

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

---

FACULTAD DE QUIMICA

ANALISIS PARA EL CONTROL QUIMICO DE  
LAS AGUAS RESIDUALES EN LA MINA DE  
SANTA MARIA DE LA PAZ, S. A.

T E S I S

Que para obtener el título de:  
INGENIERO QUIMICO

p r e s e n t a n

EDUARDO MANUEL DE LA CRUZ MALDONADO

J. TIRSO MALDONADO MONTOYA



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ACADEMIA NACIONAL DE QUIMICA  
COMUNICACION

Tesis 1977  
LAS \_\_\_\_\_  
ADQ ~~M-103~~ ~~1001~~ 109  
FECHA \_\_\_\_\_  
PROC \_\_\_\_\_  
S \_\_\_\_\_



QUIMICA

"LA VIDA ES CORTA .... PERO MUY ANCHA"

A NUESTROS PADRES:

MANUEL Y CARIOTA

TIRSO Y GUEDELIA +

A NUESTRAS ESPOSAS:

MARIA GUADALUPE

ALBA

A NUESTRAS HIJAS:

ANEL

GUDI

LIZ

A NUESTROS HERMANOS:

MARIA ELENA

ANA MARIA

LUPITA

ROBERTO

CARLOTA

CARMEN

MARUCA

GLOPIA

ANTONIO

JAIME



A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO,

A LA MINA DE SANTA MARIA DE LA PAZ, S. A. Y

A TODAS LAS INSTITUCIONES Y PERSONAS QUE HICIERON

POSIBLE LA REALIZACION DE ESTA TESIS.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

ANALISIS PARA EL CONTROL QUIMICO DE LAS  
AGUAS RESIDUALES EN LA MINA DE SANTA MA  
RIA DE LA PAZ, S. A.

EDUARDO MANUEL DE LA CRUZ MALDONADO  
J. TIRSO MALDONADO MONTOYA

INGENIERO QUIMICO

JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE SEGUN EL TEMA

PRESIDENTE:           PROFR. JORGE A. HARO CASTELLANOS  
V O C A L :            PROFR. CARLOS ROMO MEDRANO  
SECRETARIO:           PROFR. JORGE A. CAMPOS ROBLES  
1er. SUPLENTE:        PROFR. PEDRO VILLANUEVA GONZALEZ  
2o. SUPLENTE:         PROFR. INES FUENTES NORIEGA

Sitio donde se desarrolló el tema: LA PAZ, S. L. P.

EDUARDO MANUEL DE LA CRUZ MALDONADO \_\_\_\_\_

J. TIRSO MALDONADO MONTOYA \_\_\_\_\_

PROFR. CARLOS ROMO MEDRANO (ASESOR DEL TEMA) \_\_\_\_\_



## INTRODUCCION

La contaminación, es indudablemente el tema de actualidad que ocupa la atención a nivel mundial, por estar afectando grandes núcleos de población de muy diversas condiciones culturales y sociales.

La contaminación, fenómeno corolario de la industrialización y del desarrollo demográfico de nuestros pueblos, está afectando seriamente a nuestra civilización y no podremos librarnos de él, mientras no tomemos una exacta conciencia de éste, dedicando el esfuerzo y los recursos de que dispongan las entidades que como consecuencia de ella resulten involucradas, para combatirlo.

El hombre, es el único ser en el planeta, capaz de cambiar la ecología drásticamente y gracias a eso hemos podido sobrevivir en medio de la actual explosión demográfica. Sin embargo, se ha visto que el camino que se ha utilizado en los últimos años, necesita de algunas modificaciones tendientes a corregir errores.

Se habla mucho de los avances tecnológicos y éstos son indiscutibles, pero hasta hace muy poco tiempo hemos empezado a percatarnos del despilfarro tan enorme de la energía que consumimos. Estamos agotando nuestros recursos naturales a una velocidad vertiginosa comparada con el ritmo seguido por la naturaleza para crearlos.

Nos admiramos -por citar un ejemplo- de los rendimientos obtenidos por la agricultura con el uso de los fertilizantes y pesticidas, pero hemos reflexionado poco y tardíamente en la energía consumida para producirlos mayor en muchos casos que la energía que dichos alimentos nos proporcionan y sobre todo, reflexionamos poco en las consecuencias que acarrea el uso indiscriminado e irracional de estos productos; no son pocos los casos en que hemos acabado con la vida de lagos y ríos.... y el efecto ya se está sin-

tiendo en los mares. Cada industria y cada Estado tiene su parte de responsabilidad en estos hechos.

Lo anterior no quiere decir que el progreso de la industrialización y la tecnificación deba detenerse, sino por el contrario, deberá incrementarse cada vez más, pero en forma más racional. La alternativa es: o producimos más y mejores alimentos o nos morimos de inanición. La solución deberá ser el continuar con la tecnificación sin contaminar nuestras fuentes de vida.

En las últimas décadas, México ha empezado a pagar su tributo a la naturaleza como consecuencia de su progreso y de su proceso de explosión demográfica. Estamos contaminando nuestro aire, nuestros campos, nuestras aguas.

En los últimos años se ha desatado una retórica --- "técnico-política" acerca del problema de la "degradación general del medio ambiente" en los países de tecnología avanzada, principalmente en los Estados Unidos de Norteamérica, que ha llevado los sentimientos al grado de aplicar reglamentos muy estrictos sobre el particular, lo que ha ocasionado, en el país mencionado, el cierre parcial y/o total de algunas empresas. Por ello, no debemos dejarnos arrastrar por la mencionada retórica, que exagera los problemas con el fin de generar una gran inversión que subsane los graves descalabros que ha sufrido su economía por las circunstancias políticas por las que atraviesa. Nosotros debemos ser prudentes y realistas para enfrentarnos a cualquier problema de degradación natural o artificial del medio ambiente (3).

En la planeación y desarrollo de un programa para el control de la contaminación, intervienen indiscutiblemente cuatro factores, los cuales deben relacionarse entre sí para aportar una solución práctica al problema. Ellos son: Economía, Tecnología, Educación y Legislación vigente.

No debemos reaccionar con pesimismo, pero también, no debemos hacerlo con nociva ingenuidad, como el que opina - (1) que hablando de la contaminación que ocurre en la cuenca del río Lerma explica: " Si bien es cierto que en algunos tramos del río Lerma el contenido de oxígeno disuelto (parámetro biológico fundamental) es bajo, también lo es que la pesca no es importante en esas zonas y que el agua es aprovechable para la agricultura, ganadería y la industria". Afirmación muy objetable si consideramos la gran diversidad de contaminantes que padece dicho río y el hecho de que aún la humanidad no es tá en condiciones de saber con certeza la inocuidad de muchos de ellos para el ganado o para los productos que emanan de ella o de la agricultura que son aprovechados para la alimentación humana.

Otra afirmación, que deja entrever la falta de "conciencia ecológica" de quienes orientan a la industria (y que cada vez son menos, por fortuna) es la del mismo conferencista que dice: "... sería injusto considerar para esta cuenca o PARA CUALQUIER OTRA DEL PAIS que la presencia de losmismos -- (contaminantes) es un síntoma de degeneración o de agresión. Las fuentes de trabajo y la producción industrial del Estado señalan más bien lo contrario; una aportación valiosa cuyo -- precio debemos estar dispuestos a pagar.... Tenemos un reto y debemos enfrentarlo....", (2)

Pues bien, tenemos un reto; tratemos de implementar con nuestro esfuerzo a todo intento racional para resolver a tiempo el problema de la contaminación del ambiente. No es otra la finalidad de esta tesis.

## DETERMINACION DE LOS FENOMENOS DE CONTAMINACION.

Para ubicar el problema que vamos a analizar será necesario en primer término definir el concepto llamado contaminación:

CONTAMINACION en su significado más general, es la acción de introducir un elemento completamente ajeno a otro u otros dentro de su ámbito, de modo tal que con su presencia altera las propiedades o comportamiento originales del elemento o grupo de elementos receptores (4).

Desde el punto de vista físico-químico resulta obvio que no es posible conservar en la naturaleza entidades puras, pues el contacto directo entre todo tipo de sustancias genera una casi infinita variedad de mezclas. El grado de contaminación de los múltiples sistemas en el planeta puede llegar a alcanzar todos los valores de la escala y en los casos más severos (las erupciones volcánicas por ejemplo) puede provocar la eliminación de la vida durante lapsos más o menos prolongados; pero, hasta la fecha, la vida es restaurada a final de cuentas con los propios recursos de la naturaleza.

Se observan en los múltiples sistemas ecológicos -- puntos de equilibrio población-alimento-ambiente que en un momento dado se pierde por cambio de potencial entre sus factores. Se generan de inmediato fenómenos tendientes al restablecimiento del equilibrio y cuando el desajuste llega a ser serio puede ser que se logre un nuevo punto, bajo otras condiciones de equilibrio, más estable a las nuevas circunstancias. Generalmente sucede ésto a costa de la disminución de las especies (alimentadas o alimentadoras). Cuando el decremento en la población es general, se tiene el caso de una degradación del medio ambiente por la cual perecen todas las especies que no puedan adaptarse o emigrar a un medio propicio. El hombre y los efectos de su presencia en la Tierra provocan como ya lo mencionamos al principio, este mismo tipo de degrada

daciones -artificiales- del ambiente. Las grandes concentraciones de sus desechos así como la intromisión de sustancias difíciles de descomponer (productos de origen sintético) hacen que los residuos de los drenajes industriales y urbanos sean nocivos al medio ambiente.

Es así como llegamos a definir el siguiente concepto:

CONTAMINANTE DEGRADADOR DEL MEDIO AMBIENTE es todo agente cuya concentración en un sistema excede a la capacidad de éste para ser asimilado, tolerado o vuelto a su valor original y cuya presencia en tales circunstancias altera macroscópicamente el comportamiento o las propiedades del sistema.

Con tal definición quedan incluidos agentes vivos o agentes físico-químicos, en forma material o como energía.

Hay que considerar las siguientes condiciones que se manifiestan en los fenómenos de contaminación degradante del medio ambiente: (4)

- a) Cualquier elemento puede convertirse en contaminante al exceder ciertos límites de concentración, cuyos valores dependen del sistema ecológico de que se trate. Abajo de tales límites su presencia puede ser inocua o incluso necesaria para sostener el equilibrio de sus procesos internos.
- b) Dependiendo del sistema y de las circunstancias por la que atraviese, podremos considerar como normal el hecho de que la capacidad de asimilación o tolerancia de cierto material o agente contaminante sea constante o variable. En este último caso habrá que indagar las causas de tal variabilidad, su periodicidad y su dependencia con la concentración original del agente.



- c) Los fenómenos provocados por los agentes pueden ser -a nivel teórico- explicados en algunos casos. Cuando ello no sea así, deberán experimentarse respecto a los efectos más evidentes, imputables en hipótesis, a los contaminantes en contrados mediante el análisis.
  
- d) Los resultados analíticos deben interpretarse previo conocimiento estadístico del problema global, para lo cual es necesario contar con un número de resultados que nos permitan expresar los valores con un factor de confianza tal, - que pueda definir si el contaminante o contaminantes en -- cuestión, están dentro o fuera de los límites de control; a nuestro juicio, el factor de confianza recomendable será del 75% (5)
  
- e) Finalmente, para definir si existe o no problema de contaminación en un cuerpo receptor específico, deberá atenderse única y exclusivamente al uso o destino final del agua en cuestión.

## DESCRIPCION DEL PROCESO

### Generalidades.

La metalurgia extractiva es un grupo de técnicas -- que asocia los procedimientos químicos, físicos y físico-químicos a nivel industrial, los que aplicados al mineral adecuado, producen en su etapa final el metal correspondiente en su estado elemental o en forma de compuesto, aleación o amalgama según sea el proceso que se aplique. En la actualidad las menas explotadas en los yacimientos poseen un contenido mineral situado en un rango muy amplio de composición y concentración. Ello es causa y efecto de la gran demanda que llegan a tener en el mercado los metales, que representan un factor de producción y de solidez económica para los países que los explotan para abastecer el mercado nacional o internacional. Cada vez resulta más rentable la explotación de depósitos naturales o artificiales de minerales cuyos porcentajes de contenido metálico son relativamente bajos. En muchos casos, como en el de los metales cuya escasez es normal en la corteza terrestre, nunca se han descartado las posibilidades de procesamiento de los residuos dejados tras las primeras formas de explotación a que se sometieron, pues las nuevas técnicas y aditivos sintéticos nos permiten su aprovechamiento.

Los compuestos metálicos más comunes en las menas son: sulfuros, óxidos, carbonatos e hidróxidos. Pero junto a ellos encontraremos mezclas muy diversas de otros compuestos que será necesario separar como son los carbonatos alcalinos y alcalinotérreos, silicatos, fluoruros, cloruros, sulfatos, etc. De este modo, se tratará de purificar industrialmente el mineral deseado para que su manejo, transporte y refinación a estado elemental resulten con el mínimo costo y el máximo rendimiento, así como que el metal resulte con propiedades específicas que lo hagan útil para los fines industriales a que se destine.(6)

## FIOTACION

### Descripción general.

La flotación mineral mediante espuma es usada para la concentración de una gran variedad de minerales. Para minerales metálicos, las menas deben ser molidas a un tamaño -- más fino que las 48 a 65 mallas; para no-metales o carbón el tamaño de partícula deberá ser más fino que las 10 a 28 ma---llas. La finura de la molienda necesitada en el mineral es -- determinada por el tamaño de partícula al cual los minerales valiosos son liberados de la ganga.

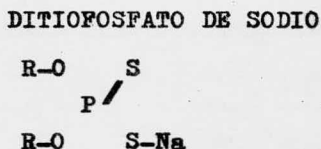
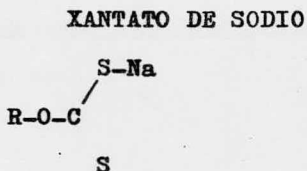
En las celdas de flotación el mineral es suspendido en agua en una pulpa con una concentración entre 15 y 35% en masa de sólidos por agitación mecánica o con aire. Las superficies de las partículas minerales que se desean separar son tratadas específicamente con sustancias químicas llamadas pro motores o colectores que les imparten propiedades de repalen cia al agua y de avidez por el aire. La agitación y/o la for mación de burbujas de aire forman una espuma a la cual se ad hieren las partículas metálicas activadas por el colector y -- son arrastradas hasta el borde superior de la celda, de donde son barridas por medio de paletas o de algún otro medio para separarlas de la superficie de la pulpa. Los minerales inde seables son deprimidos y arrastrados al fondo de la celda pa-- ra su purga, recirculación o beneficio posterior, bien sea -- porque el colector no tenga efecto sobre estos minerales inde seados o porque en prevención de su posible interferencia, ha yan sido tratados con algún agente modificador específico.

Tratamiento químico para la flotación.

### Colectores.--

Los colectores apropiados para la flotación de sul-

furos metálicos y minerales nativos son los xantatos y diti-  
fosfatos:



Donde R es algún grupo alquilo de dos a seis átomos de carbono.

El colector ionizado es adsorbido sobre la superficie del sulfuro mineral uniéndose con el a través de los átomos de azufre de ambos compuestos. El grupo alquilo provee las propiedades de repelencia al agua. Las cantidades normalmente agregadas a las celdas son del orden de 0.01 a 0.2 lb./ton. de mineral

Acidos grados crudos, refinados o sulfonados (y algunos otros derivados del petróleo sulfonados) se emplean para la flotación de minerales no-metálicos y para la flotación del mineral de fierro. Para estos minerales las dosis de reactivos son más altas (0.2 a 2 lb/ton. de mineral).

### Espumantes.

Se usan para la generación de espumas aceites como el de pino, ácido cresílico, eter de polipropilen glicol y alcoholes amílico y metílico. Las cantidades que se requieren son de 0.01 a 0.2 lb./ton. de mineral.

### Modificadores.

Son agentes químicos cuyo fin es alterar las condiciones físico-químicas, bien sean aquellas que afecten a las propiedades del fluido en su totalidad o a las propiedades de

superficie de algún grupo de minerales, de los cuales se desea su presencia o ausencia en la espuma que se va a flotar. Por sus efectos se pueden clasificar como:

**Activadores.**- Producen sobre la superficie del mineral una capa molecular que resulte afín con el colector - empleado en el proceso de flotación, para poder incluir de esta forma en la espuma, al mineral activado.

El ión cobre es usado, por ejemplo, para activar a la esfalerita ( $ZnS$  mineral), tornando a la superficie de la - esfalerita capaz de adsorber algún colector del tipo xantato ó ditiofosfato. El sulfuro de sodio es usado para activar la superficie de minerales oxidados de plomo y cobre de modo tal que ellos puedan ser flotados con la ayuda de algún colector de sulfuros minerales común.

**Reguladores de Alcalinidad.**- Estos agentes tales como la cal, sosa cáustica, soda "Ash" y ácido sulfúrico son usados para controlar o ajustar el pH, un -- factor muy crítico en muchos procesos de flotación principalmente en aquellos en que se benefician varios minerales en cadena.

**Depresores.**- Son auxiliares para incrementar la selectividad de los colectores (hacen más definida la separación) ó impiden que minerales indeseables floten.

El cianuro de sodio o de calcio deprime a la pirita ( $FeS_2$ ).

En la flotación en secuencia de la galena ( $PbS$ ), es falerita ( $ZnS$ ), sulfuros de cobre, el sulfato de zinc se emplea para deprimir a la esfalerita mientras se está flotando la galena.

El ferrocianuro de sodio deprime a los sulfuros de cobre mientras se flota la molibdenita ( $\text{MoS}_2$ ).

La cal ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) deprime a la pirita; el silicato de sodio deprime al cuarzo; el quebracho deprime a la calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) mientras se flota la fluorita ( $\text{CaF}_2$ ); los sulfonatos de lignina y dextrinas deprimen al grafito y al talco durante la flotación de los sulfuros.

Dispersantes.- Agentes llamados también defloculantes son importantes para el control de lamas, las cuales algunas veces interfieren con la selectividad e incrementan el consumo de los reactivos. La Soda "Ash", la cal, el silicato de sodio y los sulfonatos de lignina son usados para este propósito.

Las dosis de estos agentes modificadores son muy variadas; su rango va desde cantidades tan pequeñas como 0.05 lb./ton. de mineral a tan altas como 5 ó 10 libras/ton. dependiendo del reactivo y del problema metalúrgico.

El proceso general consta de un agrupamiento integrado de operaciones y procesos unitarios cuyos puntos críticos son: el tamaño de partícula al que debe reducirse el mineral; su composición y la concentración de los minerales explotables e indeseables en la mena. Estos afectarán sensiblemente al costo de producción del concentrado de que se trate --- pues limitan el rendimiento del proceso y la eficiencia de --- los reactivos empleados en el mismo.

Para obtener una buena molienda, el mineral debe --- respetar las características de trituración y dureza especificadas para formar parte de la alimentación de mineral bruto a los molinos y éstos deberán cumplir por lo menos con las condiciones de operación, servicio y rendimiento para los cuales se diseñaron.

La Planta de Beneficio puede ser dividida en cuatro secciones, de acuerdo con el tipo de material que manejan:

SECCION	MATERIAL MANEJADO	DENOMINACION
I	Mineral en bruto	TRITURACION Y SELECCION (Acondicionamiento físico primario)
II	Mineral en bruto triturado	MOLIENDA (Acondicionamiento físico final)
III	Mineral molido en lodo	ACONDICIONAMIENTO QUIMICO Y FLOTACION
IV	Concentra do mineral en pulpa fluida.	DESECADO Y MANEJO DE CONCENTRADOS.

Dentro de los procesos hidrometalúrgicos, el de la flotación es el más importante hasta la fecha, tanto por su gran economía, como por la gran diversidad de minerales a los que se puede aplicar, con el fin de obtenerlos en forma de -- concentrados.

El proceso de flotación se realiza con una mínima - generación de polvos, pues en él se maneja húmedo el mineral, cosa que no ocurre así con el proceso alterno de separación e lectrostática, pues por su naturaleza implica necesariamente el manejo de atmósferas polvosas en su procedimiento de con-- centración. (6)

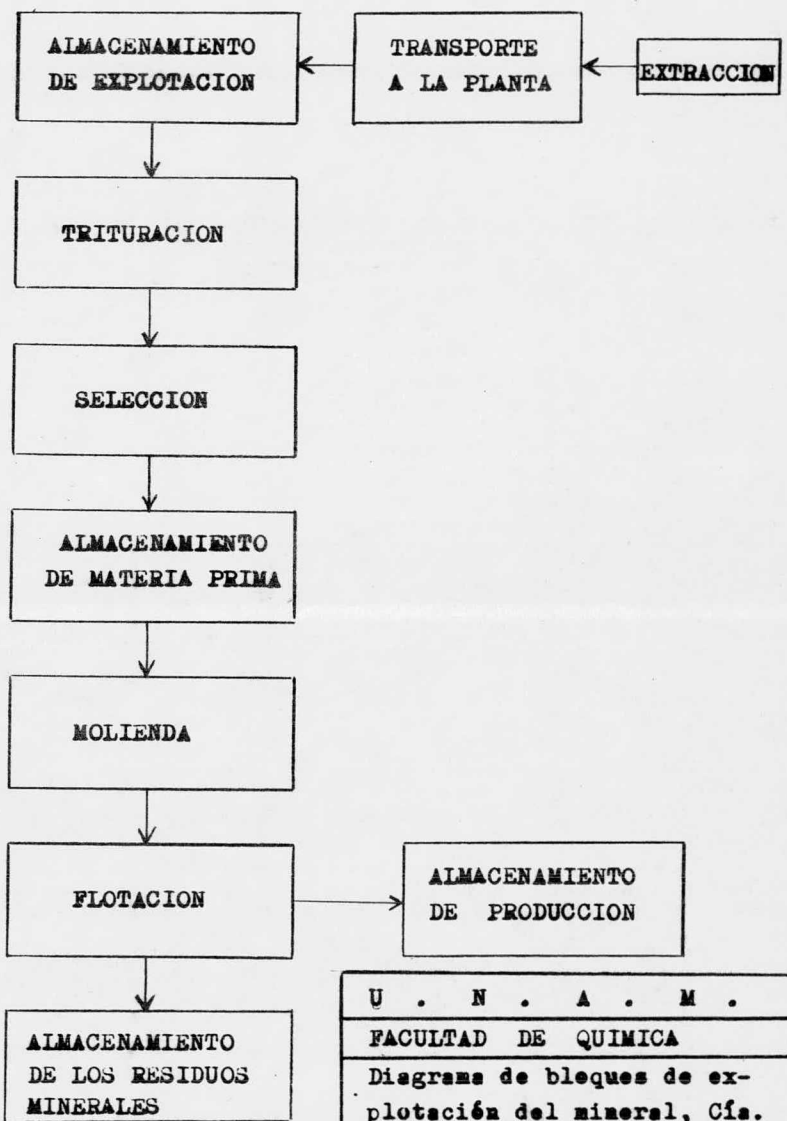
El diagrama de bloques de la Figura No. 1 y No. 2 - muestra las etapas generales de un proceso total de beneficio de un mineral por el método de flotación, los diagramas de -- las Figuras Nos. 3, 4 y 5, nos dan las características parti-- culares del proceso tal y como se aplica en la planta de bene-- ficio en que desarrollamos el presente trabajo.

En dicha instalación se mantienen operando continua-- mente dos líneas de producción: una de concentración de mine-- ral de cobre y otra de concentración en serie de minerales de plomo, zinc y fierro.

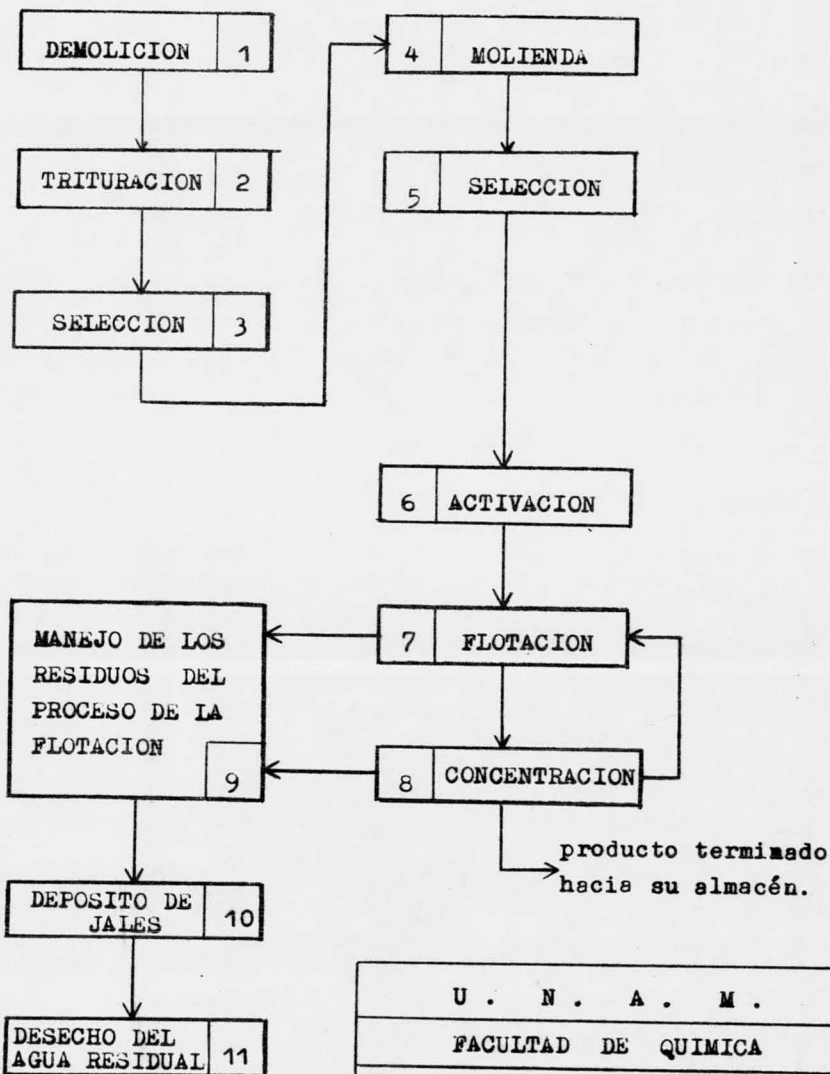
Los desechos de cada una de las líneas de producción se reúnen en un solo depósito y se bombean a una presa de ja-- les. Idealmente debería ir y salir de esta presa un solo cau-- dal, pero, debido a diversas causas que enseguida analizare-- mos ésto no ocurre, lo que genera los fenómenos de contamina-- ción de los que nos ocuparemos principalmente en esta tesis.

