tecnológico tan relevante como este.

# 2. El Objetivo:

Cual problema de Investigación (el porqué de la investigación)

El objetivo es generar modelos que representen de manera precisa el comportamiento de una pila de lixiviación frente al método de cianuración y Tiourea. El logro de este objetivo, posibilitará simular condiciones de operación de lixiviación utilizando cianuración o tiourea como agentes lixiviantes, lo cual permitirá comparar la viabilidad técnica entre ambos métodos de lixiviación con vista a innovación y posibles cambios en tecnología de lixiviación de minerales auriferos.





# 3. Definir en qué Cuidad-Locación se realizara la investigación

La investigación se realizará en la Provincia del Oro ciudad de Machala eminentemente. Del mismo modo, se pretende realizar pruebas piloto en empresas mineras auríferas de la zona, como también pruebas a escala de banco en los laboratorios de investigación de la Universidad Técnica de Machala. La construcción de modelos y simulación se realizará en conjunto entre la Universidad Técnica de Machala – Authievre Chemical Research & Consulting inc. en Machala – Ecuador y Toronto – Canadá, respectivamente.

4. De Ser posible favor Incluir las fechas de la fases de investigación a realizar (la cual no puede ser mayor al total de meses de vinculación)

Fase 1: Noviembre 11, 2013 a Febrero 11, 2014
Fase 2 y 3: Junio 11, 2014 a Septiembre 11, 2014
Fase 4: Enero 11, 2015 a Abril 11, 2015
Fase 5: Agosto 11, 2015 a Noviembre 11, 2015

2. En esta parte señale claramente cuál será la contribución de la investigación en el área del conocimiento respectiva.

La presente investigación, pretende construir un modelo de elevada precisión el cual pueda ser calibrado y probado con datos (data) derivados de la experiencia industrial en torno a esta temática. Esta data debería ser generada a partir de pruebas metalúrgicas en condiciones controladas que puedan ser escaladas de manera fiel a la escala comercial, idealmente en el sitio donde ocurre la faena para mantener las mismas condiciones de proceso y metodologías metalúrgicas de las pruebas piloto on site. Para esto, se hace necesario el apoyo de alguna empresa interesada en establecer un vínculo y retroalimentación de conocimiento para desarrollo conjunto. La Universidad Técnica de Machala por su parte, se encargaría del desarrollo y parametrización principal del modelo, mediante búsqueda bibliográfica y experimentación en el caso que se requiera para obtener información de alto nivel, como por ejemplo magnitudes termodinámicas relevantes. La ventaja principal asociada a esta investigación, es que se posibilita la transferencia de conocimiento recíproco Empresa — Universidad y fortalece los lazos de cooperación entre las entidades, consolidado bases futuras en torno al desarrollo provincial y nacional.

Desde el punto de vista netamente científico – tecnológico, este estudio pretende generar una serie de modelos jerarquizados e interconectados de manera de configurar un modelo global que dé cuenta del comportamiento de una pila de lixiviación. Por otra parte, este modelo puede ser tomado como un modelo base o unitario si en un futuro a corto o mediano plazo se pretende generar modelos del resto de las operaciones unitarias con la finalidad de configurar el proceso de obtención de oro desde la extracción de mineral hasta el producto final.

Por otra parte, un desarrollo de este estilo permitirá extender este estudio a otros agentes lixiviantes y permitiría la evaluación técnico – económica en caso de potencial innovación al proceso.

Finalmente, la parte del estudio referida a la actividad termodinámica, contribuirá en el área de conocimiento del equilibrio de fases mineral – solución para sistemas tan particulares e importantes como el sistema Au-CN, Ag-CN, Au-Tiourea y Ag-Tiourea en medios electrolíticos de elevada fuerza iónica.

3. La metodología a utilizarse en la investigación. En esta parte se debe demostrar la viabilidad de la investigación.

## Fase 1. Conformación del equipo de trabajo

Temas de tesis a dirigir.





- Definición de equipos, materiales y reactivos a utilizar
- Revisión bibliográfica
- Adquisición de equipos.
- Establecer contacto Universidad Empresa Minera

#### Fase 2. Configuración de experimentos piloto.

- Experimentos de lixiviación en columnas. Método (a) y (b)
  Se realizarán corridas de lixiviación en paralelo, variando en cada caso diversos parámetros operacionales, para así tener set de experimentos suficientes con los cuales comparar con el modelo de pila.
- Experimentos de lixiviación en tanque agitado. Metodo (a) y(b)
- Se realizarán experimentos de lixiviación en tanque agitado, para confirmar la cinética de disolución del mineral. Para esto se requerirá un tanque que disponga de agitación mecánica con control de la velocidad angular del agitador y el tanque adicionalmente debe ser bafleado para evitar formación de vórtices y enchaquetado para mantener temperatura constante.

# Fase 3. Configuración de experimentos tendientes a evaluar actividad iónica de soluciones obtenidas en fase 2. Desarrollo del modelo de actividad iónico del sistema electrolítico.

