UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA EL DRENAJE ACIDO DE UNA MINA EN EL ESTADO DE MEXICO

PRESENTA

I.Q.I. MIGUEL ANGEL ESPINOSA RODRIGUEZ

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO

MAESTRIA EN CIENCIAS

ESPECIALIDAD EN INGENIERIA AMBIENTAL

CD. UNIVERSITARIA OCTUBRE, 1997

TM
TN321
E8
c.1

1080072284

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA EL DRENAJE ÁCIDO DE UNA MINA EN EL ESTADO DE MÉXICO

Por

MIGUEL ANGEL ESPINOSA RODRÍGUEZ

Como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRÍA EN CIENCIAS con Especialidad en
Ingeniería Ambiental

Octubre, 199

TP321
E8

B U Raúl Rangel Frías
UANL
FONDO
TESIS MAESTRIA

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

COMPROBANTE DE CORRECCION.

Tesista : I.Q.I. MIGUEL ANGEL ESPINOSA RODRIGUEZ

Tema de la tesis : "DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA EL DRENAJE ÁCIDO DE UNA MINA EN EL ESTADO DE MÉXICO"

Este documento certifica la corrección DEFINITIVA del trabajo de tesis arriba indentificado, en los aspectos : ortográfico, metodológico y estilístico.

Recomendaciones adicionales:

- FALTÓ INCLUIR LA HOJA DE "PORTADA", DONDE APARECE EL TEMA DE LA TESIS.
- FALTAN LAS LISTAS DE: FIGURAS, TABLAS, SIMBOLOS Y/O ABREVIATURAS, TAMBIEN DE ECUACIONES (SI ES EL CASO)
- CONVIENE AÑADIR UN GLOSARIO BREVE DE TÉRMINOS
- LOS NUMEROS DE PAGINA DEBEN LOCALIZARSE UNIFORMEMENTE EN LAS PAGINAS

Nombre y firma de quien corrigió : ARQ. RAMON LONGORIA

El Secretario de Postgrado : Ing. Oscar M. Robles Sánchez.

SECRETARIA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

Ciudad Universitaria, a 17 de SEPTIEMBRE de 1997.

UANL 60 ANIVERSARIO 1933 - 1993

CD. UNIVERSITARIA APDO. POSTAL No. 58-F TELS.: 76-39-70, 76-04-77, 52-49-69, 52-27-48, 52-05-42 Y 52-13-67
Telex 0382989 U.A.N.L. me San Nicolás de los Garza, N.L., México

Monterrey, N.L. a 23 de septiembre de 1997

ING. OSCAR MANUEL ROBLES SÁNCHEZ
SECRETARIO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Estimado Ing. Robles:

Por este conducto me permito comunicar a Usted, que el Sr. I.Q.I. Miguel Angel Espinosa Rodríguez, pasante de la Maestría en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Ambiental, ha concluido con su tesis titulada "Diseño de una Planta de Tratamiento para el Drenaje Ácido de una Mina en el Estado de México", por lo que no hay ningún inconveniente para atender a su solicitud de Examen de Grado con los requisitos que exige el reglamento de exámenes profesionales de nuestra Institución. He de agradecerle pasar las instrucciones necesarias para que le de el trámite correspondiente en ese departamento a su digno cargo.

Sin más por el momento, quedo de Usted agradeciendo de antemano la atención.

Atentamente

DR. JUAN MANUEL BARBARÍN C.

SECRETARIA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

Monterrey, N.L. a 23 de septiembre de 1997

C. ING. OSCAR MANUEL ROBLES SÁNCHEZ
SECRETARIO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Presente:

Solicito a Usted, de la manera más atenta, la tramitación correspondiente para sustentar mi examen de grado, ya que he concluido con la elaboración de mi tesis titulada: "Diseño de una Planta de Tratamiento para el Drenaje Ácido de una Mina en el Estado de México".