Desde el punto de vista industrial, la concentra--- ción del mineral se ve íntimamente relacionada con un grupo - de operaciones previas y posteriores al fenómeno de flotación. Aparte de éste, dos más son factores decisivos en este proce-- so de concentración: la reducción del tamaño del mineral bru--





U . N . A . M .		
FACULTAD DE QUIMICA		
Diagrama de bloques de explotación del mineral, Cía. Minera Sta. Ma. de la Paz.		
TESIS PROFESIONAL ING. QUIMICO		
1976	E.M.de la Cruz M.	Fig. 1



U . N . A . M .

FACULTAD DE QUIMICA

Diagrama de bloques de la industrialización del mineral en la Cía. Mimera "Santa María de la Paz, S.A."

TESIS PROFESIONAL ING. QUIMICO

1976 E.M. de la Cruz M. Fig. 2

to, que afecta sensiblemente la eficiencia del proceso, y el manejo, depósito y tratamiento de los desechos, que afecta a los costos de producción.

El Diagrama de la Figura no. 1 describe las etapas de la explotación del mineral hasta la formación de un producto concentrado que servirá como materia prima en las plantas de fundición.

El Diagrama de bloques de la Figura No. 2 agrupa a las operaciones y procesos unitarios desde el punto de vista industrial. A continuación lo describimos en detalle.

#### DESCRIPCION DEL PROCESO DE BENEFICIO DEL MINERAL POR FLOTACION

##### A) Acondicionamiento físico:

###### a) Reducción del tamaño del mineral en bruto.

Consideramos aquí las dos primeras formas de reducción a que se somete el mineral, a partir del momento en que se le localiza y extrae de la mina.

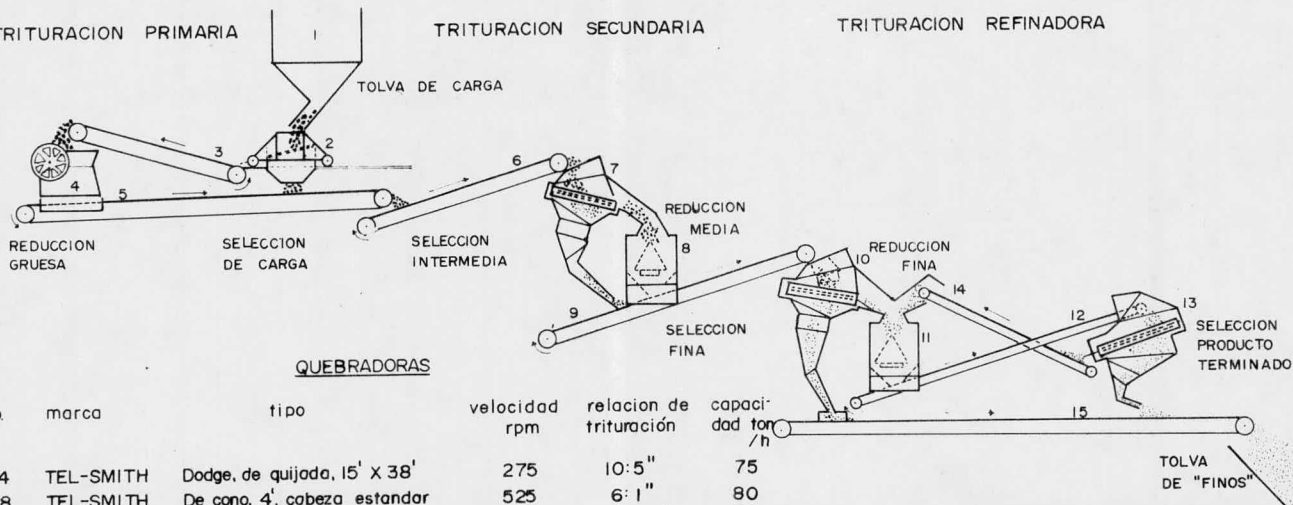
La primera reducción ocurre dentro de la mina, donde la veta mineral es fracturada mediante la demolición con explosivos. En esta primera etapa se obtienen bloques de varios metros cúbicos de volumen, que se reducen con barreno neumático a bloques de 30 a 40 centímetros de largo, y de un volumen de 0.03 a 0.04 metros cúbicos, que se extraen de la mina por vagoneta y "malacate", y transportadas después desde el exterior del tiro de la mina, hasta la planta de beneficio en camiones de caja "de volteo", o en vagonetas de ferrocarril de vía angosta.

Vamos a auxiliarnos del diagrama de flujo de la Figura No. 2 y No. 3 para describir la secuencia de las siguientes

TRITURACION PRIMARIA

TRITURACION SECUNDARIA

TRITURACION REFINADORA



QUEBRADORAS

No.	marca	tipo	velocidad rpm	relacion de trituración	capacidad ton/h
4	TEL-SMITH	Dodge, de quijada, 15' x 38'	275	10:5"	75
8	TEL-SMITH	De cono, 4', cabeza estandar	525	6:1"	80
11	SYMONS	De cono, 4', cabeza corta	485	1:3/8"	60

CRIBAS VIBRATORIAS

No.	marca	dimensiones, pies	tamaño de la malla, inferior	pulgadas superior
7	GRIZZLY-BAR			
10	SYMONS	4 X 8 (doble piso)	3/8" (cuadrada)	3/8" (ranurada)
13	DENVER	5 X 10 (doble piso)	3/8"	3/4"

**UNAM**

**FAC. DE C. QUIMICAS**

EDUARDO MANUEL DE LA CRUZ MALDONADO

TESIS PROFESIONAL

DIAGRAMA DE FLUJO DE -  
LA SECCION TRITURADORA  
EN LA PLANTA DE BENEFICIO.

3

1977

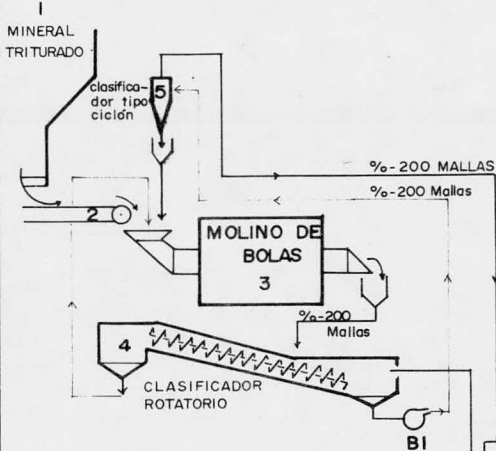
tes etapas que correspondan a la línea de producción de mineral concentrado.

De este modo, la segunda reducción del mineral en bruto (pag. No.2, paso No. 2) se lleva a cabo en la Sección de "Quebradoras" de la Planta de Beneficio, siendo así:

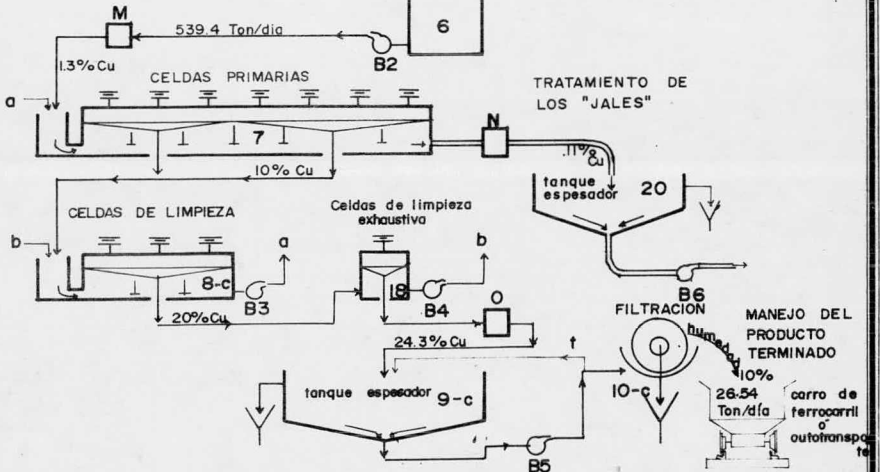
- 1) El mineral transportado hasta la Planta de Beneficio se va cía en las TOLVAS DE CARGA (-1-). La compuerta de descarga inferior de alguna de ellas estará comunicada con el --ALIMENTADOR-SELECTOR móvil (-2-)
- 2) Este aparato selecciona la carga mineral que recibe separando la fracción que atraviese las separaciones de 5.08 cm. de su enrejado (1.0 a 5% de la masa mineral, dependiendo de la eficiencia del barrenado, de la calidad y características mineralógicas de la carga). El resto se desliza sobre las rejas hasta caer en la BANDA TRANSPORTADORA (-3-) Tamaño del mineral máximo (diseño) 25.4 cms.
- 3) Esta, descarga en un TRITURADOR DE QUIJADA tipo DODGE (-4-) que reduce el mineral en fragmentos de 12.7 cms. de diámetro (máximo diseño) nominal (5") que se descargan en la --BANDA TRANSPORTADORA (-5-) sobre la cual y junto con la --fracción separada por el alimentador depositada en su otro extremo, se desliza hasta caer en la BANDA TRANSPORTADORA (-6-).
- 4) El mineral es descargado entonces en la CRIBA VIBRATORIA -GRIZZLY-BAR (-7-) que separa la fracción que atraviese las aberturas de 2.54 cms. entre sus varillas (18 a 21% de la carga, en función de las características del mineral y de la cantidad que se triture). El resto se desliza hasta la admisión del siguiente triturador.

- 5) El TRITURADOR GIRATORIO de CONO ESTANDAR (-8-) reduce el mineral a un tamaño de 2.54 cms. máximo de diámetro nominal (1") descargando su producto en la BANDA TRANSPORTADORA (-9-) en donde se reúne con la fracción separada en la criba previamente mencionada, desplazándose al área de refinación.
- 6) El material triturado descarga en una CRIBA VIBRATORIA (-10) que separa la fracción del material que atraviese la malla de .9525 cms. (3/8" nominal). El resto se desliza hasta el alimentador de doble descarga de los dos TRITURADORES GIRATORIOS de CONO CORTO (-11- y -11'-).
- 7) Estos aparatos trabajan en paralelo reduciendo la carga a un tamaño de diámetro nominal máximo de 3/8".
- 8) Descargan los trituradores cada uno en una de las dos BANDAS TRANSPORTADORAS (-12- y -12'\*) que conducen su carga - hasta cada una de las CRIBAS VIBRATORIAS (-13- y -13'-) -- que operando simultáneamente seleccionan la fracción de mineral triturado que ha sido reducido hasta un tamaño igual o menor a 3/8" de diámetro nominal. Lo restante se desliza por un par de conductos hasta caer en la BANDA TRANSPORTADORA (-14-)
- 9) Esta banda recirculará aquellas fracciones intermedias en tamaño que requieren de un paso más por los trituradores giratorios de cono corto, descargándolas en el alimentador de doble canal de los mismos.
- 10) Entonces, lo separado en la criba vibratoria previa a los trituradores (22 a 25% de la carga global que se alimenta a ellos) y lo separado como producto final en las cribas de selección final (80 a 85% del triturado en esta última sección) se colecta y dirige a las BANDAS TRANSPORTADORAS (-15- y -15'-) que los conducirán hasta vaciarlos en las TOLVAS DE "FINOS" (-16-)

# MOLIENDA



# FLOTACION



<b>UNAM</b>	<b>FAC. DE C. QUIMICAS</b>
EDUARDO MANUEL DE LA CRUZ MALDONADO	
TESIS PROFESIONAL	
DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE FLOTACION DEL MINERAL DE COBRE	<b>4</b>
1977	

A) Acondicionamiento físico (continuación):

La parte principal de la industrialización del mineral en la planta de beneficio se describiría con el auxilio de:

Figura No. 4; para la línea de producción Cu.

Figura No. 5; para la línea de producción Pb-Zn-Fe.

b) Molienda.- El mineral triturado y almacenado en la TOLVA DE MINERAL BRUTO (-1-) se alimenta por medio de la BANDA VIBRADORA (-2-) al MOLINO DE BOLAS (-3-), cuyo producto se decanta hacia el CLASIFICADOR ROTATORIO (-4-) donde el lodo resultante es dividido en dos partes:

I) La fracción gruesa que es arrastrada al depósito superior de este aparato y retornada al molino por gravedad para establecer el ciclo principal de recirculación;

II) La fracción delgada que escurre al depósito inferior del clasificador. De éste, una pequeña parte es decantada (1) hacia la siguiente etapa del proceso. El resto es bombeado con B1 hacia un CLASIFICADOR DEL TIPO CICLON (-5-). La parte gruesa es enviada por gravedad al molino, estableciéndose así el ciclo auxiliar de recirculación. La parte fina efluyente del "ciclón" continúa por la línea de producción hacia la siguiente etapa del proceso (1).

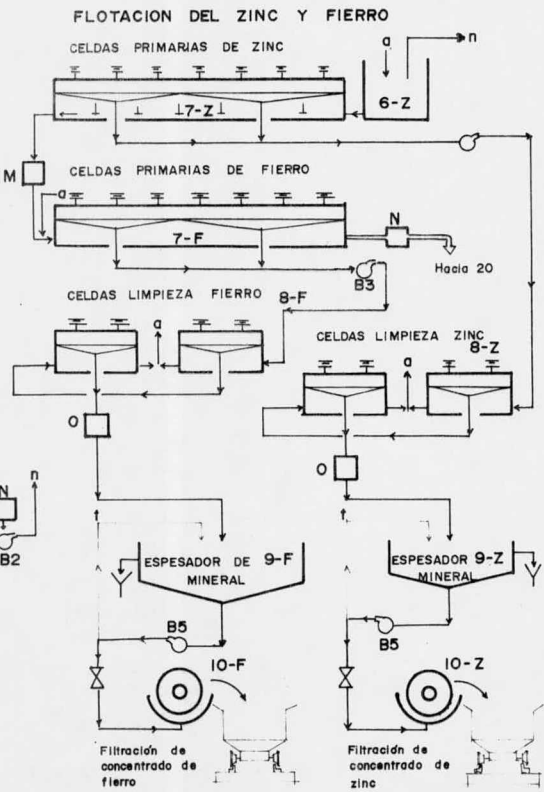
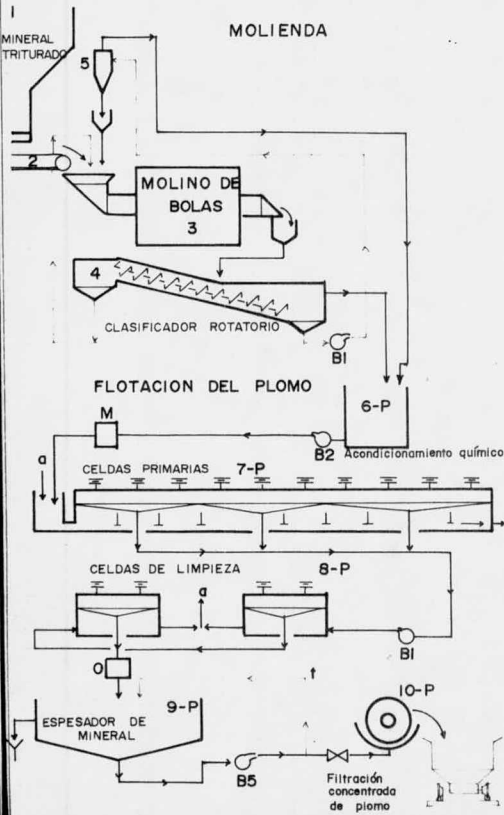
B) Acondicionamiento químico y flotación:

El tratamiento químico es descrito por separado.

a) Flotación.

El lodo fino (80% -200 mallas) es tratado químicamente en el TANQUE ACONDICIONADOR (-6-) y bombeado con B2 hacia las CELDAS DE FLOTACION PRIMARIA, pasando previamente por





<b>UNAM</b>	<b>FAC. DE C. QUIMICAS</b>
EDUARDO MANUEL DE LA CRUZ MALDONADO	
TESIS PROFESIONAL	
DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE FLOTACION -- DEL MINERAL DE PLOMO-ZINC-FIERRO.	
5	
1977	

el MUESTREADOR (-M-).

El residuo es canalizado hacia el TANQUE ESPESADOR DE JALES (-20-), pasando previamente por el MUESTREADOR (-N-). (1) Su análisis granulométrico debe reportar continuamente un mínimo de 80% en masa de partículas de -200 mallas.

El producto de la flotación primaria es enviado por gravedad hacia las CELDAS DE FLOTACION DE LIMPIEZA, en donde un residuo que es bombeado con B3 para recircularlo a las celdas primarias.

El producto de la flotación de limpieza es enviado por gravedad hacia el último paso de FLOTACION DE LIMPIEZA EX HAUSTIVA cuyo residuo es recirculado por medio de B4 hacia -- las celdas de limpieza originales.

La espuma resultante de estas celdas es rota y arastrada con agua hacia el TANQUE ESPESADOR DE MINERAL CONCENTRADO (-9-) pasando previamente por el MUESTREADOR (-0-).

El lodo fino espeso es bombeado del fondo del tanque espesador con B5 para establecer una línea de recirculación (-t-) continua entre el mismo tanque de la cual se deriva la línea de alimentación del FILTRO DE DISCOS (-10-). Las aguas residuales van hacia el drenaje interno que reúne este tipo de caudales en el tanque espesador de jales, o bien, si la cantidad de sólidos en suspensión es muy elevada, se envía por gravedad al tanque acondicionador del mineral, para la recuperación de sus minerales.

El mineral concentrado (y máximo 10% de humedad), es acumulado y transportado manualmente hacia carros de ferrocarril o bien a autotransportes.

Los residuos del proceso, acumulados en el tanque -

espesador de jales es bombeado con B6 hacia la PRESA DE ASENTAMIENTO DE JALES.

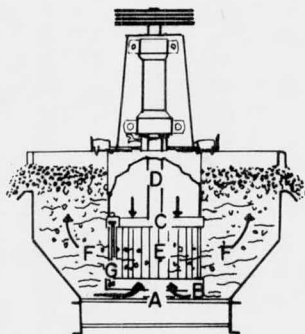
Para la línea de producción de mineral concentrado de cobre, la secuencia que acabamos de detallar es así de -- sencilla. Por otra parte, para la línea de producción de minerales concentrados de plomo, zinc y fierro, la secuencia -- adquiere una ramificación que nos permite aprovechar los residuos de la flotación primaria del plomo como materia prima en la flotación del mineral de zinc con un tratamiento químico previo y cuyo residuo de su flotación primaria sirve a la vez como materia prima en la flotación del mineral de fierro mediante un tratamiento químico acondicionador.

De esta ramificación a su vez parten las corrientes de cada mineral para su limpieza y purificación (limpieza exhaustiva), con sus propias recirculaciones. Del mismo modo, cada mineral concentrado así obtenido se espesa y filtra, manejándose el producto terminado de acuerdo con sus propias -- características y especificaciones para su transporte y venta.

Por último debemos mencionar que la producción de estos minerales se clasifica por lotes, los cuales son mues--treados individualmente en su lugar de almacenamiento, utilizando el método de "cuarteo" para la toma de muestra.

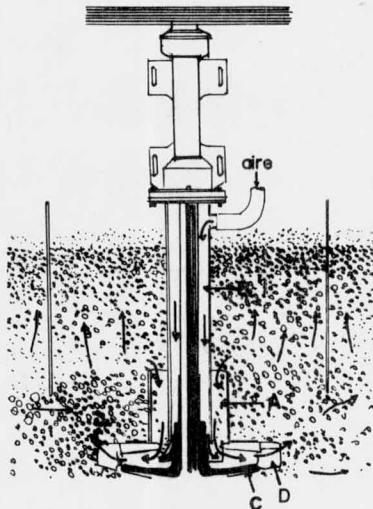
En las figuras Nos. 4 y 5 se diferencian los equipos que corresponden a la concentración de cada mineral de -- la siguiente forma:

- ( -c) para los de la corriente de producción de cobre.
- ( -p) para los de la corriente de producción de plomo.
- ( -z) para los de la corriente ~~de~~ producción de zinc.
- ( -f) para los de la corriente de producción de fierro.



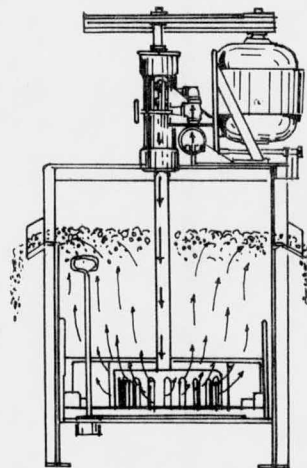
TIPO FAGERGREN

- A- ROTOR
- B- ADMISION DE PULPA
- C- INYECCION DE AIRE
- D- FLECHA DEL ROTOR
- E- DIFUSOR DE ESPUMA
- F- PROYECCION DE LA ESPUMA
- G- BURBUJEADOR



TIPO D-R DENVER

- A- ANILLO DE RECIRCULACION
- B- ADMISION AIRE COMPRIMIDO
- C- IMPULSOR ROTATORIO
- D- DIFUSOR



TIPO AGITAIR

<b>UNAM</b>	<b>FAC. DE C. QUIMICAS</b>
EDUARDO MANUEL DE LA CRUZ MALDONADO	
TESIS PROFESIONAL	6
CELDA PARA FLOTACION DE MINERAL.	
1977	

La corriente de producción de concentrado mineral de cobre la identificamos como LINEA Cu.

La corriente de producción en cadena de minerales concentrados de plomo, zinc y fierro se identifica como LINEA Pb-Zn-Fe.

### DESCRIPCION DEL EQUIPO

Vamos a detallar las características del equipo de la planta, mencionando separadamente los que se usan para operaciones unitarias (SECCIONES I, II y IV de la planta de beneficio) y los que primordialmente realizan procesos unitarios (SECCION III).

EQUIPO	CARACTERISTICAS				
TRITURADORA PRIMARIA (reducción burda)	Marca: TEL-SMITH, Tipo: DODGE, quijada de 15" x 38", RPM= 275; relación de trituración 10:5 capacidad= 75 ton/hr., H.P.=40; tamaño de la carga= 10", tamaño de la descarga= 2".				
TRITURADORA SECUNDARIA (reducción media)	Marca: TEL-SMITH, Rotatoria tipo: cónica, cabeza estandar (4ft.), RPM=525; relación de trituración= 6:1; capacidad= 80 ton/hr., H.P.= 100; tamaño de la carga= 2", tamaño de la -descarga= 1".				
TRITURADORAS DE REFINACION (reducción fina) 2 UNIDADES EN PARALELO	Marca: SYMONS, Rotatoria tipo: cónica, cabeza corta (4 ft.), RPM= 485, relación de trituración = 1:3/8"; capacidad= 60 ton./hr.; H.P.= 60; tamaño de la carga= 1", tamaño de la descarga = 3/8".				
CRIBA VIBRATORIA	MARCA	DIMENSIONES LARGO ANCHO ft. ft.		TAMAÑO DE LA MALLA INFERIOR SUPERIOR in. in.	
CRIBA SELECTORA DE TRITURACION SECUNDARIA	GRIZZLY -BAR	8	4	1.0" reforzada	1.5"

	MARCA	DIMENSIONES		TAMAÑO DE LA MALLA	
		LARGO ft.	ANCHO ft.	INFERIOR in.	SUPERIOR in.
CRIBA SELECTORA DE TRITURACION FINA	SYMONS	8	4	-3/8"	-3/8"
CRIBAS SELECTO RAS DE PRODUCTO TERMINADO. (2 unidades en paralelo)	DENVER	10	5	-3/8"	-3/4"

	DIMENSIONES (m.)			CAPACIDADES (ton)	
	LARGO	ANCHO	ALTO	DISEÑO	OPERACION

SIN TRITURAR (2 unidades igua-  
les) 6.25-5.25- 4.1 300 285

TRITURADO FINO (3 unidades) 6.38-5.88-10.88 450 400  
6.38-4.62-10.88 225 200  
6.38-6.30-10.88 500 450

TOLVAS DE ALMACENAMIENTO  
MINERAL DE COBRE

SIN TRITURAR (3 unidades igua-  
les) 6.25-5.25- 4.10 200 110

TRITURADO FINO (2 unidades) 9.57-6.38-10.88 525 500  
10.50-6.38-10.88 575 550

	SOLIDOS		CARACTERISTICAS		
	CARGA %	EFLUENTE en masa	DIAMETRO m.	ALTURA m.	CAPACIDAD ton/día

MINERAL DE COBRE	20	60	7.80	3.39	35
MINERAL DE PLOMO	30	60	7.80	3.39	35
MINERAL DE ZINC	30	60	4.80	3.00	15
MINERAL DE FIERRO	25	60	16.00	5.50	55
JALES DE TODO EL PROCESO	30	50	16.00	5.50	1100

FILTROS PARA DESECADO DE CONCENTRADOS MINERALES.