A partir de las soluciones electrolíticas generadas se evaluará el coeficiente de actividad iónico medio para cada caso mediante medidas de potencial a circuito abierto para las cuplas electroquímicas de interés, Au-CN, Ag-CN, Au-Tiourea y Ag-Tiourea, respectivamente. Del mismo modo, se realizará la comparación entre el modelo de actividad desarrollado desde fuentes bibliográficas y los parámetros experimentales determinados en esta etapa. Si es necesario se calibrará el modelo de actividad con esta información experimental.

# Fase 4. Construcción del modelo de lixiviación y simulación.

En esta etapa se definirán inicialmente todos los aspectos fenomenológicos relativos a la pila de lixiviación. Posterior a esto, se construirán los modelos en forma secuencial y en forma jerárquica hasta llegar al nivel más elevado que conformará el modelo de la pila de lixiviación.

Posterior a la etapa de construcción del modelo, se procederá a evaluar la performance de simulación y precisión de la misma con la información derivada de la fase 2 y datos de pilas reales.

# Fase 5. Divulgación científica.

Elaboración de publicaciones en revistas indexadas

## 4. Productos esperados

	COMPONENTES	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	RESULTADOS POR OBJETIVO	
1	INVESTIGACIÓN	Realizar análisis crítico de l información bibliográfica en torno los modelos fenomenológicos de proceso de lixiviación en pilas.	cuales son los aspectos más	
		Realizar análisis crítico de información bibliográfica referente los modelos fenomenológicos e	la información existente en la	

5





COMPONENTES	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	RESULTADOS POR OBJETIVO	
ALES E SECRETARIAS PERSONAL PARAMENTA PARAMENTALICA AVEL NACIONA BITERNACIONA	torno al comportamiento termodinámico de la fase líquida para los sistemas relativos a Ag-CN, Au-Tiourea y Ag-Tiourea.  3. Generar la data experimental relevante del proceso de lixiviación en columna, así como recabar y analizar data de la escala industrial para utilizarlo en la comparación con el modelo a desarrollar.  4. Evaluar los parámetros cinéticos de la reacción de disolución.  5. Desarrollar modelo termodinámico de actividad iónico de la fase acuosa.  6. Desarrollar modelo de pilas de lixiviación y comparación con información experimental.	establecer los procedimientos experimentales mínimos requeridos para generar la parametrización del modelo termodinámico de actividad en fase líquida.  3. Los datos obtenidos en este punto, se utilizaran para efectuar comparación y calibración del modelo de lixiviación en pila.  4. Este objetivo permitirá alimentar con información cinética al proceso.  5. Este objetivo permitirá alimentar al modelo de lixiviación en pila con submodelos de comportamiento electrolítico  6. Este objetivo permite el desarroll del modelo de pilas integrando toda la información generada en los pasos anteriores y la evaluación de su capacidad	
CAPACITACIÓN CIENTÍFICA EN EL ÁREA PERTINENTE A SU ESPECIALIDAD (teórico y formativo)	<ol> <li>Instrucción a los investigadores en el concepto de la modelación y simulación.</li> <li>Introducir a los investigadores en el manejo de los conceptos y herramientas avanzadas de la termodinámica de soluciones electrolítica y sus aplicaciones.</li> </ol>	predictiva.  1. Curso Especializado de modelación.  2. Curso avanzado sobre "Termodinámica de soluciones electrolítica y sus aplicaciones"	
ASESORÍA EN LA B ELABORACIÓN DE POLÍTICAS PÚBLICAS	N/A	N/A	
DOCENCIA	Formar habilidades a través de la asesoría y tutorías de tesis de pregrado.	Difusión del conocimiento a través de la formación de talento humano, el cual abarca asesoría en la elaboración de Tesis de Pregrado er la carrera de Ingeniería Química,	
PROGRAMAS DE	Elaborar una propuesta de Programa de Postgrado de ESPECIALIZACIÓN EN MODELAMIENTO Y SIMULACION DE PROCESOS HIDROMETALURGICOS	Documento del Programa de Postgrado presentado al Órgano Colegiado Académico Superior de la Universidad Técnica de Machala para su aprobación.	





	COMPONENTES	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	RESULTADOS POR OBJETIVO
6	GESTIÓN DE RECURSOS NACIONALES E INTERNACIONALES (administrativos, humanos, económicos, etc.)	N/A	N/A
7	RELACIONAMIENTO ESTRATÉGICO INTERINSTITUCIONAL A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL	Lograr interacción de empresas del sector productivo en temas de desarrollo especializado de nivel académico	Se espera generar una relación sólida y de confianza entre el ente académico y empresarial mediante transferencia tecnológica bilateral. También se espera un incipiente foco desarrollo tecnológico hibrido Academia – Empresa.

Firma y sello de la contraparte de la institución de acogida	Country A TECNICA OF THE PROPERTY OF THE PROPE
Nombre de la contraparte de la institución de acogida	- Ecuald
Fecha de la propuesta	