Mi tesis ya ha sido aprobada, en el aspecto técnico por mi asesor el Dr. Juan Manuel Barbarín Castillo, y en el aspecto metodológico de redacción y ortografía, por el Arq. Ramón Longoria Ramírez.

Sin más por el momento, quedo de Usted agradeciendo de antemano la atención.

Atentamente

I.Q.I.Miguel Angel Espinosa Rodríguez

SECRETARIA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

"DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA EL DRENAJE ÀCIDO DE UNA MINA EN EL ESTADO DE MÈXICO"

Aprobaciòn de la Tesis:

Dr. Juan Manuel Barbarìn Castillo
Asesor de la Tesis

Ing. Oscar Manuel Robles Sànchez
Secretario de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingenierìa Civil

RESUMEN

MIGUEL ANGEL ESPINOSA RODRÍGUEZ **OCTUBRE, 1997**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

TÍTULO: DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA EL DRENAJE ÁCIDO DE UNA MINA EN EL ESTADO DE MÉXICO.

No. páginas. 219

Candidato al Grado de Maestría en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Ambiental

Área de Estudio: Sistemas de Tratamiento de Drenaje Ácido de Mina

Propósito y Sistema de Tratamiento en Estudio: La explotación minera se ha ido desarrollando rápidamente en el territorio mexicano. Sin embargo, la exploración de nuevos sitios mineros originará un problema crítico de generación de drenaje ácido de mina. De acuerdo a ello, se necesitan sistemas de tratamiento que controlen dichas descargas que representan un impacto al medio ambiente. El propósito de este trabajo es el de presentar los diferentes sistemas de tratamiento y mediante un estudio analógico, deducir el más viable en cuanto a eficiencia y costos. Para nuestro caso, el sistema de alta densidad de lodos (HDS), es una opción a considerar por la mínima cantidad de equipo y reactivos a utilizar, además de producir pequeños volúmenes de lodos con un contenido mayor de sólidos. El mecanismo utilizado para el desarrollo del presente trabajo, se basó íntegramente en el análisis y ejecución de pruebas a nivel laboratorio.

Contribuciones y Conclusiones: El sistema de tratamiento propuesto, contribuirá en el control de los desechos ácidos generados en la mina. Se concluye que para asegurar el éxito de una buena selección del proceso de tratamiento, las pruebas y análisis a nivel laboratorio son indispensables para una buena operación de la planta de tratamiento.

Dr. Juan Manuel Barbarín Castillo
ASESOR

SECRETARIA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

PRÓLOGO

La evolución de la opinión pública en cuanto a las preocupaciones ambientales modificó en el transcurso de los años la actitud de la industria frente a estos problemas. Originalmente la industria, muy preocupada por la productividad, consideró progresivamente cada fase de sus actividades en el ángulo de su impacto sobre el medio ambiente, y modificó tanto sus procedimientos como sus productos para adaptarse a esta nueva sensibilidad.

Paralelamente, los defensores del medio ambiente, representantes de gobiernos y, sobre todo, la opinión pública, tomaron conciencia del papel esencial que juegan las empresas dentro de la sociedad en el proceso de creación de riquezas. Así pudo establecerse un diálogo entre las diferentes partes para tratar de llegar, dentro de diversas instancias, a un acuerdo sobre los niveles de equilibrio que permitieran a las empresas brindar bienes y servicios indispensables al progreso, participando siempre en la preservación del medio ambiente.

Muy pronto la industria minera adoptó esta actitud responsable, pero hasta ahora sin traducción evidente en el nivel de medios y, por lo tanto, hacia la opinión pública.

Sin buscar ser exhaustivo, el presente trabajo trata de mostrar uno de los muchos proyectos que la industria minera viene realizando para minimizar el impacto que las

tareas de exploración y de desarrollo de mina generan en las áreas con posibilidad minera.

El enfoque principal se dirige al control de los desechos ácidos generados en la mina, los que causan un gran impacto al medio ambiente.

Espero que este proyecto llame la atención sobre este real y potencial problema a fin de tender a reducir su impacto mediante un mejor control.