CONCENTRADO DE:	TIPO	NO.DE ELEMENTOS	DIAMETRO		AREA DE FIL TRACION TO- TAL. m <sup>2</sup> .
			LARGO m.	m.	
COBRE	EIMCON	5 discos	1.22	3.50	15.35
PLOMO	AMERICAN	4 discos	1.22	3.50	12.28
ZINC	AMERICAN	4 discos	1.22	3.50	15.35
FIERRO	EIMCON	6 discos	1.22	5.00	19.00
	AMERICAN	6 discos	1.22	5.50	19.00

CELDA DE FLOTACION

CARACTERISTICAS	DENVER SUB-A NO.18	DENVER SUB-A NO.24	DENVER DR NO.24	FAGERGREN NO. 56	AGITAIR NO.60A	H.P. POR CELDA
LARGO (M.)	0.75	1.20	1.20	1.30	1.52	
ANCHO (M.)	0.75	1.20	1.20	1.30	1.52	
ALTO (M.)	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	
VOLUMEN UNITARIO(M <sup>3</sup> )	0.51	1.42	1.42	1.69	4.62	
CAPACIDAD UNITARIA DE DISEÑO (TON/HR.)	0.25	3.2	3.8	3.5	20.8	

FLOTACION PROCESO

PRIMARIA	cobre	-	7	7	-	-	4.0
	plomo	-	10	-	-	-	6.25
	zinc	-	-	-	7	-	8.0
	fierro	-	-	-	7	-	8.0
LIMPIEZA	cobre	4	3	3	-	-	4.33
	plomo	2	-	-	-	-	6.33
	zinc	2	-	-	-	-	8.33
	fierro	-	-	-	2	-	8.25
LIMPIEZA	cobre	2	-	-	-	-	4.33
EXHAUSTIVA	plomo	2	-	-	-	-	6.33
	zinc	2	-	-	-	-	8.33
	fierro	2	-	-	-	-	8.25
REPROCESO DE JALES		-	-	-	-	2	35.00

EQUIPO CARACTERISTICAS

MOLINOS DE BOLAS:

MINERAL DE COBRE (2 unidades en operación continua) Marca: MARCY; diámetro = 2.44 m.; largo = 1.83 m. RPM = 21; H.P. = 245; capacidad = 300 ton/día.

Marca: ALLIS-CHALMERS, diámetro = 2.14 m.; largo = 2.44 m. RPM = 20, H.P.=250 capacidad = 300 ton/hr.

MINERAL DE PLOMO ZINC Y FIERRO (2 unidades iguales en operación continua). Marca: KRUPP; diámetro = 1.55 m.; largo = 3.36 m.; RPM = 25; H.P. = 250; capacidad = 250 ton/día.

DE RESERVA SE ENCUENTRA OTRO MOLINO KRUPP DE LAS CARACTERISTICAS YA MENCIONADAS.

CLASIFICADORES:

MINERAL DE COBRE (2 del tipo de tornillo helicoidal; 2 "ciclones")  
MINERAL DE PLOMO (1 del tipo duplex, otro del tipo helicoidal)  
CLASIFICADOR: (2 "ciclones")

-de rastrillos Marca: AKINS, Duplex de 8.4 m. de largo y 1.83 m. de ancho; capacidad 300 ton/día; H.P. = 100.

- de tornillo Marca: AKINS; 6.55 m. de diámetro, --- 1.22 m. de ancho, H.P. = 90.

- "ciclones" Marca: KREBS, de 40 cms. de largo y 20° de ángulo de perfil.



TABLA DOSIS Y CONCENTRACIONES DE REACTIVOS PARA LA FLOTACION

S I S T E M A	REACTIVO	DOSIS ml/min	CONCENTRACION DE LA DOSIS % en masa	LUGAR DE SUMINISTRO DEL REACTIVO
C O B R	COMPLEX 123	110	5	Cabezal alimentador de las celdas de flotación,
		10		Celda No. 3,
		10		Celda No. 5,
		25		Celda No. 8.
R	AEROFLOAT C-4	15	100	Cabezal alimentador de las celdas de flotación,
E	NaCN	50	5	Cabezal alimentador.
-----				
P L	COMPLEX 122	65	5	Cabezal alimentador de las celdas de flotación,
		40		Celda No. 5
O M O	AEROFLOAT C-4	20	100	Cabezal alimentador de las celdas de flotación.
	NaCN	50	5	Cabezal alimentador.
	ZnSO <sub>4</sub>	400 100	10	Cabezal alimentador, celdas limpiadoras.
-----				
Z	AEROFLOAT C-4	4	100	Cabezal alimentador de las celdas de flotación.
I	NaCN	40	10	Celdas limpiadoras.
N	CuSO <sub>4</sub>	170	20	Cabezal alimentador de las celdas de flotación.
C	CaO	1.5 a 2.0 g./min. como polvo de cal química (90% CaO)		Cabezal alimentador.
-----				
F I	COMPLEX 122	135	5	Cabezal alimentador de las celdas de flotación,
		100		Celdas intermedias.
E	AEROFLOAT C-4	11	100	Cabezal alimentador de las celdas de flotación.
R	CuSO <sub>4</sub>	110	20	Cabezal alimentador.
R				
O				

CONSUMO DE AGUA EN LA PLANTA DE BENEFICIO DE LA MINA DE LA PAZ.

ETAPA DEL PROCESO	CORRIENTE	% EN LA MEZCLA	MASA DE AGUA Ton/día	OBSERVACIONES
TRITURACION	Pb-Zn-Fe	1.0	5.16	Para evitar la <u>e</u> misión de polvos durante la tritu- ración.
	Cu	1.0	5.45	
MOLIENDA	Pb-Zn-Fe	64.65	943.28	Formación del <u>lo</u> do mineral.
	Cu	61.61	864.60	
MANEJO Y FILTRADO DEL CONCENTRADO	Pb	50.00	13.71	Barrido de las - espumas y trans- porte hasta la - llegada a los -- filtros.
	Zn	50.00	10.26	
	Fe	40.00	27.90	
	Cu	40.00	17.69	
USOS GENERALES EN LA PLANTA		- -	60.00	Servicios

---

MASA DE AGUA UTILIZADA EN LA CORRIENTE Pb-Zn-Fe = 1,000.31 T/D  
 MASA DE AGUA UTILIZADA EN LA CORRIENTE Cu = 887.74 T/D  
 MASA DE AGUA DE SERVICIOS GENERALES EN LA PLANTA = 60.00 T/D  
 MASA TOTAL DE AGUA CONSUMIDA EN LA PLANTA = 1,948.05 T/D

REFERENCIAS

- (1) GOMEZ VELASCO, Ing. Marcelino, "Enfoques Humanos", ----  
"Mesa Redonda Contra la Contaminación --  
del Río Lerma", Rev. IMIQ, Vol. XIII, --  
No. 1, 1972, pags. 8-9.
- (2) ROVIROSA WADE, Leandro, Palabras pronunciadas por el Se  
cretario de Recursos Hidráulicos en la -  
Inauguración de la Mesa Redonda Contra -  
la Contaminación del Río Lerma, Rev. ---  
IMIQ, Vol. XIII, No. 1, 1972, pag. 13.
- (3) VILLAGOMEZ A., Ing. Braulio, GARCIA LUNA, Ing. Miguel A.  
"Muestreo y Análisis", Rev. IMIQ, Vol. -  
XIII, No. 1, 1972, pag. 66.
- (4) JAMES SMALLEY, Dr. Ian; SIDNEY TAYLOR, Dr. R.L., "Loess-  
the Yellow Earth", Science Journal, Volumen  
6, No. 2, 1970, pag. 28-32.
- (5) BRAWNER, P., Eng. C.O., CAMPBELL, P.Eng. D.B., "The Tai  
ling Structure and Its Characteristics",  
Tailing Disposal Today, First International  
Tailing Symposium, Tucson Arizona, Octu-  
bre 31 a Noviembre 3 (1972)
- (6) C. SCOTT, Ph. D. Ewing, KANDA, Ph.D. Frank A., "The Natu-  
re of Atoms and Molecules", Harper & Row,  
4th Ed., 1965, Cap. 14, pag. 378.

## CAPITULO II

### CONSTRUCCION DE PRESAS DE ASENTAMIENTO DE JALES.

La necesidad de encontrar una forma segura de disponer de los residuos de los procesos de flotación ("jales") y los imperativos que lo obligan a buscar medios de almacenamiento seguro de tales residuos son actualmente de gran importancia para las evaluaciones de la rentabilidad de los diversos procesos hidrometalúrgicos que, no obstante ello, conservan su primacía de excelentes perspectivas al futuro.

Tres son los motivos de preocupación para la búsqueda de formas adecuadas para el desecho de los "jales" (1):

- a) Los reglamentos en materia de prevención de contaminación de el ambiente,
- b) La posibilidad de daños a propiedad ajena o a terceros y
- c) La posibilidad de reprocesamiento de los "jales".

Dependiendo del país, zona geográfica o perfiles económicos de la producción, estos tres factores intercambian posición en la jerarquía que se les asigna en la política de la empresa. Por ejemplo, un país que tenga abundancia de depósitos grandes de agua o tiene unidades de producción aledañas a playas, dispondrá de ellas como recipientes de sus residuos industriales sin afectar apreciablemente la potencialidad económica latente en tales depósitos de agua (ésta es al menos la evidencia vigente a corto y mediano plazos). Una unidad de producción instalada en una zona poco poblada o en una zona poco fértil, no tendrá serios problemas en la instalación de un depósito de residuos en el lugar más próximo a la planta concentradora; la posibilidad de daños a terceros es mínima o a muy largo plazo. Por último, si los productos mineros que explota cierta empresa mantienen un continuo incremento de precio en el mercado internacional o se pronostica la posibilidad de nuevos usos de ~~pongamos~~ por caso- los meta

les de transición, las empresas productoras verán tal vez la posibilidad de explotar ciertas reservas de mineral de baja ley y muchas de tales compañías contarán entre tales reservas a sus depósitos de "jales", (7).

Cuando en un país se reglamenta la disposición de los desechos industriales y las medidas contra la contaminación se comienzan a aplicar, es cuando los factores que mencionábamos al principio adquieren el orden en que se enunciaron. Hasta entonces se inician las discusiones y estudios sobre las formas consideradas "seguras" y se decide cuáles resultarán aceptables. Sin embargo, algunas de tales formas "seguras" son objeto hasta la fecha de prolongadas discusiones a nivel mundial, ya sea porque afectan grandes intereses económicos o porque aún no se han podido precisar satisfactoriamente los efectos que pudieran causar en la práctica algunas de estas medidas.

Ejemplos de ello son:

- a) El bombeo de residuos al fondo de los grandes depósitos de agua (mar, lagos, lagunas, etc.)
- b) El vaciado de desechos en ríos, arroyos, lechos "secos", canales de desagüe, drenajes urbanos, etc.
- c) La inyección de residuos industriales al subsuelo o su depósito en recipientes subterráneos o superficiales (naturales y artificiales).

En general, las medidas preventivas a que deben someterse los efluentes de desechos industriales son:

- 1) Neutralización de los desechos ácidos o alcalinos.
- 2) Tratamientos físicos primarios, secundarios y auxiliares para la disminución de materiales en suspensión, flotantes

o susceptibles de precipitar de algún modo en su caudal.

- 3) Tratamientos físico-químicos para la inhibición, destrucción o eliminación a un nivel tolerable de productos tóxicos para la flora, fauna, o la vida humana.
- 4) En los casos extremos en que no sea práctico o posible la eliminación posterior de ciertos productos se estudian las alternativas de producción que son generalmente:
  - a) Modificación de las condiciones de operación en el proceso.
  - b) Sustitución de los aditivos químicos responsables de la contaminación por otros que sean más fáciles de eliminar o sean inofensivos.
  - c) Modificación de los tratamientos químicos anticontaminantes para mejorar su eficacia.
  - d) Modificaciones al diseño de la planta en las partes que resulten responsables de la contaminación.
  - e) Sustitución del proceso que resulte contaminador por otro más fácil de controlar en cuanto a contaminación se refiere.

Los países con tecnología avanzada renuevan continuamente sus procesos en aras de un mayor rendimiento económico, y -recientemente- tomando en cuenta las restricciones que las leyes les imponen para el control de la contaminación. Los problemas que afrontan esos países son de índole distinta y a otra escala económica que los que afectan a países con menor capacidad tecnológica, como México, que junto con los demás países carentes de tecnología propia, se ven en la necesidad de comprar técnicas y procesos de elaboración, que las potencias industriales ya han desechado por obsoletos. En consecuencia, si parte de esa obsolescencia es debida a la dificultad de su control anticontaminante, el país que adquiere tales procesos se ve obligado a afrontar soluciones de con---

trol anticontaminante que van en detrimento de su limitada economía, (5) (6).

La empresa cuyo problema abordamos, decidió hace -- tiempo almacenar sus "jales", depositándolos en una estructura formada por la sedimentación de sus sólidos en suspensión; llamada "presa de jales", que es la forma más común y económica de disponer de estos desechos. Sin embargo, se ha enfrentado a problemas de desmoronamiento de la estructura y a filtraciones de agua al subsuelo (donde se encuentran parte de -- sus áreas de producción minera) y es lo que vamos a estudiar a continuación para evitar las causas principales de la contaminación por tales motivos.

#### REQUISITOS GENERALES DE PLANEACION Y DISEÑO. (2)

2 La presa de jales deberá ser diseñada para poder -- permanecer estable no solamente durante su período de construcción y operación sino además para mucho tiempo después. Debe tener capacidad suficiente y tener los medios de control adecuados para manejar los flujos que se generan por el resumiendo a su interior de los fluidos descargados en su parte superior. Con ello se evitará la contaminación de terrenos adyacentes y se evitará la formación de canalizaciones.

Para minimizar el costo de las estructuras de contención de la presa se deberá emplear la alternativa más económica. Esta generalmente involucra la utilización de materiales adyacentes al sitio o a los propios jales en la conformación de la presa.

La construcción en etapas es recomendable debido a que se minimiza el costo inicial y se difiere en un plazo más cómodo el costo de construcción y mantenimiento.

Entre la información básica que se requiere al principio, está la del conocimiento detallado de las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los jales, pues ellos formarán prácticamente el 100% de la estructura. Datos tales como esfuerzo de corte, ángulo de reposo, consolidación, permeabilidad, sedimentación y otras características de construcción deberán ser evaluados. Asimismo, su composición química en un momento dado servirá para evaluar sus posibilidades de explotación por zonas en la presa o bien para estimar costos o pasivos. Su composición química nos dará un índice de su potencialidad contaminante.

Será necesario recabar información exhaustiva sobre las condiciones generales prevalecientes en los sitios escogidos como serían:

- a) Condiciones climatológicas.
- b) Geología, hidrología y topografía.
- c) Leyes o restricciones de índole diversa.

En el diseño se deberán tomar en cuenta:

- a) Capacidad de almacenamiento requerida,
- b) Capacidad de operación máxima,
- c) Condiciones extremas del clima,
- d) Probabilidades de que ocurran sismos.

Para el control químico para prevenir la contaminación del ambiente se deberán considerar:

- a) Composición mineral de los "jales",
- b) Concentración residual de los aditivos químicos del proceso,
- c) Erosión provocada por los vientos y por precipitaciones pluviales,
- d) Métodos, límites y características necesarias para la reha



bilitación del terreno una vez que cesen las actividades -  
mineras de almacenamiento en la presa de "jales".

#### METODOS DE CONSTRUCCION DE LA PRESA DE JALES.(4)

Previamente a la planeación y diseño de la presa, -  
debemos de familiarizarnos con los métodos de construcción de  
dichas instalaciones, para saber sus características y limita  
ciones, además de las ventajas que ofrecen los tipos de pre--  
sas así formadas.

Los materiales empleados para la cimentación deberán  
ser seleccionados para optimizar el más bajo costo y las carac  
terísticas de estabilidad e impermeabilidad necesarias. Se -  
deberán aprovechar al máximo los materiales que sirvan para -  
cimentación que existan en las cercanías del terreno donde se  
construirá la presa. Ello permitirá la aplicación de los pro  
cedimientos estandarizados de construcción de presas de tie--  
rra, o de tierra y piedra, tomando en cuenta las desviaciones  
que surjan por el empleo de "jales". La unidad de peso de --  
"jales" 100% saturados de agua es considerablemente mayor que  
la unidad de peso del agua (basados en la misma unidad de vo  
lumen) así que cuando se depositan los "jales" en la pared cor  
riente -arriba de la presa, las lamas (parte fina de los "ja  
les") tienden a formar un sello moderadamente impermeable en  
tal sitio, el cual deberá ser tomado en cuenta al considerar  
las cargas a que se someterá la estructura y para el cálculo  
de la capacidad de almacenamiento de agua en la laguna de a--  
sentamiento que se formará en la meseta que se generará en la  
parte superior de la presa.

Cuando se empleen los propios "jales" en la cons--  
trucción de la estructura, se deberán separar las fracciones  
finas de estos lodos, pues éstas son inadecuadas para tal fin  
debido a su bajo valor de esfuerzo cortante y a su alta com--  
presibilidad.

Dos métodos de separación se emplean generalmente:

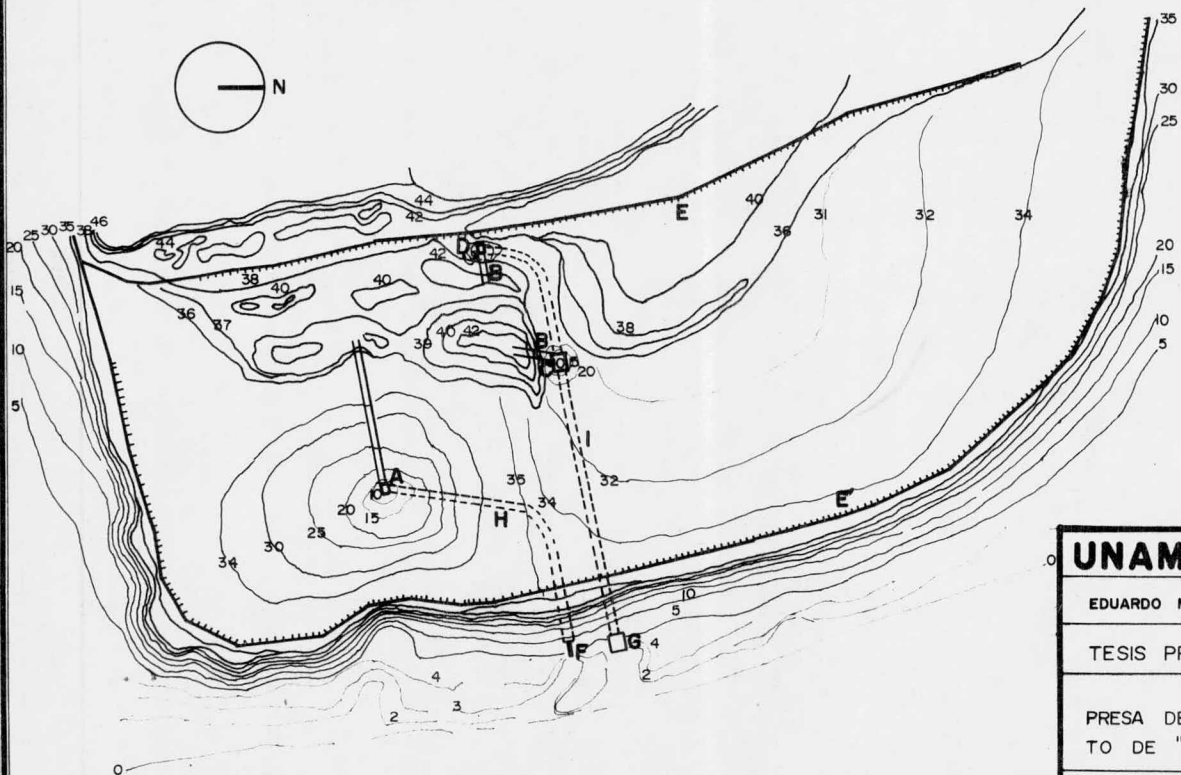
- a) Vaciado y dispersión por medio de un cabezal distribuidor,
- b) Selección y distribución por medio de "ciclones".

En el primer caso los lodos son dispersos en la pendiente de la pared corriente-arriba de la presa a través de las diversas salidas de un cabezal distribuidor para el caso. De este modo, la fracción de particular de mayor grosor se depositará en la parte más cercana del punto de descarga y las restantes se irán asentando progresivamente hacia el centro de la presa conforme su tamaño es menor. Como resultado de esta variación gradual, la densidad, esfuerzo cortante y permeabilidad de los sólidos asentados va decreciendo con el incremento en distancia al punto de su descarga. Debido a las características que ya mencionamos de las lammas, es práctica comunmente recomendable dispersar "jales" en la pared corriente-arriba de la presa, con ello se impide la infiltración de agua a través de la estructura, lo que contribuiría a su debilitamiento.

En el segundo caso, el empleo de ciclones nos provee de arena con un 10-20% de partículas que pasan la malla 200. Este porcentaje varía de acuerdo con el valor que se tenga en la salida de los molinos, el tamaño del ciclón y la velocidad a la que se encuentre operando éste. Si se requiere de una mayor selectividad de los "jales" para obtener una fracción gruesa más pura, se deberá hacer pasar el efluente del ciclón a través de otro.

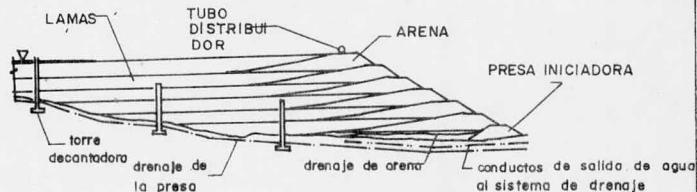
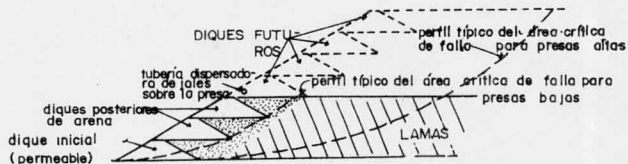
Cuando los "jales" son empleados para la construcción existen tres métodos que han resultado prácticos para tal fin:

- a) Método de construcción por dispersión corriente-arriba.
- b) Método de construcción por dispersión corriente-abajo.
- c) Método de construcción por dispersión desde una línea central.

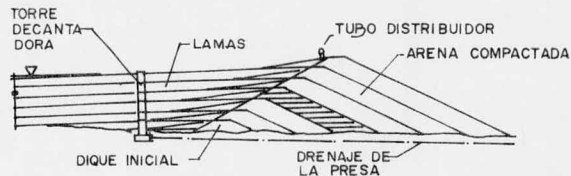
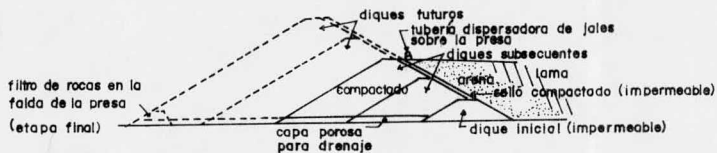


- A.-DECANTADOR ANTIGUO
- B.-PASILLO
- C.- DECANTADOR ACTUAL
- D.- DECANTADOR FUTURO
- E.- TUBERIA DISTRIBUIDORA
- F.- COLECTOR ANTIGUO
- G.- COLECTOR ACTUAL
- H.- CAÑERIA SUBTERRANEA ANTIGUA
- I.- CAÑERIA SUBTERRANEA ACTUAL

<b>UNAM</b>	<b>FAC. DE C. QUIMICAS</b>
EDUARDO MANUEL DE LA CRUZ MALDONADO	
TESIS PROFESIONAL	<b>7</b>
PRESA DE ASENTAMIENTO DE "JALES"	
ESCALA 1:1250	1977



### METODO "PENDIENTE ARRIBA"



### METODO "PENDIENTE ABAJO"



### METODO COMBINADO

**UNAM**

FAC. DE C. QUIMICAS

EDUARDO MANUEL DE LA CRUZ MALDONADO

TESIS PROFESIONAL

FORMAS DE CONSTRUCCION DE  
PRESAS DE ASENTAMIENTO -  
DE "JALES"

8

1977

Mediante el método "corriente-arriba", la construcción de la estructura comienza con la formación de un dique o muro de contención a lo largo del perímetro que limita el tamaño de la presa. Este dique deberá ser lo suficientemente permeable al agua para permitir el drenaje del agua infiltrada. La pared cuesta abajo de la presa (colina) deberá tener la pendiente y características de resistencia apropiadas para evitar desmoronamientos y canalizaciones. Comienza la descarga de los "jales" de la parte superior del dique hacia dentro del área generada dentro del perímetro y una vez que se establece la pendiente, comienza a elevarse la colina, prosiguiendo el derrame hacia el centro. Al alcanzar la presa su altura máxima calculada, ella no deberá ser rebasada, pues ello implicaría problemas de contaminación, al llevar arrastre de "jales" al drenaje efluente de la presa, del cual hablaremos más tarde. (Ver fig. 8)

Con el método corriente-abajo, se parte de un dique situado en la parte central del área destinada para la presa, que envolvería al área mínima de asentamiento de los "jales". Cuando se llega a rebasar la cima del dique, comienza a desplazarse el punto de descarga hacia el exterior del dique, el cual debe ser impermeable para evitar la infiltración hacia las futuras capas de material grueso que irán conformando la pared y el basamento de la presa. Se requiere que este dique se construya con material distinto al de los "jales", que sea rico en cieno y arcillas. Si se llegara a emplear el lodo de los "jales", deberá usarse solo la fracción gruesa en la elaboración del dique original. En la parte exterior del dique, sobre el terreno donde se continuará la presa, se deberá colocar una capa de material permeable al agua de un mínimo de un metro de altura, o algún sistema eficiente de drenaje para evitar el encierro de agua, la cual reduciría el valor de esfuerzo cortante en dichos sitios. Si la presa se localiza en alguna zona de alta probabilidad de sismo o su altura excede los 15 metros, se deberá compactar mecánicamente las subse---

cuentas capas corriente-abajo. Los jales en todo caso deberán ser llevados hasta la cima y allí dispersos en capas delgadas, para su compactación inmediata. El costo de la compactación no resulta antieconómica si consideramos que la compactación de la pared corriente-abajo nos permitirá erigir una colina más escarpada, lo cual a su vez reducirá considerablemente el tamaño de la presa. Para minimizar la infiltración, el lado corriente-arriba de la presa deberá sellarse. Una forma económica para realizar esta operación es la de agregar capas de arcilla esporádicamente. (Ver fig. 8)

Cuando se emplea el método de construcción desde una línea central, se parte de un dique impermeable como en el caso del método corriente-abajo, colocado en un punto semejante al de dicho método. También la dispersión de los jales es similar en su forma a la del método anterior, solo que aquí la selección de la fracción gruesa de los "jales" es determinante y se deberá hacer con bastante eficiencia, para distribuirla preferentemente en la pared corriente-abajo y en una especie de anillo que se irá generando con la compactación mecánica que se irá efectuando continua e inmediatamente después de la dispersión. El efecto de la compactación será que la pared corriente-arriba de la presa tendrá una inclinación prácticamente nula conforme la presa va creciendo de altura. Como en el método anterior, se deberá colocar una capa de material permeable fuera del dique para permitir su drenaje o bien algún sistema de canales que nos den el mismo efecto. (Ver fig. 8).

En todo caso que la presa se forme con una dispersión corriente-abajo deberá compactarse mecánicamente.

### PLANEACION Y DISEÑO. (3)

Antes de la elaboración del diseño de una presa de jales, otros estudios han sido terminados ya. Entre ellos se

incluye a los que corresponden a las capacidades a manejar --  
diariamente y anualmente en la planta de beneficio del mine--  
ral, en todo lo que a minerales y agua se refiere, como por e  
jemplo:

- a) Volumen de mineral en bruto a ser tratado diaria y anual--  
mente.
- b) Tamaños de partícula de mineral que se manejan en las dis-  
tintas etapas del proceso.
- c) El volumen del cuerpo mineral a explotar, para estimar la  
masa de jales que producirá.
- d) La probable distribución de tamaños de los "jales"
- e) La probable explotación de los "jales" ya almacenados.
- f) El equipo de mantenimiento y conservación.
- g) La selección del lugar y el costo de preparación del terre-  
no.

Un estudio preliminar de mapas topográficos y de fo-  
tografía aérea indicará las áreas potencialmente útiles para  
el almacenamiento de los "jales". Asimismo se deberá recabar  
información sobre las condiciones climatológicas normales y -  
extremas, corrientes pluviales y relaciones de evaporación.  
Se deberán establecer mediciones de todos los parámetros con  
la debida anticipación. Del mismo modo, se deberá realizar -  
un estudio geológico de las zonas potencialmente útiles.

En cada sitio se presentarán situaciones que habrá  
que estudiar comparativamente como son:

- a) Altura contra capacidad de almacenamiento (anual y total)
- b) Riesgos de contaminación.
- c) Posibilidades de acceso para el caso de su explotación.
- d) Condiciones del terreno y del subsuelo.
- e) Estabilidad de la presa proyectada.

C O N C L U S I O N E S .

1. El incremento en los costos de explotación minera ha motivado a las empresas del ramo a incrementar su capacidad de producción. Lo anterior implica necesariamente un aumento en la capacidad de almacenamiento de las presas de "jales".
2. Las actividades que se desarrollan para disponer de una manera segura de los "jales" no rinden ninguna ganancia, por consiguiente el costo de construcción, mantenimiento y control de la estructura debe ser el mínimo, pero consistente, con los requisitos de seguridad y prevención de la contaminación.
3. Los programas de construcción de presas de "jales" en general resultan más económicos cuando se emplean en la obra, la fracción más gruesa de los "jales" como principal ingrediente de los materiales de estructuración.
4. Por los efectos observados a nivel mundial en las presas de "jales" construídas a base de la simple dispersión de los lodos en la pared superior de la presa, no resulta segura la estructura debido a que los sólidos sedimentados tienen bajos valores de densidad y de esfuerzo cortante, por lo que serán sujetas al fenómeno de licuefacción bajo condiciones de vibración artificial o por ondas sísmicas, bien sea que estos sedimentos se encuentren en su punto de saturación de humedad o bien cuando se encuentran muy secos.
5. Para presas de "jales" de alturas superiores a 15 metros, o para aquellas que se construyan en áreas de alta probabilidad de ocurrencia de sismos, se recomienda el método de construcción de "adentro a afuera", además de que la cara exterior de la presa debe ser compactada mecánicamente.



REFERENCIAS

- ( 1 ) CAMPBELL, D. B. & BRAUNER, C.O., "The tailings dam - An Engineered Structure", Western Miner, - Vol. XXX, No. 4, abril de 1971.
- ( 2 ) SHERARD, J.L., WOODWARD, R.J., GIZIENSKI, S.F. & CLEVENGER W.A., "Earth and Earth Rock Dams", - John Wiley and Sons, Inc. New York, 1963.
- ( 3 ) VOLPE, R.L. & WAHLER, W.A., "Strength of Anisotropically Consolidated Mine Tailing Materials - Under Dynamic Loading", Documento de la Sesión Especial sobre Dinámica de Suelos, --- "SEPTIMA CONFERENCIA INTERNACIONAL SOBRE MECANICA DE SUELOS E INGENIERIA DE CIMENTACIONES", México, D.F., abril de 1969.
- ( 4 ) BRAUNER, C.O., CAMPBELL, D.B.; Golder, Brauner & Associates Ltd, Vancouver, Canadá; "The Tailing Structure and its Characteristics - A Soils Engineer's Viewpoint", Tailing Disposal Today, World Mining Book, Miller Freeman Publications, Inc, San Francisco, California, U.S.A. (1973).
- ( 5 ) DE LA PARRA, Ing. Carlos, "CONTROL DE LA CONTAMINACION AMBIENTAL Y DESENTRALIZACION INDUSTRIAL", - Rev. IMIQ, Vol. XVI, No. 3, Marzo 1973, Pag. 60.
- ( 6 ) AHUMADA, Ing. Guillermo, "IMPACTO ECONOMICO", Rev. IMIQ Vol. XIII, No. 1, Enero 1972, Pag. 58.
- ( 7 ) COVARRUBIAS O., Ing. Felipe, "FINANCIAMIENTO", Rev. IMIQ, Vol. XIII, No. 1, enero 1972, pag. 74.

### CAPITULO III

#### MUESTREO Y ANALISIS

En los últimos años se ha desatado una retórica --- "técnico-política" acerca del problema de la "degradación general del medio ambiente" en los países de tecnología avanzada, principalmente en U.S.A., que ha llevado el sentir gubernamental al grado de aplicar reglamentos muy estrictos sobre el particular. Debemos analizar y ponderar razonadamente, la disponibilidad de los recursos de nuestra económicamente limitada industria, para la solución de los diversos problemas de contaminación que le aquejen, pues nuestra industria no dispone ilimitadas formas de solución, de aplicación de recursos económicos, técnicos y humanos, de las que pueden hacer uso -- los países altamente industrializados, (9) (10).

En la planeación y desarrollo de un programa para el control de la contaminación, intervienen cuatro factores, los cuales deben de complementarse entre sí para aportar una solución práctica al problema, a saber:

1. Economía local, regional, nacional e internacional.
2. Tecnología propia y adquirida del extranjero disponible.
3. Nivel educativo y sociopolítica del grupo humano afectado por el problema.
4. Legislación existente sobre la materia, reglamentación y vigencia de sus erunciados. Reformas existentes o previstas en tales normas y su racionalidad respecto de la capacidad técnica-económica de las industrias del ramo y del país.

Para poder visualizar la magnitud, gravedad y complicaciones del problema de contaminación es necesario iniciarlo con un programa de MUESTREO Y ANALISIS bien planeado.

En la actualidad hay una gran diversidad de técnicas analíticas y de muestreo con distintos grados de precisión y costo.

## M U E S T R E O

### Generalidades

El muestreo tiene como objeto obtener una porción - del agua contaminada, de un volumen conocido y manejable para ser analizado en un laboratorio o en el mismo sitio, según la técnica analítica de que se trate. Tomando en cuenta diversos criterios de localización, como se verá más tarde, se localizan los puntos de muestreo para obtener con ellos muestras -- del fluido que sean representativas, (7) (8).

### Localización de las estaciones de muestreo.

El inicio del muestreo se tiene con el estudio de la zona en donde se reúne, o por donde fluye el agua contaminada. Por medio de las técnicas que enseguida daremos, se determi-- nan:

- a) Sitios de mayor concentración de contaminantes.
- b) Sitios en donde las variaciones de concentración se detectan con mayor sensibilidad.
- c) Zonas de reacción, depósito, etc. de contaminantes.

Este estudio se basa en la evaluación del grado de contaminación de las descargas, tomando en cuenta tipo de con taminantes y régimen de flujo; su procedencia, destino y usos del caudal. Información auxiliar puede ser necesaria como es tadísticas urbanas, agrícolas, industriales, geográficas, etc.

Una vez determinadas las zonas de muestreo, se seleccionan las estaciones de muestreo, tomando en cuenta las ca-- racterísticas topográficas que alteren bruscamente el movi-- miento del caudal, diluciones o concentraciones. En tales -

casos se fijarán estaciones antes y después de accidentes topográficos. Se pondrán estaciones en donde se tengan descargas de agua residual y afluentes. Las distancias entre estaciones, se determinan según el lugar, escogiéndose aquellos puntos cuya turbulencia permita obtener muestras homogéneas y representativas.

Deberá buscarse la accesibilidad a aquellos puntos de muestreo que estén abruptos, escondidos o peligrosos de alguna manera.

Técnicas generales de muestreo.

Se han encontrado diferentes tipos de muestreo, de acuerdo a los objetivos que se persigan y ellos son:

- a) Muestreo Simple.- Consiste en la toma de una sola muestra del agua en un sitio seleccionado convenientemente. La información química o físico-química que nos puede brindar, se limita a las condiciones prevaletes en el caudal, o en el depósito de agua en el sitio y en el momento en que fue tomada dicha muestra.
- b) Muestreo Promediado.- Varias muestras simples son tomadas en intervalos definidos de tiempo, y en un mismo sitio, a la misma profundidad y de ser posible utilizando un período de tiempo fijo para tomar la muestra. Los resultados numéricos de cada determinación química obtenidos de las distintas muestras, se promedian aritméticamente. El resultado es un VALOR PROMEDIO limitado al tiempo y condiciones en que se tomó. Pueden considerarse otros valores promedio, fijando el tiempo de muestreo, los intervalos de esta operación y el punto de muestreo, variando, por ejemplo, la profundidad de la toma. Esto nos permitirá dado el caso, optimizar este valor promedio.

- c) Muestreo Compuesto (según su volumen).- Es el que se realiza mezclando varias muestras simples de igual volumen, pero tomadas a intervalos fijos de tiempo, y con tiempo de toma de muestra fijo. La información obtenida de esta muestra es un valor promedio más preciso. Esta técnica se aplica a sistemas cuya composición de solutos es la misma siempre, cuando el tiempo no afecta prácticamente la constitución de la muestra, o para sistemas en que el tiempo afecta ligeramente su estado, pero en los cuales esto puede ser inhibido con fijadores químicos, o mediante una determinación y toma de muestra más rápida.
- d) Muestreo Promediado (según la masa de contaminantes).- Se efectúa mezclando varias muestras tomadas en una cantidad proporcional al gasto de agua del efluente contaminante, o del caudal una vez contaminado. También puede tomarse como base la masa de desperdicios industriales que se tira por día en lugar de su concentración química. Como en la técnica anterior, la presente se aplica tanto a aguas negras como a las de desecho industrial. Un dato que puede ser obtenido con esta técnica es precisamente la masa de contaminantes, con la cual podemos evaluar la acumulación de contaminantes inertes a los procesos de descomposición natural de un ecosistema dado, o del rendimiento de un proceso de purificación.

Las técnicas se aplicaron en la siguiente forma: (9)

#### OBJETIVO

#### TECNICA DE MUESTREO

- |  |  |
|--|--|
| 1. Conocimiento del problema, características del caudal y reconocimiento de los efectos del tratamiento químicos o físico-químicos. | Simple y promedio al principio. Simple y compuesto (Vol.) programado para observar fluctuaciones con y sin tratamientos. |
| 2. Características del efluente de la presa de jales al  | Simple, promedio y compuesta mediante programa, según la e   |

OBJETIVO

TECNICA DE MUESTREO

- |   |   |
|---|---|
| arroyo y canal de desagüe.  | tapa del proyecto.  |
| 3. Conocimiento de la calidad del agua de desecho industrial en los efluentes o descargas de la planta. | Muestreo simple y promediado, y muestreo compuesto según la masa de contaminantes.                                      |
| 4. Para las consideraciones del diseño preliminar del tratamiento.                                      | Series de muestras simples y mediciones del gasto susceptible de recuperar teóricamente.                                |
| 5. Para diseño final del equipo de tratamiento.   | Muestras compuestas según su volumen, mediciones de flujo, pH o los parámetros determinantes de la calidad del proceso. |

Intervalo de tiempo entre el muestreo y el análisis.

Es imposible dar una regla general que indique el tiempo máximo tolerable entre el muestreo, y la determinación de una propiedad determinada, pues depende de la estabilidad de la propiedad a determinar, del método de análisis empleado, de la localización del laboratorio respecto al sitio de muestreo, y de las condiciones de almacenamiento en que la muestra puede ser conservada. Esto implica un estudio de tiempos y movimientos, y de encontrar un punto económicamente equilibrado para decidir el número de muestras óptimo, los métodos y técnicas analíticas convenientes, y los recursos auxiliares para su conservación y transporte. En general se sugieren los siguientes ( 8 ) tiempos máximos de almacenamiento en condiciones óptimas recomendables de conservación:

Aguas no contaminadas:	72 hrs.
Aguas ligeramente contaminadas:	48 hrs.
Aguas contaminadas:	12 hrs.

Se recomienda así mismo indicar el reporte de laboratorio para referencia, además del método o técnica analítica, tipo de conservador (preservativo) y condiciones de almacenamiento, el tiempo transcurrido entre la toma de muestra, y el análisis.

Equipo de muestreo.

Este dependerá primordialmente de las condiciones físicas de la muestra, y de lo que vayamos a determinar con el análisis. La forma, tamaño, características del material y accesorios serán determinadas además por condiciones, distancias y métodos analíticos que se empleen. En todo caso el equipo deberá ser funcional, y sus condiciones de limpieza aceptables para el caso.

En general podríamos reseñar el equipo de muestreo clasificándolo según su utilidad principal de la siguiente forma:

<u>EQUIPO</u>	<u>UTILIDAD</u>
Recipientes esterilizados	Análisis químicos y químico-bacteriológicos (muestreo).
Recipientes limpios.	Análisis químicos (muestreo)
Mangueras de hule "latex" tubos de vidrio, conexiones diversas, cubetas.	Muestreo en general, pruebas "in situ", muestreo a distancia, muestras especiales, muestras gaseosas
Hielera y preservativos químicos.	Conservación de las propiedades físicas y/o químicas de las muestras.
Cajas con departamentos, empaques, soportes, gradillas y accesorios.	Pruebas "in situ", transporte de muestras y reactivos.
Instrumental de laboratorio	Pruebas "in situ".

## DISTRIBUCION DE TAMAÑOS DE LAS PARTICULAS DE UNA MUESTRA.

La distribución por tamaños de las partículas de una muestra es la descripción más completa de su constitución fraccionaria. Aunque aún no hay un acuerdo universal sobre las formas y métodos para establecer la mencionada distribución, las que más frecuentemente se usan son: (1)

- a) Determinación del porcentaje de material que excede o no un tamaño definido de tamiz por el que se le atraviesa. Los valores son reportados en forma gráfica o tabular como un porcentaje acumulativo del material que pasa o no un tamiz de "diámetro" fijado respecto del valor de dicho "diámetro".
- b) Determinación de la cantidad presente de cada tamaño en la muestra cuando ello resulta práctico o en su caso, de la cantidad presente entre un rango dado de tamaños. La gráfica o tabulación resultante es la relación de dicha cantidad contra los rangos sucesivos que se fijan para la selección del material.

Es común que se emplee como base la masa para definir los porcentajes pero, dependiendo del sistema que se estudie, resultará ocasionalmente más conveniente emplear otras bases de referencia como serían la frecuencia, el número de partículas, el volumen, etc. Por ello será necesario especificar la base sobre la que estamos haciendo el cómputo, las unidades de medida y los métodos y consideraciones tomadas para hacer la determinación pues, como ya dijimos, existen diversos métodos para ello, a saber:

GRUPO NO. 1 Técnicas en las cuales el tamaño de los corpúsculos de un material se mide directamente.

MÉTODOS MICROSCÓPICOS

MÉTODOS DE SEDIMENTACION (por gravedad o centrífugos)



## MÉTODOS DE DETERMINACIÓN EN LA CORRIENTE ("stream methods")

GRUPO NO. 2 Técnicas en las cuales la separación selectiva -- del material es un paso esencial en el proceso analítico.

### TECNICAS DE TAMIZACION

ELUTRIACION (por gravedad o centrífuga)

GRUPO NO. 3 Evaluación del área superficial del material a -- partir de estudios de adsorción.

### METODO DE FLUJO (Cromatografía de gases) DE GAS

### MÉTODOS ESTÁTICOS

GRUPO NO. 4 Caracterización del material a partir de estudios de permeabilidad.

### PERMEAMETROS DINÁMICOS

### PERMEAMETROS ESTÁTICOS

## ECUACIONES

Con base al comportamiento de las partículas de diversos sistemas estudiados experimentalmente se ha llegado a algunas fórmulas empíricas que, dicho sea de paso, pudieran -- describir eventualmente a un sistema dado. Cuando se trata -- de forzar a que un sistema quede encuadrado dentro del comportamiento de una función empírica se conduce a errores (2), -- (3). Se han propuesto las siguientes (4):

$Y = 1 - \exp - \frac{X^n}{X^r}$  DISTRIBUCION ROSIN-RAMMLER-BENNETT que nos puede representar una distribución con un pico en la curva diferencial.

$Y = \text{erf} \ln X/X^*$  DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD LOGARITMICA, de utilidad en estudios de Termodinámica Estadística.

$Y = \frac{X^m}{k}$  DISTRIBUCION GATES-GAUDIN-SCHUMANN, ventajosa por su simplicidad.

$Y = 1 - 1 - \frac{X^r}{X^r}$  DISTRIBUCION GAUDIN-MELOY, la cual llena satisfactoriamente una gran variedad de curvas de distribución que se encuentran en la práctica.

En donde:

$Y$  = Fracción del total del peso de las partículas del material en estudio que se circunscriben a un determinado tamaño o dimensión (varía numéricamente entre 0 y 1.0).

$X$  = Tamaño de las partículas considerado en un momento dado.

$k, X^*$  = Parámetros con dimensiones iguales a las del tamaño.

$m, n, r$  = Exponentes adimensionales.

$\text{erf}$  = Función de probabilidad normal.

= Parámetro de desviación estandar.

#### MEDICION DEL TAMAÑO DE LAS PARTICULAS.

Si se midiera por cualquiera de las técnicas que ya mencionamos la distribución de tamaños de un material compuesto de esferas duras y lisas, el resultado sería idéntico. Esto se desprende de la observación de los resultados y limitaciones que encontramos en las propias técnicas. Por ejemplo,

si hacemos pasar por una serie de tamices partículas en forma de cilindros, su diámetro ~~m~~ su longitud determinan el tamaño de la abertura a través de la cual pasaría. Por otra parte, si el mismo conjunto de partículas ahora se somete a un gsentamiento en un líquido viscoso, el diámetro de Stokes (calculado como el que equivale a una esfera del mismo material - que desciende con la misma velocidad en tal fluido) es el parámetro que determina el comportamiento del sistema. Consecuentemente, puesto que el diámetro de Stokes varía obviamente del valor verdadero del diámetro de las partículas cilíndricas, esta diferencia representa una información adicional necesaria en la descripción de la partícula. Por ello resulta que el caso del sistema de partículas esféricas, duras y lisas no representa el caso ideal sino el caso más degenerado y simple.

## MUESTREO

Un pre-requisito esencial en el análisis es el muestreo adecuado del material bajo estudio. Con frecuencia esto no ocurre debido a la poca información existente respecto al rendimiento de los diversos aparatos de muestreo que se ponen a disposición de las compañías. Un ejemplo de ello es el --- "riffler", artefacto en forma de "V" con una serie de conductos inclinados en su parte inferior, que dirigen su contenido hacia dos cubetas receptoras. Teóricamente el paso del material a través de este aparato divide al mismo en dos muestras idénticas. Sin embargo, la relación que exista entre la amplitud de los conductos y el diámetro de las partículas puede afectar la eficiencia del procedimiento (5).

Otro aparato es la mesa de muestreo, donde el material es sucesivamente mezclado y subdividido por una serie de obstáculos. Se ha demostrado que bajo ciertas condiciones la eficiencia del mezclado es mucho menor de lo que se pensaba - (6).

El "riffler" giratorio ha resultado ser muy eficiente (7). En este aparato, un anillo de recipientes de papel - rota bajo la alimentación del material en alguna toma de muestras. Si el material fluye por un período de tiempo prolongado en relación con el período de revolución del anillo, la muestra en cada uno de los recipientes se irá constituyendo - de muchas porciones pequeñas que han llegado de todos los puntos del caudal del material. La velocidad de rotación deberá mantenerse baja lo suficiente, para evitar la formación de corrientes de aire que pudieran provocar la pérdida de las fracciones de tamaño de partícula más fino. Un aparato de este tipo con veinte recipientes divide a una muestra en fracciones que representa 1/8000 del volumen original de la misma en solo tres pasadas de la muestra por el aparato.

#### REFERENCIAS

- (1) PERRY, Robert H.; Chilton, Cecil H.; Chemical Engineers' Handbook, 5th. Edition; McGraw-Hill Book-Kōgaku--sha, 1973, 8-3.
- (2) KAYE, Staub, March 1964.
- (3) KOTTLER, J. Franklin Inst., 250, 399, 419, 499 (1950); - 251, 617 (1951).
- (4) HARRIS, Trans. A.I.M.E., 241, 343-357 (1968); FARGERHOLT "Particle Size Distribution of Products Ground in Tube Mill", Gads Forlag, Copenhagen, 1945.
- (5) KAYE, Powder Met., No.9, 213-234 (1962).

- (6) "Analysis of Calcareous Materials", Publ. No.18, Society of the Chemical Industry, London.
- (7) KAYE, Powder Met., No.9, 213 (1962).
- (8) FRANCO, Z., Ing. Marco Antonio; "Técnicas de Muestreo y Equipo requerido para el Muestreo y Análisis Químico y Bacteriológico", Rev. Higiene y Seguridad Nov., Dic. de 1973; Ene, Feb., Mar. de 1974. --- (páginas suplementarias centrales).
- (9) GONZALEZ FRANCO., Ing. Eduardo, "Técnicas de Muestreo para la Determinación de Contaminantes en el agua" Rev. IMIQ, Vol. XVI, No.3, marzo 1975, pag. 36.
- (10) VILLAGOMEZ A., Ing. Braulio, GARCIA L., Ing. Miguel A.,- "Muestreo y Análisis", Rev. IMIQ, Vol. XIII, --- No. 1, enero de 1972, pag. 66.

## CAPITULO IV

### ACTUAL CONTROL QUIMICO DEL PROCESO

El proceso es observado químicamente cada 24 horas. En una jornada se analizan un promedio de 90 muestras de las distintas etapas del proceso que han sido tomadas en el transcurso de la jornada anterior. Los resultados se reportan simultáneamente a la gerencia y a la planta a las 17:00 horas - del día en que se analizan, de tal modo que desde el momento de la toma de muestra hasta que el resultado es evaluado ---- transcurren de 8 a 24 horas en las que se trabaja con tan solo las apreciaciones físicas de la calidad de la carga a las trituradoras, de la alimentación a los molinos, de la granulometría del lodo que fluye a las celdas de flotación, de la abundancia de espuma, de la elutriación cualitativa de mues---tras de concentrado y de las determinaciones colorimétricas - de pH. Esta serie de pruebas se realizan en la misma planta. La duración (entre el momento de la toma de muestra y la ob--tención del resultado) de estas pruebas es más breve en la --práctica que el tiempo que tardan las pruebas analíticas, así que sus datos permiten decidir la realización de cambios tentativos en las condiciones de operación, en tanto se obtiene mayor información.

Las razones que dan lugar a tan grave retraso en la determinación analítica de muestras de control de la planta - son de muy diversa índole; por ejemplo: la localización tan - distante del laboratorio, el sistema de trabajo del laboratorio y del personal encargado del muestreo en la planta, la -- falta de capacidad de proceso de un número cada vez mayor de muestras, enviadas por otros departamentos de la empresa.

El laboratorio de la empresa cada día se hace más - obsoleto a causa de sus métodos tan lentos de trabajo y de de terminación química. Los ensayos se realizan aún por vía seca (copelación en hornos) y por vía húmeda (gravimetría y ensaye a la gota). La distribución del trabajo entre el personal está sujeta a presiones de tradición, rutina y a una espe

cialización mal entendida. Además, el laboratorio debe analizar otras muestras cuyas determinaciones se distribuyen de la siguiente forma:

a) Desarrollo	27	determinaciones	aprox.	por	día.
b) Explotación	23	"	"	"	"
c) Minería	4	"	"	"	"
d) Lotes	14	"	"	"	"

El equipo e instrumental de trabajo se encuentra en su máximo de capacidad. El edificio y las instalaciones auxiliares son inadecuados e insuficientes para el actual número de pruebas. Se necesita una reestructuración del laboratorio en todos sus aspectos para que sea más eficiente el trabajo y sea mayor su capacidad, con el fin de que se puedan programar adecuadamente los muestreos de exploración de superficie y además se inicie el control de la contaminación del agua.

Hasta el momento de presentar este documento a su consideración, y probablemente durante un año más, el laboratorio de ensayos trabaja en paralelo con una nueva instalación que cuenta con un espectrofotómetro de absorción atómica y técnicas colorimétricas, realizando las mismas determinaciones cada quien con sus propias técnicas, con la finalidad de arrancar el costoso equipo adquirido, probar su eficiencia, entrenar al personal que se encargará de operarlo, establecer sus limitaciones de operabilidad, evaluar su rentabilidad y proceder por último a transferir la totalidad del control analítico proyectado para aplicarse enseguida. Más adelante se darán detalles que nos permitirán comparar y evaluar los cambios que se pretende realizar para efectuar un verdadero control de calidad de la producción, un control del proceso para incrementar su economía y el inicio del control de la contaminación.

Si se llega a realizar una de las proposiciones de

esta tesis -diversificar el uso del agua generada en las instalaciones- se necesitará controlar químicamente a los procesos de acondicionamiento y sus operaciones auxiliares si es - que quedan a cargo de la empresa.