AGRADECIMIENTOS

La realización de esta obra, es remembranza de horas y horas de estudio, motivo obligado de reflexión y de evaluación de vivencias pasadas y presentes que me llevan inevitablemente a cuestionarme, no solo sobre los conocimientos adquiridos hasta hoy, sino también de los valores morales que pienso yo, deben ser igualmente importantes en toda persona y en todo buen profesionista que se precie de serlo.

Soy muy afortunado, Dios me dio su bendición aquel día en que me dio a mis padres y siento que Él me bautizó con las aguas de todo un río al inundar mi pueblo el día de mi nacimiento; Él ha puesto las más bellas personas en mi camino y me han brindado cada una de ellas una parte de sí para hacer de mí un hombre de provecho:

A mis queridos maestros, que generalmente han compartido conmigo sus conocimientos.

A mis mejores amigos, que me han dado alegrías y su amistad sincera

Al Ing. Luis H. Muruato Gámez y al Ing. Mario García Torres, de la Compañía Minas de San Luis S.A de C.V., que me han dado su apoyo, su consejo y su confianza que no defraudaré.

A mis hermanos y sobre todo a mis padres que con nada pago todos sus desvelos, sus lágrimas y todo ese gran amor que me tienen.

Hoy la gratitud adquiere para mí un valor especial que guardaré en lo más profundo de mi ser.

Para todos mi eterno agradecimiento.

JUSTIFICACIÓN

La preocupación que existe, en nivel mundial, por el deterioro que ha venido sufriendo el medio ambiente es un hecho irrefutable.

El planteamiento de estos problemas, en diversos foros, sus consecuencias sociales, políticas y económicas, su efecto en la conciencia de las comunidades, su manejo durante el proceso político y su manipulación en los medios de difusión, imponen la exigencia al empresario minero de prestar cada día mayor atención a todos estos conceptos. Pero cabría preguntarse ¿cuáles son las causas de este deterioro ambiental? ¿por qué resultan tan preocupantes sus efectos?.

Las causas fundamentales del deterioro ambiental podrían ser resumidas en tres:

- a) La explotación irracional de los recursos naturales.
- b) El enfoque casi unilateral que se ha dado al desarrollo tecnológico.
- c) La explosión demográfica, agravada principalmente por la desigual distribución de la población.

Debido a la complejidad del problema planteado no podía darse un mayor o menor peso a cada una de las causas mencionadas, ni siquiera ordenarlas en forma secuencial. Resulta obvio que todas ellas interactúan y se mezclan en el tiempo y el espacio,

repitiéndose frecuentemente en un ciclo que resulta vicioso. Dichas causas producen efectos mediatos e inmediatos, entre estos últimos podrían enumerarse los siguientes:

- a) La ruptura del equilibrio en los ecosistemas, que no pueden llegar a asimilar el volumen y la calidad de los contaminantes recibidos, o que no pueden llegar a restaurar el daño que sufren en virtud de dichos contaminantes.
- b) La contaminación de las aguas, el aire y los suelos, elementos vitales para la especie humana y las demás especies.
- c) Los daños directos a la salud humana y a las especies vegetales y animales.

Los efectos mediatos del deterioro ambiental, pueden ser de carácter social, político y económico:

Los efectos físicos en el grupo social podrían resumirse básicamente en el concepto de deterioro de la calidad de vida; los de carácter psicológico van desde una conciencia o preocupación sana sobre el particular, hasta una verdadera psicosis colectiva de graves consecuencias.

En cuanto a los efectos de carácter político, resulta claro que se genera la acción gubernamental, traducida tanto en actividad legislativa como en programas de gobierno y, por otro lado, la actividad que llegan a desarrollar diversos grupos dentro de la sociedad, tanto con auténticos fines altruistas consistentes en acciones en favor de la protección del medio ambiente, como con finalidades específicas de beneficio individual o de grupo, para alcanzar ventajas políticas o económicas.