## CONTROL GRANULOMETRICO DE LA MOLIENDA, CONTROL QUIMICO DE LA PRODUCCION DE LA MINA Y DEL BENEFICIO DEL MINERAL.

### Muestreo

La toma de muestras para el control granulométrico es en forma manual. Se efectúa esta operación dos veces al día en los efluentes de los 3 o 4 clasificadores que estén en operación. Es el único punto de muestreo de toda la sección de reducción de tamaño del mineral en la planta. En las secciones de trituración de cada una de las dos unidades de producción se hacen inspecciones visuales y al tacto periódicamente, observando la cantidad de mineral separado por las cribas de retorno a las trituradoras. Por otra parte, en la sección de flotación se toman muestras manualmente en cada uno de los circuitos alternativamente en las celdas de flotación primaria y en las celdas limpiadoras en los puntos de descarga del espumado. Allí mismo se hacen inspecciones auxiliándose se del disco lavador de arenas.

La toma de muestras para control químico de la producción minera se hace manualmente efectuando una selección al azar del material demolido con explosivos; haciendo cortes en un área de  $1 \text{ m}^2$  del hallazgo o efectuando una selección de lo almacenado en las tolvas para carga del mineral a los camiones que lo transportan hasta la planta, etc., dependiendo del origen de la muestra. El material seleccionado se mezcla por el método de "cuarteos", tomándose de ello una muestra selectiva que será la que se lleve al Laboratorio.



Este mismo procedimiento se emplea en la toma de --muestras de los lotes de producto terminado en la Planta de Beneficio, contenido en transportes de ferrocarril, los cuales son sondeados en zonas distintas y yuxtapuestas del material y a una profundidad intermedia, juntando después el material extraído y mezclándolo con el procedimiento ya mencionado. Por otra parte, las muestras de mineral que se está alimentando a cada circuito son muestreadas automáticamente con un aparato programado con mecanismo de tiempo el cual desvía durante un corto tiempo el caudal hacia un recipiente que con tiene la muestra global de la cual se tomará una representativa agitando profusamente el mineral apartado.

El tratamiento que reciben todas las muestras es de eliminación del agua y gases ocluidos que contengan por medio de un secado en estufas eléctricas entre 110 y 130°C. Se inspecciona el material para separar material extraño y al terminar el secado, la muestra se guarda en recipientes herméticos para ser transportado al Laboratorio, si se trata de muestras de control químico, o bien se somete a las pruebas físicas en el Laboratorio de la Planta que es donde se secan las mues---tras de la Planta de Beneficio exclusivamente.

A continuación se señalan los lugares de muestreo, el número de muestras que se tomaban, su destino, con el control antiguo.

<u>ORIGEN DE LA MUESTRA</u>	<u>UTILIDAD DE LAS MUESTRAS Y NUMERO DIARIO</u>		
<u>(muestras de mineral exclusivamente)</u>	<u>INSPECCION "IN SITU"</u>	<u>ANALISIS QUIMICO</u>	<u>ANALISIS GRANULOMETRICO</u>
Planta Beneficio	20	28	8
Exploración	20	1	0
Explotación	10	6	0
Geología de Explotación	<u>10</u>	<u>7</u>	<u>0</u>
<b>T O T A L E S</b>	60	42	8

Actualmente se está poniendo en práctica el nuevo programa de muestreo y control químico. Se implantó un programa de prueba y transición en el cual 2 veces al día se realizan pruebas de control del proceso (5:00 y 12:00 hrs.). El programa total futuro es de 4 veces por día, pero para ello se requeriría personal de turno ya que hasta la fecha el personal trabaja en horario diurno (8 a 13:00 hrs. y 14:00 a 17:00 hrs.).

Todas las operaciones se hacen simultáneamente para todas las muestras con un tiempo de:

Recopilación de las muestras = 1 hora.  
Preparación (secado) de muestras = 1.5 horas.  
Envasado y transporte de muestras = .5 horas.  
En consecuencia, el tiempo total de muestreo es 3 hrs.

Por otra parte, vamos a considerar el tiempo que se tardan en reportar los resultados del Laboratorio:

Mezclado y pesado de las muestras químicas	1.75 hrs.
Disolución, filtración y dilución del filtrado	1.00 hrs.
Determinación espectrofotométrica y reporte	.50 hrs.
Tiempo total de las determinaciones	3.25 hrs.
T I E M P O T O T A L ANALISIS QUIMICO:	6.25 hrs.

Consideremos que si ello fuera necesario el muestreo podría hacerse más frecuente que las 4 veces que serían de rutina, lo que requeriría del trabajo continuo de los muestreadores, los cuáles una vez terminado el secado de las primeras muestras, someterían a esa operación las siguientes, una vez tomadas. Así que trabajando el personal en turnos continuos podrían procesarse en casos de emergencia hasta 6 grupos de muestras consecutivas. Sin embargo, se ha estudiado el problema del control de operación desde varios puntos de -

vista, a saber:

- a) Considerando la destreza del personal.
- b) Considerando la localización del Laboratorio respecto a la planta.
- c) La justificación económica para tal programa.
- d) La posibilidad de incrementar el control en otros campos.
- e) El tiempo que tardaría en detectarse un cambio provocado - en las condiciones de operación para poder considerar que una determinación más frecuente fuera necesario.

En consecuencia, se considera que con una determinación del grupo de muestras cada 8 horas sería lo óptimo para muestras de "cabezas" y cada 4 horas en las de "flotación".

El programa actual es como sigue:

SITIO DE MUESTREO	MUESTRAS DIARIAS EN EL CIRCUITO DE:				
	COBRE	PLOMO	ZINC	FIERRO	INSOLUBLE
"CABEZAS" de lodo mineral					
Celda No.1 (flotación la).	3	3	3	3	3
Celda No.3 (No.5 en PLOMO) (flotación primaria)	6	6	6	6	6
Celda No.7 (flotación la.)	6	6	6	6	6
Celda Limpiadora No. 3	6	6	6	6	6
"Colas" (jales)	3	3	3	3	3

Nota: Los análisis de las muestras de "Cabezas", "Colas" y -- Celda Limpiadora No. 3 son completos (se determina todo el contenido metálico), los de las celdas intermedias - son parciales (se determina solamente Cu, Pb, Zn, Fe e insolubles).

DATOS DE LA PLANTA DE BENEFICIO

Leyes de concentrados

	Au	Ag	Pb	Zn	Fe	Cu
Conc. de Pb	2.73	5285	30.08	12.07	14.64	
Conc. de Zn	0.30	377	0.58	48.87	11.83	
Conc. de Fe	2.23	409	0.89	7.71	33.37	
Conc. de Cu	15.19	535				24.29

NOTA: Oro y plata en gramos por tonelada, los demás en %.

Contenidos en los concentrados.

Conc. de Pb	1.123	2173.45	123.75	49.66	60.21	
Conc. de Zn	0.092	115.94	1.78	150.48	36.42	
Conc. de Fe	2.804	513.82	11.17	96.76	418.91	
Conc. de Cu	12.092	426.02				193.33

NOTA: Oro y plata en Kg/mes, los demás en toneladas/mes.

Recuperaciones en los concentrados

Conc. de Pb	15.3	73.2	89.6	16.0	4.30	
Conc. de Zn	1.3	3.9	1.3	48.4	2.60	
Conc. de Fe	38.1	17.3	8.1	31.1	30.00	
Conc. de Cu	51.9	51.1				92.3

NOTA: Las recuperaciones están dadas en porcentaje.

Leyes de Cabezas

Cab. de Pb	0.49	196	0.91	2.06	9.24	
Cab. de Cu	1.44	52				1.30

NOTA: Oro y plata en g/ton, los demás en porcentaje.

Leyes de Colas

Colas de Pb	0.22	61	0.10	0.10	8.76	
Colas de Cu	1.07	22				0.11

Contenidos de cabezas

Cab. de Pb	7.350	2970.49	138.00	311.23	1398.25	
Cab. de Cu	23.306	834.30				309.57

NOTA: Oro y plata en Kg; los demás en toneladas.

Entradas promedio de mineral a los molinos.

Flomo	15321 ton/mes
Cobre	16183 ton/mes

Producciones mensuales

Conc. de Pb	411.280	453.000
Conc. de Zn	307.930	336.000
Conc. de Fe	1255.400	- - -
Conc. de Cu	796.080	886.000

NOTA: Son toneladas, la primera seca y la segunda húmeda.

Para nuestros propósitos el método más práctico y - conveniente para las aguas de desecho es el METODO ASTM-D510-68, publicado en el Vol. 23 de las normas de la AMERICAN STANDARD FOR TESTING AND MATERIALS, el cual cubre las necesidades para el muestreo destinado a:

1. Pruebas físicas o químicas
2. Pruebas biológicas
3. Determinaciones radioactivas
4. Análisis para control químico continuo.

El método tiene como campo de aplicación el muestreo de suministros de aguas industriales provenientes de: pozos, ríos, arroyos, lagos, océanos, etc. y que nos da detalles para fijar:

- a) Aparatos y materiales necesarios.
- b) Frecuencia y duración del muestreo.
- c) Muestras complejas.
- d) Ajuste de la temperatura de la muestra.
- e) Sólidos en suspensión.
- f) Volumen de la muestra.
- g) Punto de muestreo.
- h) Preparación de los recipientes de muestreo.
- i) Toma de muestra.
- j) Preservación de la muestra.
- k) Intervalo de tiempo entre la toma y el análisis de la muestra.
- l) Identificación y transporte de la muestra.

#### ANALISIS

En la programación del control químico se deben considerar los siguientes aspectos: (8) (9)

1. Determinar los puntos del sistema (incluyendo al proceso)

que necesitan ser controlados analíticamente.

2. Determinar cuales contaminantes requieren de control.
3. Determinar qué método se debe aplicar en la cuantificación de cada contaminante en particular.
4. Determinar la frecuencia necesaria para el control eficaz de cada contaminante en particular.

Para encontrar los puntos del sistema que requieren de control, se deberá estudiar el proceso particularmente en aquellos puntos en donde, por la naturaleza de la operación u proceso, se considere posible la existencia de pérdidas de materia prima de reactivos o de materiales auxiliares para el proceso y equipo (lubricantes, por ejemplo). Se deberán sesuir físicamente las distintas líneas de drenaje y las líneas de efluentes del proceso, así como estudiar los arroyos, ríos o lagos a donde se arrojen los desechos, antes y después de los puntos en donde se derramen. Esta etapa de rastreo debe ir acompañada de análisis como los que se describen en el siguiente párrafo.

Para determinar qué contaminantes requieren de control se deberán tomar muestras individuales del agua tal y como se recibe en la instalación, del agua tratada para los diversos servicios, del agua de las corrientes a donde se derramen los desechos y de las mismas corrientes una vez contaminadas (seleccioando los puntos que se indicarán más tarde) y realizar en todas ellas un análisis químico y químico-biológico completo. En función de los resultados obtenidos, la presencia de sustancias contaminantes en alguno de estos puntos --- principales, nos llevará a localizar con más precisión los -- puntos en donde ocurre la contaminación, mediante un muestreo más numeroso y detallado de la fuente contaminante o contaminada. Los análisis a realizar en primer término serán cuali-

tativos o semicuantitativos, y una vez encontrado un punto -- donde la detección sea más sensible, se harán los primeros análisis cuantitativos para establecer el rango de concentración de cada contaminante del agua.

Una vez conocida la composición completa del agua -- por controlar y su concentración se deberá dilucidar su nocividad y los límites que al respecto establecen los reglamentos oficiales. Con todo lo anterior estaremos en condiciones de establecer que contaminantes requieren de control químico.

El método para determinar, y controlar químicamente los contaminantes seleccionados, será escogido tras un estudio técnico que involucre a la diversidad de métodos existentes, de su costo, y por otra parte, la capacidad del personal destinado al control y las limitaciones económicas establecidas por el presupuesto de la empresa. En la selección del método se deberán tener presentes los siguientes factores:

1. Sensibilidad deseada.
2. Interferencias presentes.
3. Precisión y exactitud aceptables.
4. Rapidez y costo del análisis.
5. Número de muestras.

Este último punto, tiene relación íntima con el resultado de la determinación de la frecuencia del muestreo de los puntos ya escogidos para el control químico de la contaminación, y con el número de muestras ya existentes del control químico del proceso de nuestra planta, o de otra procedencia (en nuestro caso, de todas las demás instalaciones de la mina).

La determinación de la frecuencia de muestreo-análisis dependerá de un estudio de:

- a) Tipo de proceso y formas que contaminan el sistema.
- b) Frecuencia de descontrol en el proceso, y su efecto en la concentración de cada contaminante en los líquidos efluentes.
- c) Variaciones de flujo en las corrientes de agua en las cuales se vacían los desechos.

Para mejores resultados, se recomienda apegarse, mientras ello resulte práctico, al método ASTM-D1256-67 "Esquema para el análisis de agua industrial y agua en la solución del curso que pueda seguirse para determinar uno o todos los constituyentes o propiedades del agua en cuestión". En el anexo se enlista un extracto de los métodos de este modo recomendados.

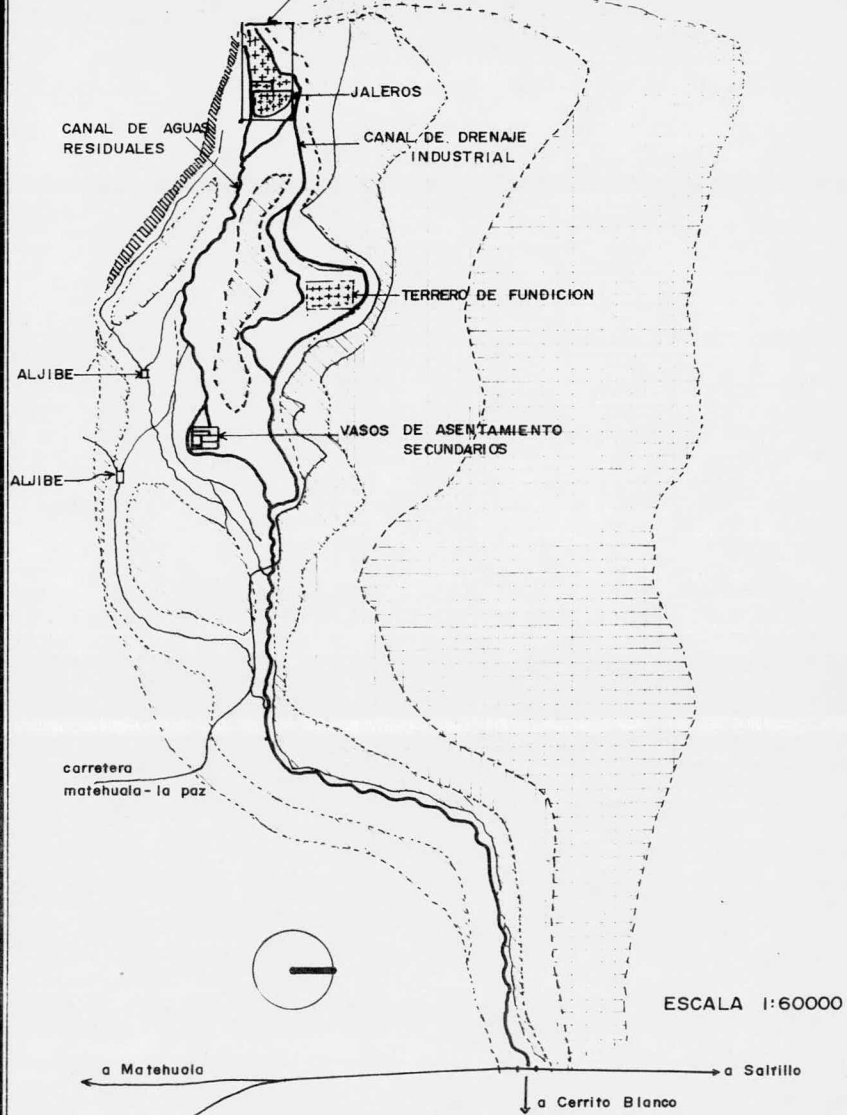
RELACION DE PUNTOS TOMADOS COMO REFERENCIA PARA LA DETERMINACION DEL PERFIL DE CONCENTRACION DE LOS CAUDALES DE AGUA EN EL MINERAL DE "SANTA MARIA DE LA PAZ".

- No. 1 Salida del sistema profundo de bombeo. Nivel 950.
- No. 2 Salida del sistema profundo de bombeo. Nivel 800.
- No. 3 Salida del sistema profundo de bombeo. Nivel 150.
- No. 4 Canal cerrado hacia la Planta de Beneficio, punto de muestreo situado a 20 m. del punto de descarga en la superficie.
- No. 5 Llegada del caudal a la Planta de Beneficio, 100 m. antes del tanque de almacenamiento.
- No. 6 Tanque de almacenamiento de agua.
- No. 7 Descarga de la bomba a la salida del tanque de almacenamiento.
- No. 8 Agua al sistema de flotación del mineral de cobre.
- No. 8' Agua al sistema de flotación de retratamiento del mineral de cobre.
- No. 8" Agua en las cubas de flotación del mineral de cobre.
- No. 9 Agua al sistema de flotación del mineral de plomo.
- No. 9" Agua en las cubas de flotación del mineral de fierro.








- No. 10 Agua del sistema de flotación del mineral de cobre --- (concentración).
- No. 11 Agua del sistema de flotación del mineral de plomo --- (concentración).
- No. 12 Agua del sistema de flotación del mineral de zinc (concentración).
- No. 13 Lodos residuales en la flotación del cobre.
- No. 14 Lodos residuales en la flotación del plomo.
- No. 15 Lodos residuales en la flotación del zinc.
- No. 16 Lodos residuales en la flotación del fierro.
- No. 17 Lodos en fosa de succión de la bomba Wifley.
- No. 18 Agua residual en canal lateral de la Planta de Beneficio.
- No. 19 Derivación hacia la parte superior de la presa.
- No. 20 Derivación hacia la parte inferior de la presa.
- No. 21 Agua en la orilla de la laguna de asentamiento sobre el área No. 1 de la presa.
- No. 21' Mismo lugar pero al centro.
- No. 22 Derivación hacia el área No. 2 de la presa a partir de la derivación de descarga hacia la parte inferior de la presa.
- No. 23 Agua en la laguna de asentamiento sobre el área No. 2 de la presa.
- No. 23' Mismo lugar pero al centro.
- No. 24 Descarga de la laguna de asentamiento en el área No. 1
- No. 25 Descarga de la laguna de asentamiento en el área No. 2
- No. 26 Descarga de la presa de asentamiento del concentrado de fierro.
- No. 27 Canal de aguas de desecho 1 km. aguas abajo de la descarga.
- No. 28 Agua a la salida de la presa de asentamiento de lamas.

AREA DE LA PLANTA



ESCALA 1:60000

-  ZONA 0
-  ZONA 1
-  ZONA 2
-  ZONA 3
-  ZONA 4

<b>UNAM</b>		FAC. DE C. QUIMICAS	
EDUARDO MANUEL DE LA CRUZ MALDONADO			
TESIS PROFESIONAL		9	
ZONAS DE CONTAMINACION			
		1977	

## RESULTADOS DEL PROGRAMA DE CONTROL QUIMICO DE LA CONTAMINACION

Para conocer el tipo, forma y magnitud del problema de contaminación se estableció un programa de control químico y un estudio sobre la detección de materiales contaminantes en el área circundante a las instalaciones. Mediante el control químico se pudo establecer que tipo de contaminantes y a que concentraciones se descargan en los efluentes residuales de la Planta de Beneficio; mediante el programa de detección se encontró la forma en la cual los contaminantes se distribuyen en el área y los efectos que han provocado en el medio ambiente. Los resultados fueron los siguientes:

### CONCENTRACION Y TIPO DE CONTAMINANTES EN LOS EFLUENTES.

Hay dos trayectos por los cuales se canalizan los residuos fluídos de la Planta:

- a) El canal de desagüe de la presa de "jales",
- b) Los canales de desalojo pluviales e industriales de la Planta.

Ambas rutas aprovechan los diversos arroyuelos (la mayor parte del año "secos", esto es, sin que por él corra agua de lluvia) de la zona. Las márgenes se encuentran bordeadas por capas de partículas insolubles de diámetro muy pequeño ( $d_{50} = 200$  micrón).

Los contaminantes que se observaron en el canal de desagüe de la presa fueron:

Sólidos en suspensión - - - - - 0.1-0.2 Kg./lt.  
(mín.=0.075, máx.=0.375)

Cianuros - - - - -	3.15- 6.15 p.p.m. (mín.=1.1, máx.=11)
Fierro total - - - - -	5.25- 33.33 p.p.m.(mín.=3.7, máx.= 63)
Dureza total - - - - -	200 - 300 p.p.m. CaCO <sub>3</sub> (mín=177, máx.=533)
Cobre total - - - - -	15 - 20 p.p.m. (mín.= 9, máx.= 33 )
Xantatos totales - - - - -	40 - 52 p.p.m. (mín.= 38, máx.= 90)
Amilicos totales - - - - -	15 - 25 p.p.m. (mín.= 12, máx.= 42)

Nota: No se detectó ión plomo, ni los iones, bario, arseniato - ni sulfuro.

Los valores reportados en primer término arriba, representan los valores dentro de los cuales fluctúa normalmente la concentración de los parámetros que se indican; los que se encuentran entre paréntesis son los valores extremos. Los valores mínimos resultan del efecto provocado por las lluvias; los máximos, del efecto que provocan los paros de la Planta de Beneficio o problemas de operación dentro de ella (baja calidad de la molienda o del mineral propiamente, por ejemplo).

Los contaminantes detectados en los canales de uso industrial son:

<u>CONTAMINANTE</u>	<u>CANAL NORTE</u>	<u>CANAL SUR</u>
Sólidos en suspensión(g/lt)	25-30(mín=10 máx=100)	30-60 (mín= 10 máx= 100)
Cianuros totales (p.p.m.)	0.8-1.2(mín=0.1 máx= 50)	0.3-1.0(mín=0.2 máx=7.0)
Fierro total (p.p.m.)	12-50 (mín=9 máx=63)	1-5 (mín= 0.8 máx= 33 )
Dureza Total(p.p.m. CaCO <sub>3</sub> )	200-300 (mín=170 máx=350)	200-300(mín=100 máx=395)
Cobre total, p.p.m.	16-18(mín= 6 máx= 20)	8 -12 (mín= 6 máx= 15)

	<u>CANAL NORTE</u>	<u>CANAL SUR</u>
Xantatos totales (p.p.m.)	12-20 (mín=6 máx=25)	4-25 (mín=2 máx=50)
Amfílicos totales (p.p.m.)	7-12 (mín=2 máx=20)	2-35 (mín=0 máx=38)

Nota: No se detectaron los iones; plomo, bario, sulfuro o arseniato.

Aquí se notan cambios drásticos debidos al uso especializado de los canales. Por ejemplo, en el Canal Norte se descargan las aguas residuales de las fosas de asentamiento del concentrado de fierro antes de su embarque. Mientras el concentrado se va acumulando, la concentración de los contaminantes tiende a elevarse; cuando no hay producto, la concentración tiende hacia un mínimo el cual corresponde al efluente normal de la planta. Este canal pasa por la vecindad con el depósito de tambores de los aditivos químicos y del cianuro de sodio ya vacíos, los cuales durante la época de lluvia contaminan al canal. En consecuencia, al contrario de lo que ocurre con el canal de desalojo del vaso de asentamiento, en el canal norte la concentración de solutos se eleva cuando llueve.

En el Canal Sur los cambios de concentración son muy frecuentes y fluctúan en un rango muy amplio, más aún en la época de lluvia. La razón es que en él se descargan los residuos de la molienda (purgas), los residuos de los tanques de reactivos y el agua desalojada por los carros de ferrocarril donde se encuentra almacenado el producto terminado. Antiguamente, a este canal descargaban las fugas del canal de madera por el cual se transportaban los jales hacia la presa, de modo que fue una de las fuentes principales de contaminación para el Valle de Matuhuala, en cuya parte superior poniente se encuentra la planta.

El canal sur y el canal de desagüe se unen aguas abajo de la presa (ver Fig. 9). El canal norte mantiene un trayecto independiente, corriendo casi en paralelo con la carretera entre Matehuala y la Paz, hasta que en el kilómetro 3 se une al otro canal. En este punto, ambos caudales han perdido una buena porción de los sólidos en suspensión, de la dureza temporal y si se encuentra en la época de calor, la concentración de los solutos del fluido se ha elevado apreciablemente, principalmente la dureza permanente y los cianuros.

#### CONTAMINACION DEL AREA DEBIDA A LOS EFLUENTES, SUS EFECTOS Y FORMA DE DISTRIBUCION.

Es obvio que cada problema de contaminación está definido por las características originales del ecosistema y posteriormente por las características adquiridas por el ecosistema a raíz de la contaminación. Esto hace que no puedan establecerse generalidades de comportamiento, puesto que son transitorias y "exclusivas" de dicho sistema.

Algo que sale de las finalidades de esta tesis es el estimar el comportamiento del ecosistema del Valle de Matehuala de modo que nos concretaremos a señalar la forma en que actualmente se encuentran dispersos los contaminantes en la región y los efectos que han provocado. Para ello hemos dividido relativamente la zona de contaminación apreciable en 5 zonas (Ver figura No. 9):

ZONA No. 0 Zona 100% contaminada. Abarca las áreas de asentamiento de los "jales" y los lugares contaminados debido a los derrumbes, deslaves o roturas de las líneas de

transporte de "jales". Esta zona representa el foco principal de contaminación por vía aérea y su efecto se observa claramente en la Zona No. 4 . Area 100% estéril.

ZONA No. 1 Representa a las áreas contaminadas por los caudales efluentes de la Planta de Beneficio. Es el foco principal de contaminación por vía húmeda, la cual puede ser superficial o por el subsuelo. Es el origen de la formación de la Zona No. 2 . Area 90% estéril (sobreviven lamas y pequeñas plantas).

ZONA No. 2 Representa al área donde se encuentran localizados aquellos puntos de contaminación intensa. Estos son originados por el efecto de las condiciones meteorológicas sobre las zonas de contaminación en forma global o individualmente, - según sea el caso. Representa también la zona crítica por dos razones principales: la peligrosidad que implica en tener de -- pronto algún punto de contaminación muy elevada y el hecho de - que a partir de ella se extiende la zona de contaminación eólica. Area de esterilidad variable e indefinible.