En cuanto a los efectos en el campo económico, estos problemas se reflejan en el nivel macro, en los conceptos de desarrollo económico nacional y en sus efectos en las finanzas públicas, que se ven obviamente afectadas por el costo económico de la restauración del medio ambiente.

En el nivel macro, se afectará a la viabilidad del negocio o de los proyectos específicos y a la competitividad comercial, especialmente en el nivel internacional.

Principales Problemas de la Industria Minera

En materia de protección al medio ambiente y equilibrio ecológico podríamos enumerar los siguientes temas como los de mayor importancia para la industria minera:

a) El Impacto Ambiental

Resulta claro que nuestras actividades ocasionan un impacto ambiental. La ubicación de las unidades mineras y las características de los trabajos que se llevan a cabo modifican inevitablemente al ecosistema, aunque a veces esto sucede en el nivel micro.

b) Los Jales y Terreros

Se trata de residuos de gran volumen que alteran la topografía y pueden llegar a generar escurrimientos, arrastres a ríos y vasos de agua, polvos etc. Independientemente de que en ciertos casos pudiera ser muy discutible su toxicidad, los jales y terreros deben ser tomados en cuenta.

c) El Ruido y el Polvo

Generalmente, en las áreas de quebrado y en los movimientos de materiales en la superficie se generan este tipo de problemas, aunque en el enfoque ambiental no consideramos que sea de carácter muy grave, tanto por la ubicación de la mayoría de las instalaciones, como por la posibilidad técnica y económica de manejarlos en forma adecuada.

Por otra parte, podríamos decir respecto al ruido y los polvos, que es un problema cuyos efectos negativos desde hace tiempo la industria ha venido preocupándose por razones de higiene ocupacional.

d) El Drenaje de las Minas

Definitivamente, las tareas de exploración y de desarrollo de una mina generan perturbación de las áreas mineralizadas, conduciendo finalmente a exponer los diferentes componentes del yacimiento a los agentes de intemperismo. Igualmente sucede con los productos de la actividad minero-metalúrgica en sí, tales como desmontes de mina, relaves y soluciones que circulan en una mina húmeda, constituyéndose en zonas potencialmente peligrosas por la generación de drenaje ácido. Éste es uno de los problemas principales de la industria minera, y para el cual es necesaria una pronta solución.

El tema del deterioro ambiental, su consecuencia inmediata de la necesidad de proteger el medio ambiente y la ubicación específica que se ha dado en la legislación

nacional e internacional a la industria minero-metalúrgica, como una de las que generan problemas de contaminación, llevan a la necesidad de que el empresario minero ponga énfasis en todos estos aspectos y considere fundamental que desde ahora, ya no en el futuro, sino desde el presente, los aspectos relativos a la protección del medio ambiente se conviertan en vitales para las diferentes actividades de prospección, exploración y operación de unidades mineras, pudiendo deducirse que de ellos llegará a depender la viabilidad de un proyecto o de un negocio minero.

HIPÓTESIS

El diseño apropiado de un sistema de tratamiento de los desechos líquidos de la mina requerirá de la caracterización de las aguas ácidas, del análisis de la calidad del efluente, de las restricciones legislativas presentes y de otras condiciones ambientales; además, se tratará de reducir el volumen y la acidez de los lodos generados.

OBJETIVOS

- Controlar el impacto de los desechos ácidos generados en la mina, sobre el medio ambiente.
- Enfatizar las medidas preventivas que se pueden tomar.
- Seleccionar las efectivas tecnologías de control terciario adecuadas a los costos y a la realidad de la minería mexicana.
- Diseñar un sistema de tratamiento para el drenaje ácido de mina.

TABLA DE CONTENIDO

Capítulo	Página
1. INTRODUCCIÓN	2
2. GENERALIDADES DE LA UNIDAD	6
2.1 Generalidades	6
2.2 Geología Regional	9
2.3 Geología Local	12
2.4 Descripción General de Operación de la Unidad "La Guitarra"	14
2.5 Descripción del Proceso de Concentración por Flotación	15
3. DRENAJE ÁCIDO DE ROCA	17
3.1 Introducción	17
3.2 Oxidación de la Pirita	21
3.3 Rapidez de Oxidación de la Pirita	23
3.4 Otros Minerales Sulfurados que Producen Ácido	31
3.5 Minerales Sulfurados No Productores de Ácido	38
3.6 Minerales No Sulfurados Productores de Ácido	40
3.7 Minerales Neutralizantes	42
3.8 Predicciones de la Producción de Ácido / Pruebas de Movilidad	57
3.9 Pruebas Estáticas	59
3.10 Pruebas Cinéticas	65
3.11 Pruebas de Movilidad en Metales	70
3.12 Análisis Mineralógico	73
3.13 Principales Alternativas de Control y Mitigación del Drenaje Ácido	75
4. SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE DRENAJE ÁCIDO DE MINA	88
4.1 Sistemas de Tratamiento de Drenaje Ácido de Mina	88
4.1.1 Proceso de Neutralización Convencional	88
4.1.2 Proceso de Lodos de Alta Densidad (HDS)	91
4.1.3 Otros Procesos de Tratamiento	93
4.1.3.1 Ósmosis Inversa	93
4.1.3.2 Intercambio Iónico	99
4.1.3.3 Ablandamiento Químico	111

5. PRUEBAS EXPERIMENTALES 119

5.1 Introducción 119
5.2 Análisis Fisicoquímicos 123
5.3 Procedimiento de la Prueba de Jarras para el Tratamiento por Coagulación 128
5.4 Procedimiento Recomendado para Pruebas de Sedimentación de AMD 132
5.5 Determinación de la Recirculación Óptima de Lodos 137
5.6 Procedimiento para la Prueba de Velocidad de Oxidación 139

6. DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO 141

6.1 Elección del Proceso de Tratamiento 141
6.2 Descripción del Sistema Propuesto 142
6.3 Medidor Parshall 144
6.4 Canal de Entrada 149
6.5 Criba de Barras 151
6.6 Proceso de Neutralización 155
6.7 Estimación de Producción de Lodos 171
6.8 Tanque de Mezcla Rápida 179
6.9 Aereación 188
6.10 Espesamiento de Lodos 194
6.11 Laguna de Disposición de Lodos 210

7. CONCLUSIONES 214

BIBLIOGRAFÍA

GLOSARIO

LISTA DE FIGURAS

Figura **Página**

2.1 Plano de Localización General 8

2.2 Plano de Geología Regional 11

3.1 Proceso de Enriquecimiento Supergénico 18

3.2 Oxidación de la Pirita 20

3.3 Diagrama Eh-pH del Sistema Fe-S-CO_3 21

3.4 Gráfica de la Rapidez de la Oxidación de la Pirita en Función del Inverso del Diámetro de Partícula 25

3.5 Rapidez de Producción de Ácido en una Pila de Desechos que Contienen Sulfuros 25

3.6 Efecto de la Concentración de Oxígeno Sobre la Rapidez de Oxidación de la Pirita 26

3.7 Rapidez de Oxidación de la Pirita y su Dependencia con la Relación Fe^{3+}/Fe^{2+} 27

3.8 Constante de Rapidez k en Función de la Temperatura 28

3.9 Rapidez de Oxidación de la Pirita: Producción de Sulfato contra el Tiempo para un Desecho de Mina con Sulfuros a 21^0C y pH=3 en Presencia y Ausencia de Bacterias 29