ZONA No. 3 Es el área de contaminación eólica intensiva y continua. Es la parte más espesamente contaminada por polvos que provienen de las partes secas de las zonas Nos. 1 y 2. En ella se quedan las fracciones más gruesas de los "jales" hasta allí llevados. Para lograr sembrar en estos terrenos y obtener un producto aceptable, deberá removerse la capa superior de arenilla y "voltear" el terreno mediante un surco profundo. - Crecen en ella arbustos silvestres de la región (mezquites enanos, huizache y diversos cactus) y en ella pueden hacer morada los animales con madriguera subterránea (ratas de campo, ardillas, reptiles en general, etc.).

ZONA No. 4 Es la zona contaminada 100% por vía eólica. En los sitios de depósito localizados, esto es, aquellos - en los cuales acantilados, rocas o zonas arboladas detienen las partículas finas, se forman zonas 100% estériles, ya que las ca

pas de este material son impermeables para la humedad y el aire así que impiden los procesos de aereación del terreno y nutrición de los alcáncigos. Por lo demás el área es de fertilidad similar al de zonas no contaminadas más lejanas.

#### RESULTADOS DEL ESTUDIO SOBRE LA CONTAMINACION POR "JALES" EN EL AREA DE FLUJO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA PLANTA DE BENEFICIO.

Mediante un muestreo exhaustivo del área: 24 muestras en la Zona 0; 200 muestras en la Zona 1; 1200 muestras en la Zona No. 2; 1000 en la Zona No. 3 y 1000 en la Zona No. 4, se estableció el perfil aproximado de las zonas que aparecen en la Fig. 9. Se establecieron puntos fijos de muestreo para observar los efectos con los cambios de clima u otras variables que se presentasen. Estos fueron: los puntos de unión de los caudales; los puntos de contaminación intensiva en los aljibes que aparecen en la Fig. 9 y el punto final a donde termina de correr el caudal, en el otro extremo del Valle de Matehuala, el cual no se incluye en dicha figura.

Tras de quince años de estar continuamente desplazándose los "jales" no acumulados en la presa, hacia el valle, es natural que nos encontremos ante un caso severo de contaminación. La dificultad de manejo y depósito de los "jales", la facilidad con la cual el aire los lleva a sitios muy distantes y por otra parte, la falta de medidas para evitar estos problemas a largo plazo nos lleva a problemas como éste. Se observó lo siguiente:

a) El área que abarca la Zona 0 se encuentra expuesta a la acción del viento pues carece por completo de vegetación o de algún medio protector natural o artificial. Estudios realizados (1), (2), (3) entre otros muchos, muestran la conveniencia de promover la formación de una capa de terreno fértil o la irrigación por goteo sobre los "jaleros". Muchos de ellos recomiendan utilizar para ello plantas de alta resistencia a la escasez de:



agua o la toxicidad de algunos tipos de "jales", por ejemplo: -

<u>NOMBRE</u>	<u>CARACTERISTICAS DE DESARROLLO</u>
EUCALYPTUS ROSTRATA (goma roja)	Arbol resistente al viento, hojas de tipo lanceolado de gran tamaño.
EUCALYPTUS MICROTHECA (Cápulla delgada)	Se enraiza con bastante firmeza, <u>cre</u> cimiento rápido, tolerante con los - climas secos, resistente a los vientos.
NICOTIANA GLAUCA (Tabaco del desierto)	Crece en terrenos alcalinos, <u>pendien</u> tes, <u>áreas</u> rocosas, etc.
ACACIA GREGGII (acacia del desierto)	Planta desértica que crece en <u>áreas</u> <u>cálidas</u> y secas. Con apropiado <u>cuida</u> do puede adaptarse a condiciones de supervivencia muy difíciles.
FOGUEIRIA SPLENDENS (ocotillo)	Esta cactus puede alcanzar 5 <u>metros</u> de altura con ramas de 2 a 3 metros. Se <u>propaga</u> rápida e intensamente en los sitios inmediatos formando un <u>mó</u> dulo espeso.
PROSOPIS JULIFLORA (mezquite nativo)	Resistente a la <u>sequedad</u> , aridez y a el viento fuerte. Resiste 100% el <u>a</u> - taque de insectos y plagas. Su <u>folla</u> je tupido es un buen filtro para los polvos.
PROSOPIS CHILENSIS (huizache común)	Arbusto similar al mezquite pero de tamaño menor; su baja altura impide que el polvo capturado escape.

b) En las Zonas 1 y 2 se aprecia la zona irreversible de contaminación, pues resultaría antieconómico eliminar de ellas la gran cantidad de depósitos y de sales provocados por afluentes temporales que posteriormente secaron dejando su contenido sobre el terreno. El crecimiento de una gran variedad de cactus, desde nopal hasta palma china, principalmente en la Zona 2, -- nos confirma los estudios que se han realizado para el recubrimiento de zonas cubiertas por "jales". Al mismo tiempo, tal - vegetación abriga la esperanza de una recuperación parcial del terreno de estas zonas a largo plazo.

c) En las Zonas 3 y 4 se observa que según nos lo anticipan - ciertos estudios (4) y (5), los fenómenos de fertilización vegetal, de crecimiento de las plantas, etc. se ve afectado -- drásticamente por el depósito de jales, ya que ocluye los ovarios de las flores por polinizar, impide la floración, cubre - los retoños y plantas recién nacidas, etc. Aquí si resulta económico el tratamiento de los terrenos; ya sea promoviendo la vegetación, su crecimiento y variedad, por medio de la fertilización, aireación del terreno, el trasplante de especies que enriquezcan la flora existente.

#### CONCLUSIONES:

- a) Es necesario proteger al "julero" de la erosión eólica.
- b) Es conveniente, para evitar una mayor extensión de los jales el promover la reforestación de las Zonas 1 y 2, para - impedir el enriquecimiento de polvos de las Zonas 3 y 4.
- c) Existen plantas vegetales resistentes a las condiciones de servicio del "julero", lo mismo que las técnicas para desarrollar cultivos de protección sobre este tipo de terreno.
- d) Es necesario instalar un sistema o proceso para producir un efluente de agua residual libre de sólidos en suspensión y de tóxicos para la vida animal.
- e) Es necesario controlar químicamente el proceso para evitar sobre dosis de reactivos y controlar la polienda para minimi

zar los desperdicios de mineral, ya que al no haber una reducción uniforme de la materia prima, ésta no flotará o requerirá de cantidades excesivas de reactivos.

f) Solamente el tiempo abatirá los índices de contaminación de las Zonas 2 y 3, ya que sus grandes depósitos de sales de calcio, hierro y cianuros, en múltiples combinaciones, son lentas de asimilar.

g) Es necesario mantener una supervisión técnica de los trabajos de dispersión de jales en la presa, para evitar derrumbes y que la presión hidrostática de las lamas sobre las paredes de la presa provoque canalizaciones en ellas que a la larga generen fuentes de contaminación incontrolables.

h) Es necesario proteger de deslaves las presas de asentamiento auxiliares, corriente abajo de la presa de asentamiento principal, para evitar un futuro foco de contaminación.

#### BIBLIOGRAFIA

- (1) KENNETH L. Ludeke, "VEGETATIVE STABILIZATION OF COPPER MINE TAILING DISPOSAL BERMS OF PIMA MINING COMPANY", Tucson, Arizona, USA.
- (2) (5) KARL C DEAN, "COMPARATIVE COSTS AND METHODS FOR STABILIZATION OF TAILINGS", Salt Lake City Metallurgy Center Bureau of Mines, US Dept.
- (3) (4) E.D:APOLONIA, "ABANDONMENT OF TAILINGS FACILITIES". TRABAJOS PRESENTADOS EN EL I Int. TAILING SYMP., TUCSON, Arz. USA a finales de 1972.

## CAPITULO V

### CALCULO DE LA LINEA DE RETORNO DE AGUA EFLUENTE DEL JALERO.

#### PRELIMINARES.

Una vez que han sido determinadas las características, propiedades y cantidades del fluido -en este caso agua residual de "jales"- la selección del diámetro y material de la tubería - es el paso mas importante dado que nos va a determinar: por una parte el costo; por la otra la velocidad de transporte.

Si la velocidad de fluido es tan baja en tal grado que ocurre el asentamiento de las partículas en suspensión que lleva consigo, los costos de operación y mantenimiento se incrementarán a valores antieconómicos a causa de los frecuentes taponamientos en el sistema. Esta misma anomalía se traducirá en un consumo excesivo de energía y en una operación discontinua, bien sea en el envío de "jales" a la presa de asentamiento o en el retorno del agua recuperada. Si la velocidad es mayor que la óptima, el desgaste de las líneas y equipo auxiliar que producirán - la fricción y la erosión por parte del fluido implicarán la necesidad de la restauración frecuente de las piezas deterioradas. Los costos de la energía también serán elevados.

Desde el punto de vista económico, el tener un diámetro grande en la tubería elevará, además del costo inicial del equipo, el de su instalación. Por otra parte si el diámetro es más corto de lo conveniente, el costo de mantenimiento y de operación va a ser lo determinante.

El problema entonces se circunscribe a la determinación de una velocidad mínima y segura de transporte. Ella puede ser determinada mediante experimentación con el fluido problema, con un fluido que simule las condiciones del real o bien por estimaciones a través de métodos empíricos obtenidos a través de la ex

perencia con diversos tipos de fluidos sometidos a condiciones de flujo variadas. Los lodos que contienen partículas sólidas muy finas, pueden ser estudiados con mayor precisión a través - de pruebas de laboratorio de las cuales se obtienen sus valores de viscosidad y con ellos se calculan las velocidades de flujo aplicando los conceptos de Bingham (3).

Para lodos arena-granulosos (ver clasificación de los lodos en función del tamaño de partícula en el Apéndice) una aproximación para velocidades mínimas de flujo sin asentamiento, puede ser calculada a partir de la fórmula de Durand (1):

$$V_L = FL \sqrt{\frac{2gD(S-SL)}{SL}} \quad \text{en donde,}$$

- $V_L$  = Velocidad mínima de flujos sin asentamiento, pies/segundo.
- $FL$  = Factor que depende del tamaño de partícula y la concentración (ver gráfica 13)
- $g$  = Aceleración debida a la gravedad en pies/segundo/segundo.
- $D$  = Diámetro de la tubería en pies.
- $S$  = Gravedad específica de las partículas sólidas secas.
- $SL$  = Gravedad específica del fluido transportado.

Los trabajos de Durand que llevaron a la confección - de la fórmula enunciada se desarrollaron con partículas de tamaño uniforme. McElvain y Cave (6) demostraron que los resultados de  $FL$  para fluidos con partículas con una distribución gradual de tamaño. En la Graf. 12 aparecen los factores  $FL$  reportados por Durand, mientras que en la Graf 13 se muestran los valores  $FL$  de McElvain; los primeros en función del tamaño de partícula individual; los segundos en función del diámetro medio, --  $d_{50}$  (con base en el tamaño hacia el cual la masa de partículas de tamaño mayor y la otra fracción de tamaño mayor que el diámetro al que nos referimos sean del mismo peso).

Para fluidos con sólidos en suspensión de tamaño pequeño (menor a 50 microns) el problema de resolver a qué velocidad menor de manejarlo no tiene relación con el fenómeno de asentamiento de las partículas sino con el cambio en las propiedades que le imparten. Tales lodos se comportan como fluidos de Bingham debido a que su viscosidad se ve afectada en función del tiempo al que el fluido esté sometido a un esfuerzo cortante.

R.W. Smith (4) nos da un método para predecir el comportamiento del fluido en una tubería y nos determina sus propiedades reológicas, cuyos resultados se aplican originalmente al cemento en forma de lodo, pero se han observado buenos resultados al aplicarlo a lodos de "jales" de muchos tipos.

Para tuberías cortas con partículas finas, la velocidad de flujo no es importante; por otra parte, para líneas largas, se recomienda que la velocidad permanezca en todo momento dentro del rango de plena turbulencia. Para ello, las pruebas de velocidad "in situ" no darán la máxima garantía para la obtención de aquella que resulte adecuada.

#### PERDIDAS DE ENERGIA.

Una vez que han sido determinadas la velocidad mínima de flujo, la concentración y el diámetro operativamente recomendable, será necesario considerar las pérdidas de energía que se generarán en el sistema. Durand (5) nos expone un método para la determinación de la pérdida de "cabeza" para lodos basado en las pérdidas que experimentaría una masa equivalente de agua sometida a las mismas condiciones. Basa su método en los resultados de las pruebas efectuadas en un rango, muy amplio de diámetros y longitudes de tubería, tamaños de partícula, concentraciones y peso específico de la partícula sólida seca. Esta correlación fué publicada originalmente en 1952 y aún se le considera vigente.

Por otra parte, la experiencia ha demostrado que cuando se transportan lodos con partículas en suspensión de tamaño diverso, las pérdidas de energía son menores que cuando el tamaño de las partículas es único, reportadas por Durand para concentraciones equivalentes.

El método empleado por McElvain (6) para la determinación de la pérdida de energía en el sistema es como sigue:

- A) Se estima originalmente el diámetro de la tubería en función de la velocidad deseada; con ello se determina el factor de fricción  $f$  de la ecuación de Darcy. Las curvas en función de Número de Reynolds y la rugosidad del conducto se encuentran en diversos manuales y libros de texto o consulta (7, 8, 9). Con ello se determina la pérdida de energía tal y como si se tratara de resolver para agua.
- B) Se calculan estas pérdidas para diversos gastos y se sitúan en una gráfica de Gasto vs. Pérdida de energía, si se desea.
- C) Se traza una vertical sobre la gráfica cuya abscisa constante sería el gasto que correspondiera con el valor de velocidad mínima de flujo sin asentamiento de las partículas, por medio de la Fórmula de Durand y los valores  $FL$  de la Graf. 13.
- D) Se traza una horizontal sobre la gráfica cuya ordenada constante sea la pérdida de energía que corresponda a esta velocidad mínima. De este modo, junto con la línea anterior, se generarán cuadrantes. Dentro del superior-derecho podremos localizar el punto óptimo.
- E) Puesto que para garantizar un flujo con completo arrastre de partículas se considera un margen del 30% sobre la velocidad mínima determinada o evaluada, el cálculo de las pérdidas de energía con esta nueva velocidad generarán una curva cuyos -

puntos serán 10% mayores que los originales para agua.

En el nomograma anexo se puede observar la manera gráfica de evaluar el porcentaje en volumen (base volumen real)  $C_v$  y el porcentaje en masa  $C_w$  de una mezcla de sólidos en suspensión insolubles y un fluido cualquiera, a partir de los pesos específicos de las partículas sólidas y de la mezcla de sólidos y líquido.

Estas características así como otras que enseguida se enunciarán nos servirán para la determinación del equipo de bombeo que será necesario operar para manejar el lodo problema.

En esta tesis habremos de relacionar los valores de -- "cabeza" necesaria a desarrollar por la bomba como sigue:

$H_w$  = "Cabeza" de bombeo de agua, en  $\text{ft}(\text{lb}_f/\text{lb}_m)$  de agua.

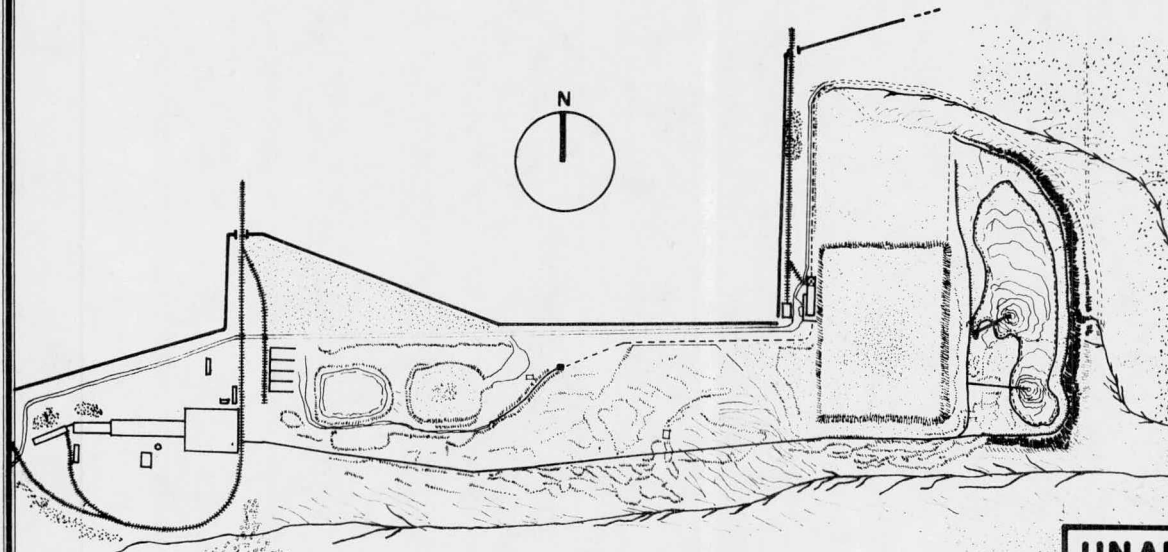
$H_m$  = "Cabeza" de bombeo de una mezcla  $m$ , en  $\text{ft}(\text{lb}_f/\text{lb}_m)$  de mezcla.

HR = Relación  $H_m/H_w$ , para valores  $H_m$  y  $H_w$  encontrados a las mismas condiciones de gasto y velocidad. HR = relación de "cabezas".

ER = HR = relación de eficiencia =  $e_m/e_w$ , para valores  $e_m$  y  $e_w$  a las mismas condiciones de gasto y velocidad. (realmente ER HR según las pruebas de potencia encontradas por McElvain - (6) para mezclas de sólidos de tamaño graduado).

La figura vecina al nomograma nos da el valor  $k$  de "frenado" de la cabeza de bombeo para lodos, en función de el peso específico de los sólidos y el parámetro  $d_{50}$  tamaño de la malla de las partículas. Con este y la ecuación que se muestra en dicha gráfica, se obtiene HR, de la cual deduciremos por último, la cabeza necesaria para el bombeo de los lodos, traducida a unidades de energía como si se tratara de manejar agua,  $H_w$ .

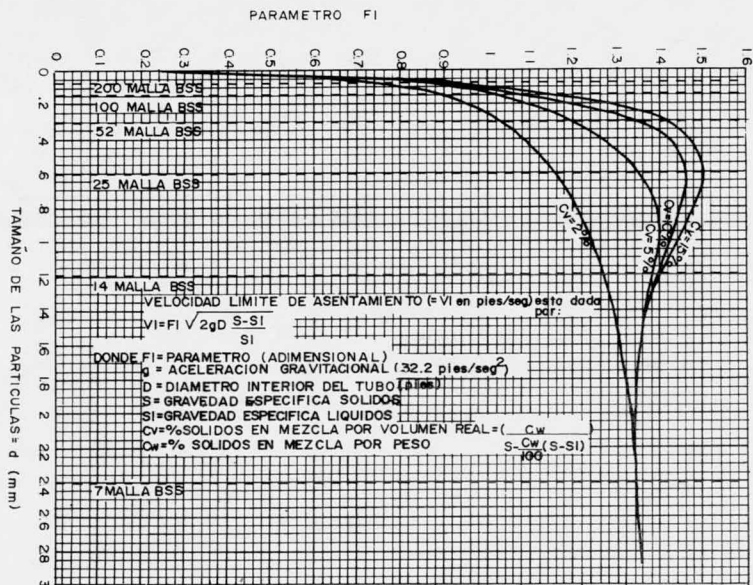




ESCALA 1:5000

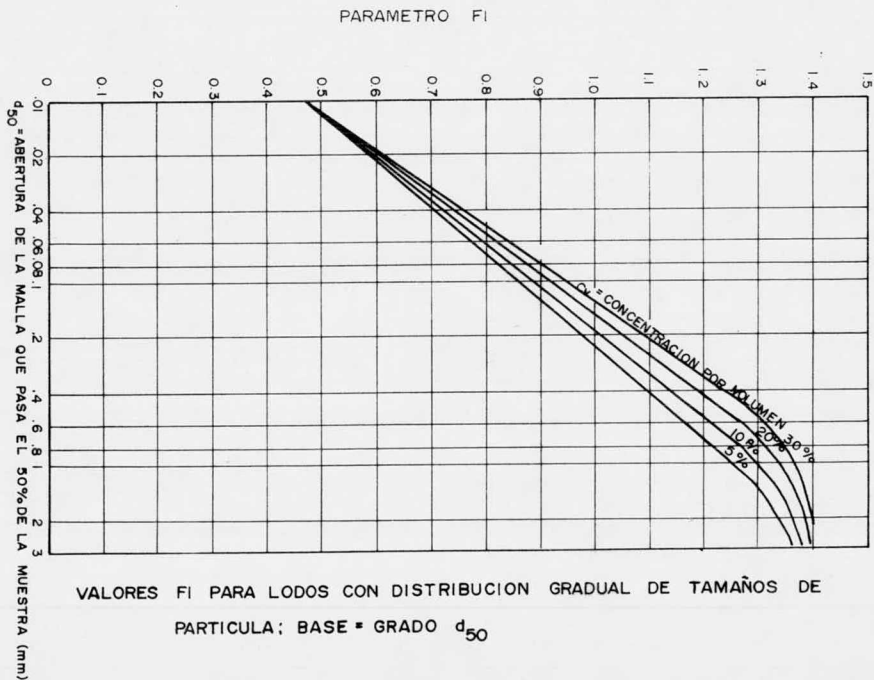
<b>UNAM</b>	<b>FAC. DE C. QUIMICAS</b>
EDUARDO MANUEL DE LA CRUZ MALDONADO	
TESIS PROFESIONAL	
PLANTA DE BENEFICIO, JALERO	
VISTA AEREA	1977

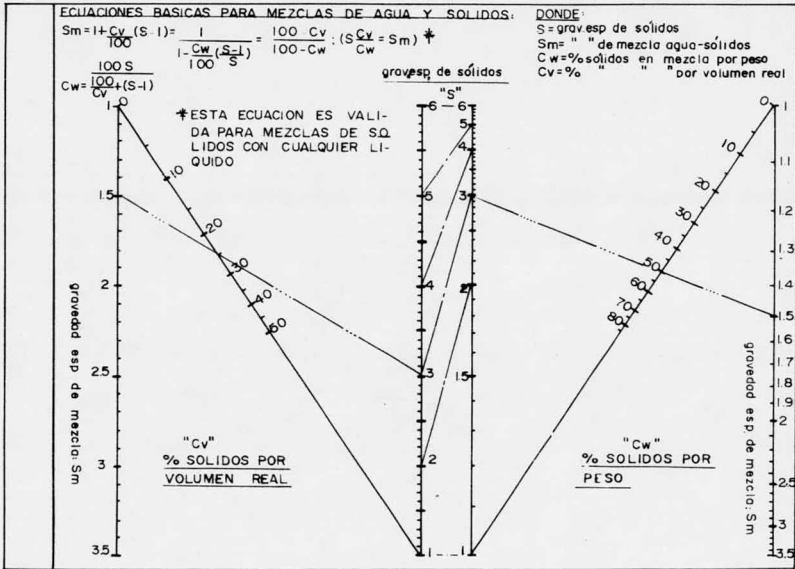
GRAFICA 12



LA VELOCIDAD LIMITE DE ASENTAMIENTO  $F_l$  EN FUNCION DEL TAMANO DE LAS PARTICULAS

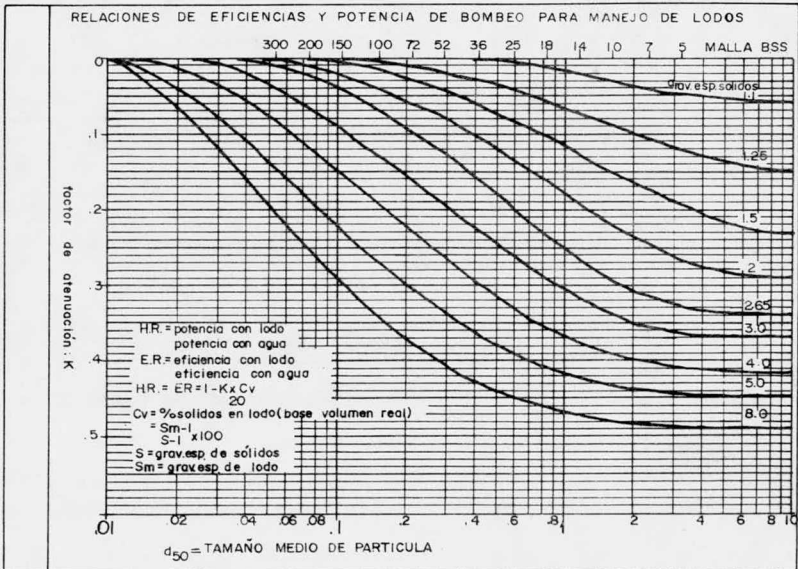
GRAFICA 13





GRAFICA 14

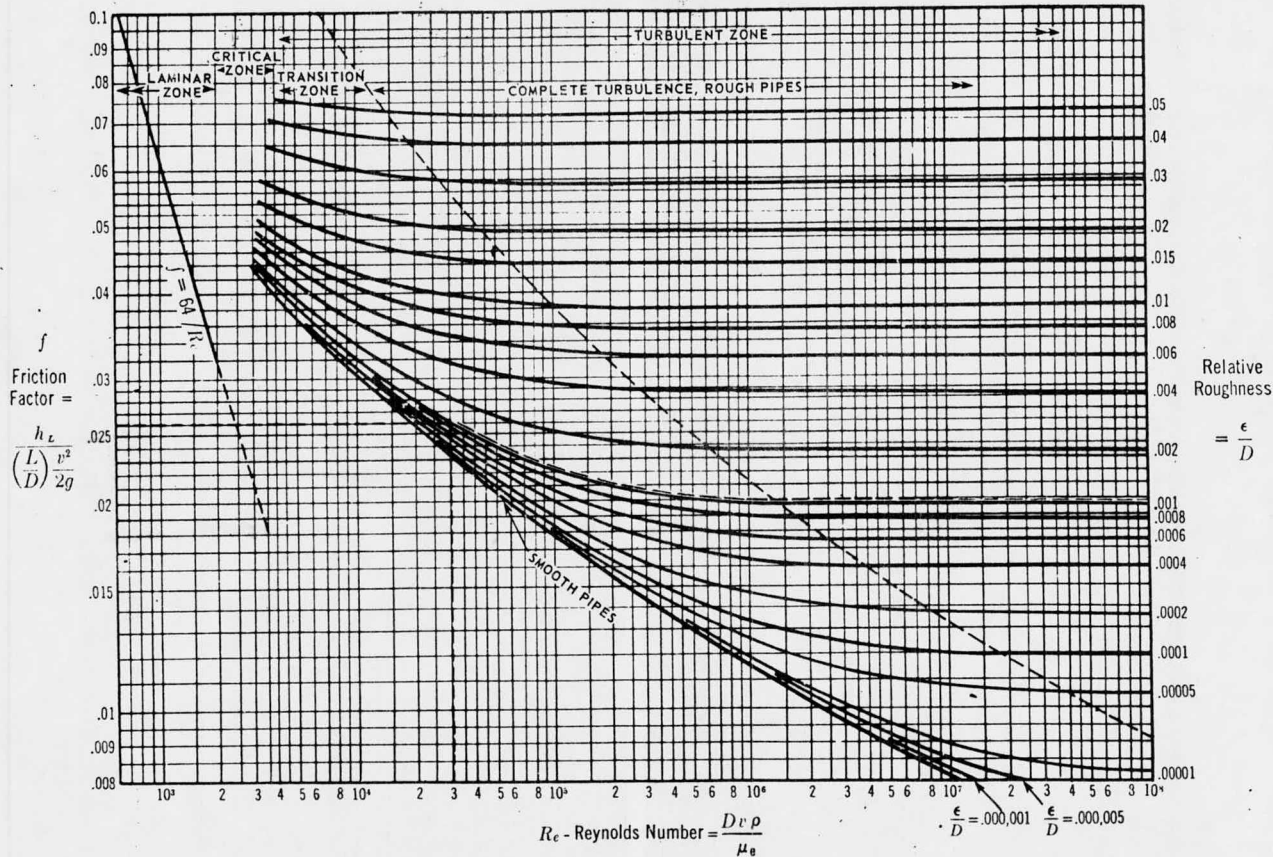
NOMOGRAMAS DE DENSIDAD-CONCENTRACION PARA MEZCLAS AGUA-SOLIDOS.