3.10 Influencia de la Temperatura y pH sobre la Actividad Bacteriológica 30

3.11 Relación de la Pirrotita a Pirita en Mezclas contra la Rapidez de Oxidación: a pH=2 y 22^0C 34

3.12 Rapidez de Reacción: Varios Minerales Sulfurados en Función de las Concentraciones de Hierro a 25^0C y pH=2 36

3.13 Diagrama Esquemático del Enriquecimiento de Calcopirita 36

3.14 Actividades de las Diferentes Especies en el Sistema Carbonato en Función del pH, a 25^0C y $Pco_2 = 10^{-2}$ 44

3.15 Líneas de Estabilidad Metal-Hidróxido Metálico a la Actividad Total del Metal igual a 10^{-2} 46

3.16 Perfil de pH en un Penacho Móvil de Diferentes Minerales 48

3.17 Diagrama de Equilibrio para los Minerales de K-Al-Si 51

3.18 Rapidez de Disolución de la Albita en Función del pH 53

3.19 Rapidez de Disolución de los Feldespatos y de la Cuprita en Función del pH 54

3.20 Valores Estimados de Rapidez de Disolución de los Piroxenos y Anfíboles 55

3.21 Perfil de Valores de pH a Diferentes Tiempos de Reacción, Equivalentes a Diferentes Profundidades 57

3.22 Número Mínimo de Muestras en Relación con el Tamaño del Material a ser Caracterizado 59

4.1 Diagrama de Flujo del Proceso de Tratamiento de Drenaje ácido de Mina 89

4.2 Proceso de Neutralización Convencional 91

4.3 Proceso de Lodos de Alta Densidad (HDS) 92

4.4 Proceso Continuo de Intercambio Iónico Sul-Bisul 104

4.5 Proceso Modificado Desal 107

4.6 Sistema de Intercambio Iónico de Dos Resinas 110

4.7 Proceso de Ablandamiento Cal-Sosa 114

4.8 Proceso de Ablandamiento Alúmina-Cal-Sosa 118

6.1 Canaleta Parshall Mostrando Planta, Elevación y Dimensionamiento 146

6.2 Curvas para la Determinación del Tirante Normal 150

6.3 Criba de Barras 154

6.4 Instalación del Silo para la Cal y Alimentación de la Lechada 158

6.5 Alimentación de Lechada con Circuito Controlado de pH 170

6.6 Comparación Ilustrada de los Parámetros de Flujo Axial y Radial 180

6.7 Posición de la Flecha en el Mezclador 181

6.8 Mezcladores de Turbina Axial Típicos 183

6.9 Características de un Tanque de Mezclado con Turbina Estándar 184

6.10 Tanque de Mezclado Rápido con Sensor de pH 188

6.11 Solubilidad del Hidróxido Férrico y Ferroso a Diferentes Valores de pH 189

6.12 Espesador de Lodos 209

6.13 Diseño de Laguna de Disposición de Lodos 213

7.1 Costo de Instalación Vs Gasto de Diseño 217

LISTA DE TABLAS

Tabla **Página**

3.1 Grupo de Minerales Como Parte de la Investigación Mineralógica y sus Efectos en la Calidad del Agua 74

3.2 Materiales Alternativos para Cubiertas 83

5.1 Resultados del Análisis de AMD Sin Ajuste de pH 124

5.2 Resultados del Análisis de AMD Ajustados a pH 6 125

5.3 Resultados del Análisis de AMD Ajustados a pH 7 126

5.4 Resultados del Análisis de AMD Ajustados a pH 8 127

5.5 Hoja de Registro de la Ejecución de la Prueba de Jarras (Sin Cal) 130

5.6 Hoja de Registro de la Ejecución de la Prueba de Jarras (Con Cal) 131

5.7 Pruebas de Sedimentación en Muestras de AMD de pH Ajustados 135

5.8 Sólidos Sedimentados Resultantes de las Pruebas de Sedimentación en Muestras de AMD de pH Ajustadas 136

5.9 Resultados de la Prueba de Recirculación de Lodos 138

6.1 Límites de Aplicación. Medidores Parshall con Descarga Libre 145

6.2 Dimensiones Típicas de Medidores Parshall 146

6.3 Propiedades de Lechada de Cal 162

6.4 Factores de Seguridad para Tiempos de Retención en Aereación 192