GRAFICA 15

EFFECTO DE LOS SOLIDOS CONTENIDOS EN LODOS SOBRE LA EFICIENCIA Y LA "CABEZA" PARA EL BOMBEO

Friction Factors for Any Type of Commercial Pipe<sup>18</sup>



Friction Factor =  $f = \frac{h_c}{\left(\frac{L}{D}\right) \frac{v^2}{2g}}$

$R_c$  - Reynolds Number =  $\frac{Dv\rho}{\mu}$

$\frac{\epsilon}{D} = .000,001$      $\frac{\epsilon}{D} = .000,005$

**Problem:** Determine the friction factor for 10-inch cast iron pipe (10.16" I.D.) at a Reynolds number flow of 30,000.  
**Solution:** The relative roughness (see page A-23) is 0.001. Then, the friction factor ( $f$ ) equals 0.026.

For other forms of the  $R_c$  equation, see page 3-2.

Data extracted from *Friction Factors for Pipe Flow* by L. F. Moody, with permission of the publisher, The American Society of Mechanical Engineers, 29 West 39th Street, New York 18, N. Y.

INFORMACION TECNICA

Nota: A menos que otra cosa se indique, los valores reportados son promedios de múltiples pruebas realizadas durante 6 meses. Además, si otra referencia no es indicada, los parámetros se basan en un lapso de tiempo de 1 día. Los datos generales se reportan enseguida y a continuación aparecen los parámetros que adquieren valores particulares, en función del contenido de sólidos en suspensión.

MASA DE:

- 1) Mineral hacia la planta = 1 050.13 T/D
- 2) Masa de agua en los lodos minerales = 1 575.20 T/D
- 3) Masa de jales efluente de la planta = 957.80 T/D
- 4) Masa de agua efluente con los jales = 1 417.67 T/D
- 5) Masa de agua efluente de la presa de jales = 1 100.00 T/D (en números - redondos)
- 6) Gravedad específica (20°C) (con base al agua) = 2.15



GUIMARAS

PARAMETRO:

CASO (A)

CASO (B)

- 7) Referencia: sólidos en suspensión en los jales (kg/lt)
 

a) 0.1(mín)	0.2(máx)
b) 110 T/D	220 t/D
- 8) Masa de agua con igual volumen que el de los sólidos en los jales = (7b)/(6)
 

51.16 T/D	102.33 T/D
-----------	------------
- 9) Masa total de los jales=(5)+(7b)
 

1 210.00 T/D	1 320.00 T/D
--------------	--------------
- 10) Masa de agua con igual volumen que el del flujo de jales en el efluente= (5)+(8)
 

1 151.16 T/D	1 202.33 T/D
--------------	--------------

	CASO (A)	CASO (B)
11) Gravedad específica de los jales efluentes = (9)/(10); base = agua	1.051	1.098
12) Flujo de jales en masa, lb/seg.	30.85	33.65
13) Flujo de jales en volumen a)	211.21 GPM	220.6 GPM
b)	1220 M3/D	1330 M3/D
14) $C_v = \%$ de sólidos en suspensión base volumen real = (8) x 100/(9)	4.23	7.75
15) $C_w = \%$ de sólidos en suspensión base masa = (7b) x 100/(9)	9.09	16.67
16) Velocidad mínima sin asentamiento de jales, VL, con base en el diámetro de la tubería, D,	6.894 (D)	6.831 (D)

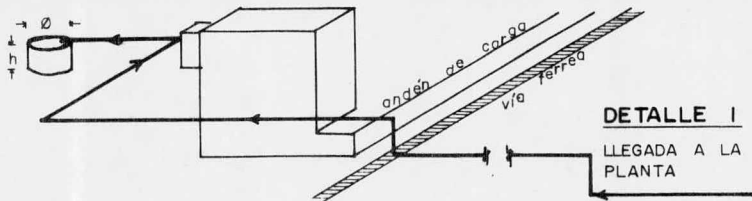
Valores de VL para distintos diámetros nominales de tubería:

(V)

Nota: los valores de - $\phi = 3''$	3.49	3.45
(V) son los ran- $\phi = 3 \frac{1}{2}''$	3.75	3.715
gos de velocidades re- $\phi = 4''$	3.99 (5.4-5.7)	3.96
comendables para ope-- $\phi = 6''$	4.90 (2.4-2.6)	4.86
rar en esos diámetros $\phi = 8''$	5.62 (1.4-1.5)	5.57
de tubería de fierro o de asbesto-cemento.		

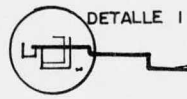
17) Velocidades de transpor $\phi = 3''$	4.54	4.49
te de lodos considera-- $\phi = 3 \frac{1}{2}''$	4.88	4.13
das seguras, esto es -- $\phi = 4''$	5.19	5.15
30% sobre el valor teó- $\phi = 6''$	6.37	6.32
rico de VL: $\phi = 8''$	7.31	7.24

$\phi = 30'$   
 $h = 30'$



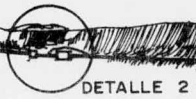
**DETALLE 1**

LLEGADA A LA PLANTA



DETALLE 1

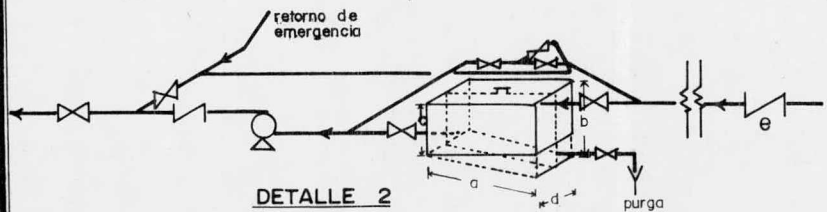
**ELEVACION**



DETALLE 2



**PLANTA**



**DETALLE 2**

SISTEMA DE REBOMBEO

a= 5 Metros  
 b= 4 "  
 c= 4 "  
 d= 5 "

**UNAM** FAC. DE C. QUIMICAS

EDUARDO MANUEL DE LA CRUZ MALDONADO

TESIS PROFESIONAL

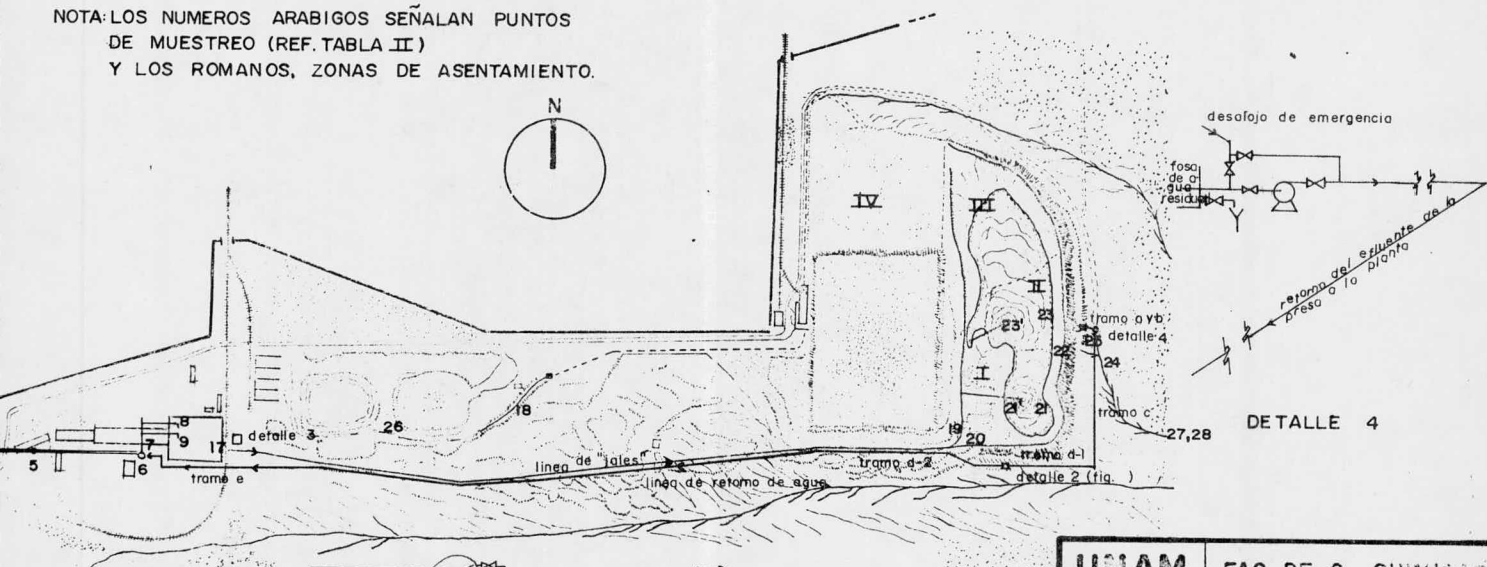
PROYECTO: RECUPERACION A-GUA RESIDUAL EFLUENTE DEL "JALERO".

SECCION SUR

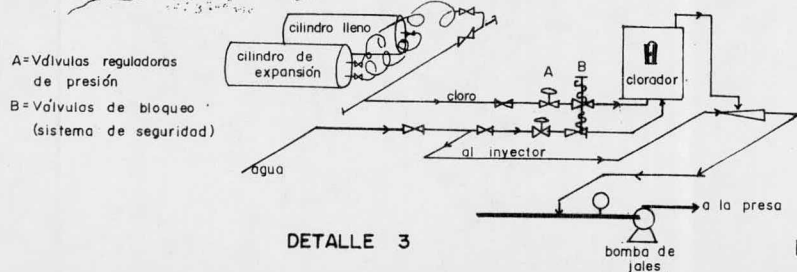
12

1977

NOTA: LOS NUMEROS ARABIGOS SEÑALAN PUNTOS DE MUESTREO (REF. TABLA II)  
Y LOS ROMANOS, ZONAS DE ASENTAMIENTO.



DETALLE 4



DETALLE 3

ESCALA 1:5000

<b>UNAM</b>		<b>FAC. DE C. QUIMICAS</b>	
EDUARDO MANUEL DE LA CRUZ MALDONADO			
TESIS PROFESIONAL			
PROYECTO: RECUPERACION AGUA RESIDUAL EFLUENTE DEL "JALERO"			<b>13</b>
			1977



Del renglón (16) podemos desprender el hecho de que la condición de diseño de que la velocidad (V) de transporte sea mayor que la velocidad mínima VL se cumple solo con la tubería de 4", puesto que si por caso pretendiéramos transportar el agua residual por una línea de 3", según los cálculos tendríamos que desarrollar en el sistema una diferencial de presión de 100 lb/pul<sup>2</sup> que requeriría de una línea de alta presión; además, la abrasión sería muy alta debido a la velocidad relativamente elevada.

El caballaje mínimo para una sola línea de retorno de 4" sería de 16 H.P. Conviene por tanto analizar el problema para un retorno en dos etapas, para operar con una caída de pre---sión relativa menor, lo cual redundaría en un menor costo de compra instalación, operación y mantenimiento.

CONCEPTO	TUBERIA DE 4" DE:					
	ACERO AL CARBON			ASBESTO CEMENTO		
- $\epsilon/D$	0.00048			0.00044		
Diámetro Interno, pulg.	4.026			3.95		
GASTO VOLUMETRICO, GPM	163	217	250	163	217	250
$N_{Re}$ (multipl. $\times 10^3$ )	188	250	289	192	255	294
$f$ (multipl. $\times 10^{-2}$ )	1.88	1.83	1.81	1.87	1.81	1.80
L = TRAMO I	1719	1720	1721	1716	1717	1717
TRAMO II	1573	1574	1575	1569	1570	1571
(1.1) $h_L$ = TRAMO I	27.8	47.4	63.0	30.5	52.1	68.8
= TRAMO II	25.5	44.0	57.8	27.8	47.0	62.9
H.P. = TRAMO I	5.09	8.10	10.4	5.30	8.40	10.8
= TRAMO II	5.07	7.90	10.1	5.20	8.10	10.5

Hasta aquí los cálculos realizados como si el fluido a mane---jar fuese agua sin sólidos en suspensión. Nota: en la tabla apare---ce el renglón (1.1) $h_L$  que corresponde al valor que tomará  $h_L$  cuan---do se calculen los H.P. para el agua lodosa, ya que es el dato ---que realmente tiene importancia y no el valor simple de  $h_L$ , apli---cable solo para el cálculo de H.P. para transporte de agua.

Para el cálculo final de H.P. para el fluido que --- realmente manejaremos, deberemos calcular con anticipación el valor de diferencial de presión que vamos a tener el sistema, así:

CONCEPTO	TUBERIA 4" DE ACERO AL CARBON			TUBERIA 4" DE ASBESTO CEMENTO		
GASTO VOLUMETRICO GPM	163	217	250	163	217	250
DIFERENCIAL DE PRESION						
(lb/pulg <sup>2</sup> ) = TRAMO I	43.2	51.2	57.1	44.2	48.5	59.4
= TRAMO II	42.7	50.0	55.5	43.6	51.5	57.5
H total pie x (lb <sub>f</sub> /lb <sub>m</sub> )						
= TRAMO I	102.8	123.3	138.4	105.5	127.4	144.3
= TRAMO II	101.5	120.2	134.2	103.8	123.9	139.3
H.P.	= TRAMO I			= TRAMO II		
	5.3	8.4	10.9	5.4	8.7	11.3
	5.2	8.2	10.5	5.3	8.4	10.9

NOTA: Los valores para tubería PVC son similares a los de asbesto cemento.

Las características que presenta el diseño, de acuerdo a la forma en que se proyectó, nos dan las siguientes ventajas:

a) No se manejan altas diferenciales de presión que obliguen a excesivos consumos de energía, adquisición de tubería de alto costo y a instalar un equipo muy pesado en un terreno que, como es el área del "jalero", cambia continuamente de configuración.

b) Se logró ubicar el punto óptimo donde las energías necesarias para el transporte del fluido en ambos tramos resultan de valores equivalentes, de modo que el equipo que se instale en una estación de bombeo, sirva de relevo al que llegue a fa-

llar en la otra.

c) Se encontró una velocidad adecuada que no nos permita el asentamiento de sólidos en el trayecto y lo suficientemente baja para llevar al mínimo el desgaste y las pérdidas por fricción.

d) Se obtiene recuperación de mineral residual, reactivos y sobre todo de agua, que si bien no representan un ahorro de importancia en razón de los medios con los cuales se proyecta recuperar tales efluentes, representa una solución radical al problema de la contaminación y la posibilidad de utilización de esta agua en otros procesos, en una región donde este recurso es escaso.

#### COSTOS.

<u>EQUIPO Y CARACTERISTICAS</u>	<u>COSTO (M.N.)</u>
Cuatro bombas para agua con sólidos en suspensión de baja concentración, de 250 GPM, con motor trifásico de 5-1/2 H.P., Dif.Pres. = 50 psi. (incluye equipo auxiliar y accesorios para las conexiones).	\$143,000.00
1,200 m. de tubería de PVC de 4", # 60.	\$190,000.00
Accesorios de la tubería (codos, "tees", válvulas -- de bloqueo, nipples, "hembras y machos").	\$ 24,500.00
Instalación eléctrica (arrancadores, cable y protecciones)	\$ 15,000.00
Gastos varios (alumbrado, pintura, cercado).	\$ 6,000.00
Costo del equipo	\$378,500.00

<u>EQUIPO Y CARACTERISTICAS</u>	<u>COSTO (M.N.)</u>
Amortización del costo a 10 años	\$ 37,850.00

COSTOS DE INSTALACION

Soporte de las bombas, casetas y fosa de succión - (obras de albañilería)	\$ 27,400.00
Soporte de la tubería (trípodes de varilla de 1/2")	\$ 8,000.00
Soldadura	\$ 1,700.00
Postería para cable de energía eléctrica	\$ 25,000.00
Accesorios eléctricos	\$ 5,000.00
Mano de Obra	\$ 3,600.00
<b>COSTOS TOTALES DE INSTALACION</b>	<b>\$ 70,700.00</b>

COSTOS DE OPERACION (ANUAL)

Energía eléctrica (operando a 50% de capacidad de bombeo)	\$ 53,913.00
Aceite lubricante	\$ 2,000.00
Personal (Ver renglón 18)	\$ - - -
<b>COSTO ANUAL DE OPERACION</b>	<b>\$ 55,913.00</b>

COSTOS DE MANTENIMIENTO (ANUALES)

Mantenimiento mecánico	\$ 5,100.00
------------------------	-------------

<u>EQUIPO Y CARACTERISTICAS</u>	<u>COSTO (M.N.)</u>
Mantenimiento eléctrico	\$ 1,890.00
Mantenimiento a instrumentos	\$ 1,400.00
Gastos varios	<u>\$ 1,050.00</u>
	\$ 9,440.00

COSTO TOTAL ANUAL DE LA RECUPERACION DE AGUA RESIDUAL DE LA --  
PRESA DE ASENTAMIENTO.

GASTOS FIJOS (Equipo e Instalación)	\$108,000.00
GASTOS VARIABLES (Operación y Mantenimiento)	<u>\$ 65,353.00</u>
	\$173,353.00
Deducción por recuperación del agua	\$ 8,950.00
Deducción por recuperación de reactivos	\$ 4,599.00
Deducción por recuperación de mineral (150 T/D)	<u>\$ 42,000.00</u>
	\$ 55,549.00
<b>COSTO NETO ANUAL DEL BOMBEO DEL AGUA DE RETORNO:</b>	<b>\$117,804.00</b>

COSTO DEL TRATAMIENTO QUIMICO

Cloración.

El equipo es de fabricación nacional y de operación manual, cuyo costo se distribuye como sigue:

NO. ORDEN	EQUIPO Y CARACTERISTICAS	COSTO (M.N.)
01	Un clorador, capacidad = 1000 lb/día, operación manual, sin vaporizador (incluye -- válvulas de bloqueo para el sistema de seguridad).	\$ 78,700.00
02	Tres cilindros para almacenamiento de cloro líquido, capacidad = 920 Kg. presión de diseño = 150 lb/pulg <sup>2</sup> (incluye válvulas de -- descarga de uso especial para manejo de cloro).	\$ 14,560.00
03	Cuatro tubos flexibles (para interconexión de los cilindros de cloro, "tubing" de 3/8" largo = 1.5 m., presión de diseño = 150 lb/pulg <sup>2</sup> , de aleación especial de cobre-aluminio-estaño.	\$ 800.00
04	Un reductor de presión para gas cloro, capacidad de reducción de 150 a 20 lb/pulg <sup>2</sup> flujo = 1500 lb. de cloro líquido por día.	\$ 1,050.00
05	Un reductor de presión para agua dilución de cloro, capacidad de reducción de 10 a 3 Kg/cm <sup>2</sup>	\$ 1,000.00
06	Cuatro manómetros con sello para las líneas de cloro líquido-gaseoso y solución concen-	

NO. ORDEN	EQUIPO Y CARACTERISTICAS	COSTO (M.N.)
	trada de cloro (0-100 lb/pulg <sup>2</sup> y 1-5 kg/cm <sup>2</sup> ).	\$ 800.00
07	Dos manómetros para agua, 1-g kg/cm <sup>2</sup> .	\$ 300.00
08	Una línea de transporte de gas cloro, de fierro al carbón, $\phi = 1/2"$ , 12 metros de largo (el costo incluye accesorios).	\$ 1,600.00
09	Una línea de suministro de agua para dilución del cloro, de acero al carbón $\phi = 1"$ , largo = 25 m. (el costo incluye accesorios)	\$ 2,200.00
10	Una línea de inyección de agua de cloro a la succión de la bomba de jales, de PVC, $\phi = 2"$ , largo = 20 m. (el costo incluye accesorios).	\$ 3,600.00
	COSTO TOTAL DEL EQUIPO DE CLORACION	\$104,610.00

Los costos por concepto de construcción e instalación se distribuyen así:

11	Construcción de bases soporte para tanques de cloro, tuberías y clorador; piso de cemento; cubículo de bloques de concreto para el clorador y techo voladizo para protección de los tanques (incluye el costo de materiales, su transporte y la mano de obra).	\$ 9,600.00
12	Instalación y soldadura de herrajes.	\$ 2,500.00
	COSTO TOTAL DE CONSTRUCCION E INSTALACION	

NO.	ORDEN EQUIPO Y CARACTERISTICAS	COSTO (M.N.)
	DEL CLORADOR Y EQUIPO AUXILIAR.	\$ 12,100.00

Los costos de mantenimiento (ANUALES) son:

13 Refacciones para el clorador: "tubings" --  
válvulas de flujo, empaques, manómetros, -  
rotámetro (costo obtenido al estimar el --  
costo total de las refacciones comunmente  
requeridas en el plazo de 3 años, dividido  
por tres). La base de la estimación es la  
información obtenida al respecto con otros  
propietarios de cloradores. \$ 995.00

14 Mano de obra para reparaciones y manteni--  
miento preventivo del equipo en general. \$ 1,200.00

COSTO ANUAL DE MANTENIMIENTO DEL CLORADOR: \$ 2,195.00

Los costos de operación son los siguientes (ANUALES):

15 Costo del agua \$ 12,000.00

16 Costo del cloro líquido anhidro (P.E.P.) \$ 72,000.00

17 Costo de alumbrado y servicios en general \$ 800.00

18 Costo de salarios al personal de operación  
(el tratador químico absorbe esta actividad  
como parte de su trabajo, con el mismo sa-  
lario). \$ - - -

COSTO ANUAL DE OPERACION DEL CLORADOR: \$ 84,800.00



COSTO ANUAL DE LA CLORACION:

I	GASTOS FIJOS (Equipo e Instalación)	\$116,710.00
	Amortización del costo a 10 años	\$ 11,671.00
II	GASTOS VARIABLES (Operación y Mantenimiento)	
	ANUALES	\$ 86,995.00
	COSTO ANUAL DE LA CLORACION	\$ 98,666.00

COAGULACION DE LAMAS CON ADITIVOS QUIMICOS.

Los coagulantes empleados, son líquidos viscosos que requieren de ser diluidos para su menor distribución en el --- fluido que requiere ser clarificado. Por su costo, se necesita economizar al máximo su consumo. Los costos diferenciados: con (A) se refieren a la coagulación realizada en los tanques de espesamiento en la planta de beneficio; con (B) los de la - coagulación en la presa de jales.

NO.	EQUIPO Y CARACTERISTICAS	COSTO (M.N.)
19B	Una bomba inyectora de líquidos acuosos no corrosivo ni abrasivo y capacidad de descarga regulable, capacidad máxima = $35 \text{ cm}^3/\text{seg.}$	\$ 9,000.00
20B	Dos válvulas de relevo para sistema de seguridad de la bomba dosificadora; capacidad de descarga = $50 \text{ cm}^3/\text{seg.}$ ; presión de relevo = $4.5 \text{ kg/cm}^2$	\$ 1,350.00
21B	Una línea de inyección de reactivos de 1/4" ó 3/8" de cobre, reforzada y un manómetro para controlar la presión de inyección del floculante.	\$ 495.00

NO.	ORDEN EQUIPO Y CARACTERISTICAS	COSTO (M.N.)
	TOTAL DEL COSTO EQUIPO FLOCULADOR EN EL VASO DE ASENTAMIENTO DE JALES.	\$ 10,845.00

Los costos de mantenimiento (anuales) son:

22B	Refacciones para la bomba dosificadora (baleros, émbolo, cremallera de dosificación, corona de la transmisión del motor, etc.); refacciones para la línea de inyección, etc. (basados en la estimación del inventario de piezas de repuesto en un plazo de 3 años para equipo similar en operación en la planta)	\$ 750.00
23B	Mano de obra para mantenimiento del equipo.	\$ 1,200.00
	TOTAL DE COSTOS ANUALES DE MANTENIMIENTO	\$ 1,950.00

Costos de operación anuales para la floculación en los vasos de asentamiento.

24B	Costo del agua	\$ 300.00
25B	Costo del reactivo (P.E.P.) floculante.	\$ 35,770.00
26B	Costo del alumbrado y servicios auxiliares	\$ 2,800.00
27B	Costo de aceite lubricante para el equipo.	\$ 150.00
27B	Salarios al personal (ver renglón correspondiente en Orden 18)	\$ - - -
	COSTO ANUAL DE OPERACION DE FLOCULACION	\$ 39,020.00

COSTO ANUAL DE LA FLOCULACION EN LOS VASOS DE ASENTAMIENTOS

TO DE JALES:

I	GASTOS FIJOS (Equipo e Instalación)	\$ 10,845.00
II	GASTOS VARIABLES (Operación y Mantenimiento)	\$ 40,970.00
	<b>COSTO ANUAL DE LA FLOCULACION EN JALERO</b>	<b>\$ 51,815.00</b>

COSTO DE LA FLOCULACION EN LOS ESPESADORES DE CONCENTRADO DE MINERALES (4 tanques).

COSTOS DE EQUIPO, INSTALACION Y MANTENIMIENTO son nulos o despreciables ya que la inyección será "por gravedad".

LOS COSTOS ANUALES DE OPERACION SON:

NO. ORDEN	EQUIPO Y CARACTERISTICAS	COSTO (M.N.)
28A	Costo del agua	\$ 1,100.00
28A	Costo del floculante (P.E.P.)	\$ 35,770.00
29A	Salarios al personal (Ver Orden 18)	\$ - - -
	<b>COSTO ANUAL DE OPERACION</b>	<b>\$ 36,870.00</b>

COSTO TOTAL ANUAL DE LA FLOCULACION EN LOS TANQUES ESPESADORES DE CONCENTRADOS MINERALES (anuales).

GASTOS FIJOS	\$ - - -
GASTOS VARIABLES	\$ 36,870.00

COSTO ANUAL DE LA FLOCULACION EN LOS TANQUES  
ESPESADORES:

\$ 36,870.00

COSTOS DEL TRATAMIENTO QUIMICO.

CLORACION

GASTOS FIJOS (anuales)	\$ 11,671.00
GASTOS VARIABLES (anuales)	\$ 86,995.00
COSTO ANUAL DE LA CLORACION:	\$ 98,666.00

FLOCULACION DE LAS LAMAS EN EL VASO DE ASENTAMIENTO.

GASTOS FIJOS (anuales)	\$ 10,845.00
GASTOS VARIABLES (anuales)	\$ 40,970.00
COSTO ANUAL DE LA FLOCULACION	\$ 51,815.00

FLOCULACION DE LOS CONCENTRADOS MINERALES EN LOS ESPESADORES.

GASTOS FIJOS (anuales)	\$ - - -
GASTOS VARIABLES (anuales)	\$ 36,870.00
COSTO ANUAL DE LA FLOCULACION	\$ 36,870.00

COSTO ANUAL DEL TRATAMIENTO QUIMICO A LOS JALES:

A) SIN FLOCULACION EN LA PLANTA	\$150,481.00
B) CON FLOCULACION EN LA PLANTA	\$187,351.00

REFERENCIAS DEL CAPITULO V.

- (1) DURAND, R., "Hydraulic Transportation of Coal and Solid Material in Pipes", London Colloquy of the National Coal Board.
- (2) BINGHAM, E.C., "Fluidity and Plasticity", Fth. Edition, 1922, MacGraw Hill Book Co., New York.
- (3) SMITH, R.W., "Slurry Pumping", Technical Paper, Portland Cement Association, New York, 1958.
- (4) ARMCO "HANDBOOK" OF DRAINAGE AND CONSTRUCTION PRODUCTS", Lakeside Press, R.R. Donnelly & Son., Chicago, -- Ills. U.S.A.
- (5) E.J. WASP, T.L. THOMPSON, T.C. AUDE, Bechtel Corporation CIM Bul., diciembre de 1970.
- (6) McELVAIN, Richard E.; CAVE, Ian; "Transportation of Tailings" Proceedings of the First International Tailing Symposium, Tucson, Arizona; Oct.31 y Nov.1, 2 y 3 de 1972.
- (7) PERRY, John F. & Chilton; Chemical Engineers' Handbook, McGraw-Hill Book, Co., Kōgakusha, 5th.Edition 1975.
- (8) CRANE, Co., Flow of Fluids, Technical Paper No. 31, Chicago, Ill., U.S.A.
- (9) FOUST, Wenzel, Andersen & Clumb, Introduction to Chemical Engineering, McGraw-Hill Book, Co. 3th. Ed. 1966.

## CAPITULO VI

### COMENTARIOS SOBRE LA "LEY FEDERAL PARA PREVENIR Y CONTROLAR - LA CONTAMINACION AMBIENTAL".

El Poder Ejecutivo de la Nación envió al H. Congreso de la Unión una iniciativa de ley, la cual, aprobada y publicada en el Diario Oficial de la Federación el día 23 de marzo de 1972, entró en vigor al día siguiente.

La "Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental", representa el primer paso formal para enfrentar los problemas de contaminación del medio ambiente de manera específica.

Los antecedentes legislativos que tiene esta Ley en el Derecho Mexicano ya contenían entre sus normas algunas que se referían a la prevención de daños a la salud pública originados por contaminantes (en el agua principalmente), pero, por razones de diversa índole, originadas por las condiciones políticas, económicas y sociales, además de las deficiencias de administración pública en la materia, sus limitaciones de aplicación eran muy grandes y sus logros, escasos. Hay que - considerar además que anteriormente, no existía el avance tecnológico desarrollado hasta la fecha, ni estaba tan compleja y numerosa la industria.

#### Antecedentes legislativos.

LEY DE AGUAS DE PROPIEDAD NACIONAL, publicada en el Diario Oficial de la Nación el día 31 de agosto de 1934, cuya vigencia comenzó quince días después. Su Reglamento fué publicado el 21 de abril de 1936.

LEY FEDERAL DE INGENIERIA SANITARIA, publicada en el Diario Oficial el 3 de enero de - 1948.

CODIGO SANITARIO DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS, publicado -  
en el Dia--  
rio Oficial el 12 de marzo de 1955.

REGLAMENTO DE LA LEY REGLAMENTARIA DEL PARRAFO QUINTO DEL ARTI  
CULO 27 CONSTITUCIONAL EN MATERIA DE AGUAS DEL SUBSUELO, publi  
cado  
el 27 de febrero de 1958.

Recapitulando en el contenido de los cuerpos legales mencionados arriba, se advierte la concurrencia de diversas - normas para evitar la contaminación de las aguas y para pro-- tección de la salud pública. Pero su esencia y la finalidad de sus normas se limita a la prevención de daños a la salud, la agricultura y a la industria; sin pretender ir más allá, - al ámbito de la protección o depuración del medio ambiente co mo asunto de salud pública. En esto radica la importancia de esta nueva ley.

En el Artículo Noveno (Cap. Primero) parece estar - contenida la esencia de la nueva ley, respecto a su adminis-- tración pública:

ARTICULO 9o.- El Ejecutivo Federal dictará los decretos y re-- glamentos que estime pertinentes para:

- a) Localizar, clasificar y evaluar los tipos de fuentes de -- contaminación, señalando las normas y procedimientos técni cos a los que deberán estar sujetos las emanaciones, des-- cargas, depósitos, transportes y, en general, el control - de los contaminantes.
- b) Poner en vigor las medidas, procesos y técnicas adecuadas para la prevención, control y abatimiento de la contamina-- ción ambiental, indicando los dispositivos, instalaciones,

equipos y sistemas de uso obligatorio para dicho efecto.

- c) Regular el transporte, composición, almacenamiento y el uso de combustibles, solventes, aditivos y otros productos que por su naturaleza puedan causar o causen contaminación del medio ambiente, así como de vehículos y motores de combustión interna.
- d) Realizar, contratar y ordenar, según corresponda, los estudios, las obras o trabajos, así como la implantación de medidas mediatas o inmediatas que sean aconsejables para prevenir la contaminación ambiental.
- e) Decretar la creación de órganos u organismos que estime necesarios, con la estructura y funciones que el propio Ejecutivo les asigne, en relación con las finalidades que persegue esta Ley; y
- f) Hacer cumplir las disposiciones de la presente Ley.

Principios fundamentales de la nueva Ley contra la contaminación del ambiente.

En el Capítulo Primero de esta Ley aparecen del modo siguiente:

- A) Declaratoria de considerar de interés público todas las actividades encaminadas o relacionadas con la prevención y el control de la contaminación del medio ambiente, así como las de su mejoramiento, conservación y restauración (Art. 1o.)
- B) Declaratoria de considerar como medidas de salubridad general, para regir en toda la República, a las disposiciones y Reglamentos derivados de esta Ley. (Art. 2o.)



- C) Reservar al Poder Ejecutivo la prevención, regulación, -- control y prohibición de los contaminantes (Art. 3o.)
- D) Definir específicamente los conceptos CONTAMINANTE Y CONTAMINACION (Art. 4o.)

#### Legislación relativa a la contaminación del agua.

El Capítulo Tercero trata específicamente a la prevención y control de la contaminación de las aguas. Sus normas pueden ser diferenciadas en tres caracteres: prohibitivas, de autorización (por medio del cumplimiento previo de requisitos) y para fines de control y vigilancia. Se dirigen sus designios a los usos, aprovechamiento y explotación del agua y de las aguas residuales de cualquier origen. También dispone la forma y jurisdicción de las Secretarías de Estado para intervenir en la materia. Establece a nivel general las limitaciones a que se deberán sujetarse las formas de uso y descarga del agua residual o las aguas de propiedad nacional y del subsuelo.

Aunque fuera del capítulo mencionado, tenemos otras normas relacionadas con la contaminación del agua en los artículos 5o. y 6o. del Capítulo Primero (de control, vigilancia y previsión), y en las normas del Capítulo Quinto (sanciones).

#### Legislación relativa a la contaminación del aire.

El Capítulo Segundo de la Ley trata de la prevención y control de la contaminación del aire. Como se estableció -- para las normas contra la contaminación del agua del Cap. Tercero, se diferencian las de este capítulo en tres caracteres: prohibitivas, de autorización (previo cumplimiento de requisi

tos) y para fines de control y vigilancia. Otorga facultades a las Secretarías de Estado idóneas y además especifica fuentes de contaminación (Art. 11) y enuncia especies contaminantes (Art. 10).

Legislación relativa a la contaminación de los suelos.

El Capítulo Cuarto es dedicado a la prevención y -- control de la contaminación de los suelos. Se pueden clasificar también en los tres géneros ya mencionados en las dos secciones anteriores.

Especifica en el Artículo 26 de la Ley que:

"Los residuos sólidos como basuras y otros capaces de producir contaminación, provenientes de usos públicos, domésticos, industriales, agropecuarios y demás, que se puedan acumular o se acumulen en los suelos, deberán reunir las condiciones para prevenir:

- a) La contaminación del suelo mismo.
- b) Alteraciones indeseables en el proceso biológico de los -- suelos.
- c) La modificación, trastornos o alteraciones:
  - 1o. En el aprovechamiento, uso o explotación del -- suelo.
  - 2o. En la capacidad hidráulica de los ríos, cuencas, cauces, lagos, embalses, mar territorial y o---tros cuerpos de agua.

Remite en el Artículo 27:

"Los productos industriales capaces de producir residuos sólidos que por su naturaleza no sean susceptibles de sufrir descomposición orgánica, tales como plásticos, vidrio, aluminio y otros, serán motivo de reglamentación por parte -- del Ejecutivo Federal.

Por último, en el Cap. Quinto se destacan los artículos 31 y 34. El primero exceptúa de sanción alguna la contaminación causada o motivada por actividades puramente domésticas. En el segundo, se complementa en su contenido normativo pues, aún cuando el propósito de la Ley es prevenir y atacar específicamente a la contaminación, no resulta limitativa en su contenido, pues con amplitud de miras remite en lo no dispuesto en ella y en sus reglamentos, al Código Sanitario y sus Reglamentos, a la Ley Federal de Ingeniería Sanitaria, y a las demás leyes que rigen en materia de tierras, agua, aire, flora y fauna y sus correspondientes reglamentaciones.

**APENDICE RECOMENDACIONES GENERALES SOBRE LAS TECNICAS Y METODOS DE MUESTREO Y CUANTIFICACION DE LAS PROPIEDADES Y COMPOSICION DEL AGUA, RESPECTO AL TIPO DE MUESTREO.**

El procedimiento de muestreo deberá estar de acuerdo con el método de análisis escogido.

MUESTRAS CUYAS PROPIEDADES Y CONSTITUYENTES SON AFECTADOS POR CONTACTO CON AIRE.

Será necesario emplear equipo y técnicas específicas de muestreo y análisis y será preferible el análisis inmediato en el mismo sitio del muestreo.

**MUESTREO CONTINUO O INMEDIATA DETERMINACION QUIMICA.**

Requieren de una secuencia bien planeada de determinación, marcado y registro.  
VER TABLA 1.

**MUESTREO INTERMITENTE O POSTERIOR DETERMINACION QUIMICA.**

Las muestras deberán fijarse químicamente o sellarse para evitar reacciones de descomposición o pérdidas.  
VER TABLA 2.

MUESTRAS CUYAS PROPIEDADES Y CONSTITUYENTES NO SON AFECTADOS POR CONTACTO CON EL AIRE.

Dependiendo del tipo de sólidos en suspensión y del método analítico, la muestra deberá o no ser filtrada en el laboratorio. Si se requiere información completa de la muestra, también los materiales en suspensión deberán ser cuantificados.

**PORCIONES SEPARADAS (de una muestra simple).**

Si la propiedad o constituyente a determinar está pre

**MUESTRAS SEPARADAS**

Para la determinación de materia extraíble con cloroformo ó

sente en el aire, se deberá evitar su contacto.

VER TABLA 3

líquidos o materia flotante. - Usar frascos y tapones de vidrio químicamente resistentes o tapones de corcho recubiertos con lámina metálica.

APENDICE METODOS RECOMENDADOS PARA EL ANALISIS DE LAS PROPIEDADES Y COMPONENTES EN EL AGUA.

**TABLA 1**

PROPIEDADES Y CONSTITUYENTES AFECTADOS SI LA MUESTRA ESTA EN CONTACTO CON EL AIRE.	METODO(S) RECOMENDADO(S) PARA SU CUANTIFICACION
Conductividad eléctrica	ASTM-D 1125
Hidrógeno	Conductividad térmica.
Oxígeno	Conductividad térmica.
pH	ASTM-D 1293 y ASTM-E70

**TABLA 2**

PROPIEDADES Y CONSTITUYENTES AFECTADOS SI LA MUESTRA ESTA EN CONTACTO CON EL AIRE	METODO(S) RECOMENDADO(S) A S T M
Acidez y alcalinidad	D 1067
Amoníaco y ión amonio	D 1426-58
Dureza al calcio y al magnesio	D 1126-67
Dióxido de carbono, ión carbonato y ión bicarbonato	D 513
Cloro residual	D 1253-68 y D 1427
Hidrazina	D 1385-67
Ión hidróxido (hidroxilo)	D 514-67
Fierro, ión férrico y ión ferroso	D 1068-68
Ión nitrito	D 1254-67
Oxígeno disuelto	D 888-66 y D 1589-60
pH	E 70 y D 1293
Compuestos fenólicos	D 1783-62
Acido sulfhídrico y sulfuros	D 1255
Dióxido de azufre, ión sulfito y ión bisulfito	D 1339-67

APENDICE (continuación)

TABLA 3

PROPIEDADES Y CONSTITUYENTES QUE NO SON AFECTADOS (++) POR EL AIRE SI LA MUESTRA ESTA EN CONTACTO CON EL.	METODO(S) RECOMENDADO(S) PARA SU CUANTIFICACION. Si sólo se indica con número, significa que se trata de un METODO --- ASTM-D:
Aluminio	857-69
Bario	Por gravimetría o Espectrofotometría de absorción atómica.
Calcio	511-52 y 1126-67
Demanda química de oxígeno	1252-67
Cloruros	512-67
Materia extraíble con cloroformo	1178-60
Cobre	1688-68
Cianuros	2036-68
Ión fluoruro	1179-68
Ión hidróxido (hidroxilo)	514-68
Ión bromuro y ión yoduro	1246-68
Fierro total	1068-68
Plomo	Métodos polarográfico o de la ditizona.
Magnesio	1126-67
Manganeso	858-65
Nitratos	992-52
Olor	1292-65
Aceites y grasas	1178, 1340 y 1891
Materia disuelta y en suspensión	1064-66 y 1888
Iones ortofosfato	515-68
Potasio	1428-64
Sílice	859-68
Sulfatos	516-68

(++) Estas propiedades y constituyentes de el agua, generalmente no resultan afectados por contacto de la muestra con el aire, a menos que se dejen expuestas durante un lapso de tiempo prolongado; tiempo en el cual se verán también afec

tados por el almacenamiento prolongado, la luz, cambios de --  
temperatura, etc.

APENDICE (continuación)

TABLA 4

<u>OTRAS PROPIEDADES Y CONSTITU--</u> <u>YENTES COMUNMENTE ENCONTRA--</u> <u>DOS EN AGUAS INDUSTRIALES O</u> <u>AGUAS DE DESECHO INDUSTRIAL.</u>	<u>METODO (s) RECOMENDADO (s) PARA</u> <u>SU CUANTIFICACION. Si se indi</u> <u>ca con números, se tratará de</u> <u>un METODO A S T M - D</u>
---	--

Color	Platino-Cobalto APHA
Radioactividad	1690, 1890, 1943
Gravedad específica	1429-60
Turbiedad	1889-66
Cromo	1687-67
Níquel	1886-65
Zinc	1691-67
Demanda bioquímica de oxígeno	2329-68
Microorganismos	1128-60
Toxicidad a los peces de agua dulce	1345-59
<u>Detergentes: A B S</u>	<u>2330-68</u>

REFERENCIAS  
BIBLIOGRAFICAS:

Marshall, James R., "CURRENT LEGISLATION", Chemical Enginee--  
ring, Desbookissue, Abril 27, 1970.

Ernest F. Cross., "SAMPLING AND ANALYSIS", Chemical Enginee  
ring, Octubre 14, 1968.

"STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND SEWAGE", A  
merican Public Health Association, New --  
York, N.Y.

1969 BOOK OF "ASTM STANDARDS, Part 23, 'WATER, ATMOSPHERIC A--  
NALYSIS", American Society for Testing --  
and Materials, Philadelphia, Pa.



"MANUAL ON WATER", 3th Edition, STP 442, American Society for Testing and Materials, 1969, Philadelphia, Pa.

A continuación se establece una clasificación de -- los contaminantes en relación con los tratamientos para su eliminación:

CONTAMINANTES

TRATAMIENTO ANTICONTAMINANTE

INSOLUBLES SOLIDOS

Materiales grandes y pesados. Sedimentación en desarenadores o coladores, según propiedades específicas del material contaminante.

Coloides orgánicos.

Floculación o tratamiento biológico.

Coloides inorgánicos.

Floculación.

INSOLUBLES LIQUIDOS

Decantación con o sin flotación

SOLUBLES INORGANICOS

Inertes

Dilución o ablandamiento.

Nutrientes

Tratamiento biológico.

Tóxicos

Intercambio iónico.

Acidos ó alcalinos

Neutralización y dilución.

SOLUBLES ORGANICOS

Degradables biológicamente.

Tratamiento biológico o concentración e incineración.

No degradables biológicamente.

Adsorción física o concentración e incineración.

Técnicas específicas de muestreo.

La diferencia en la forma de tomar las muestras se debe a las características propias de las sustancias que la componen y del efecto nocivo para la prueba que ejercen algunos agentes sobre la sustancia o propiedad a determinar, de estar presentes.

a) OXIGENO DISUELTTO.- Se coloca la botella para O.D. en el muestreador y se sumerge enseguida en el agua a una profundidad mínima de 5 cm. bajo la superficie del agua y sobre la parte más superior del muestreador. Se agita moderadamente el aparato para eliminar las burbujas de agua que pudiesen quedar aprisionadas. El cese de burbujeo indicará que la botella está llena. Se extrae el aparato del agua, y de éste, la botella para O.D. Se recomienda proceder de inmediato a su análisis, pero si ello no es posible, puede tolerarse una demora hasta de 6 hrs. en su análisis agregando de inmediato el fijador del oxígeno, enfriando la muestra y protegiéndola del sol.

PRESERVATIVO (fijador de oxígeno):  $MnSO_4$  sólido (100 mg./muestra) y enseguida solución álcali-yoduro (NaOH + KI) 1 ml./muestra.

b) ANALISIS FISICO-QUIMICOS.- Se toma con el muestreador para O.D., pero si no es posible, se toma con una cubeta de plástico transvasando su contenido con un embudo a la botella de muestreo de plástico con tapón hermético. Enseguida habrá que refrigerarla convenientemente hasta el momento de analizarla. El tiempo máximo de demora para su determinación dependerá del contaminante y lo dará la experiencia, como ya lo apuntamos en las técnicas generales de muestreo.

c) ANALISIS QUIMICO-BACTERIOLOGICOS.- Se añade al frasco mues

treador, previamente a su esterilización, 0.1 ml. de tiosulfato de sodio al 10% para inactivar y detener la acción del cloro presente tal vez en el agua.

El frasco se sumerge aproximadamente 30 cm. bajo la superficie del agua, manteniendo la boca del recipiente orientada contra la corriente; se destapa en ese momento, y se llena hasta  $3/4$  partes de su volumen (una cantidad menor sería in suficiente para el análisis y una mayor disminuye la cantidad de aire disponible, necesario por otra parte, para permitir la homogeneización de la muestra). Se tapa el frasco sin sacarlo del agua.

El exámen de la muestra deberá efectuarse lo más — pronto posible para evitar proliferación bacteriana; pues si se demora 3 horas en su análisis, los resultados ya pueden ser erróneos.

El transporte de la muestra debe ser al abrigo de la luz (envuelta en papel de aluminio) y a baja temperatura, hasta el momento del análisis. Para evitar contaminación de las muestras habrá que evitar tocar con los dedos, o con algún material ajeno, el cuello o el tapón del frasco.

d) GRASAS Y ACEITES.— Los recipientes de las muestras deberán ser lavados en su etapa final de limpieza con algún solvente orgánico y secado con aire seco y lim pio a presión. La muestra se toma en la superficie de la corriente sin permitir que se llene totalmente el frasco — pues de ser así habría pérdidas de aceite flotante. El aná lisis debe ser inmediato, para evitar la acción de descomposición bacteriana. Si ésto no es posible, la muestra deberá ser preservada acidulandola con ácido sulfúrico 1:1 y/o manteniéndola a 4°C. Tiempo de demora máximo para su aná lisis: 12 hrs.

e) FENOLES.- Se toman muestras simples o compuestas con frascos limpios, de plástico o de vidrio. El procedimiento será, según convenga, de acuerdo al usado para O. D. o para Grasas y Aceites dados anteriormente. Sin aditivos conservadores la prueba puede ser efectuada dentro de las siguientes 4 horas. Si el lapso va a ser mayor, se deberá preservar contra la oxidación química y bioquímica acidulando con ácido sulfúrico a un pH de 4.0 aproximadamente. En el caso de que el ácido sulfhídrico esté presente, la muestra se deberá aerar brevemente o ser agitada con cuidado. El preservativo bioquímico de los fenoles es el sulfato de cobre que en concentración de 1.5 g./lto. de muestra (usando  $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ ) evitará (inhibirá) la oxidación. Después se mantendrán las muestras a 5-10°C. Tiempo máximo de demora para el análisis en estas condiciones: 24 hrs.

f) METALES PESADOS.- PARA ALUMINIO, CADMIO, ZINC, COBRE, PLATA, PLOMO, se usa botella de plástico o de vidrio con tapón del mismo material. Con un procedimiento semejante al empleado para "Análisis Físico-químicos" se toma la muestra y enseguida se acidula con HCl ó  $\text{HNO}_3$  concentrado a un pH de 3.5 aproximadamente, para prevenir la precipitación o adsorción en las paredes del envase. Para los cationes de Zn, Cu, Cr, Ag y Pb se acidula la muestra con 5.5 ml. de  $\text{HNO}_3$  conc. por litro de muestra. El  $\text{Cr}^{6+}$  y el CROMO TOTAL requieren muestrearse con recipiente nuevo cada vez y determinarse el mismo día.

Para el muestreo de los cationes de Fe y Mn se emplea una botella de vidrio enjuagada con ácido y después con agua destilada. El objeto de tal limpieza es que en caso de presentarse fierro coloidal éste se adherirá con cualquier vestigio de impurezas en la pared de vidrio. Sobre pared de plástico esto es inevitable. El fierro coloi

dal se forma por oxidación de los compuestos de fierro de estado de oxidación más alto.

- g) FOSFATOS.- Se toman muestras simples o compuestas. Se toman con el procedimiento usado arriba en recipientes lavados finalmente con HCl diluido y ca-  
liente y enjuagado con agua destilada. Debe evitarse el lavado con detergentes pues éstos continen generalmente --  
fosfatos. No deben usarse recipientes de plástico, pues -  
éste adsorbe comúnmente los fosfatos.

La preservación de la muestra dependerá del estado químico del fósforo y al tiempo de demora. Entonces tenemos lo siguiente:

- 1) Si se va a diferenciar las formas químicas del fósforo, se recomienda la filtración inmediata de las muestras - después de su colección y después congelarla a  $-10^{\circ}\text{C}$  o menos. Si la muestra además va a ser almacenada por un período relativamente grande de tiempo, se añaden 40 mg. de  $\text{HgCl}_2$  por litro de muestra.
- 2) Si se va a determinar fósforo total, la muestra no requiere de preservativos químicos.

La cristalería empleada para el análisis de fosfatos debe reservarse exclusivamente para ello, considerando ésto desde la etapa de muestreo. Se deberán conservar los recipientes llenos con agua destilada y en ocasiones con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado durante unas 12 horas y luego enjuagarse profusamente con agua destilada.

- h) SILICE.- La muestra se toma con la técnica que ya hemos venido reptiendo y en recipientes de plástico, especialmente si no se realiza el análisis de inmediato.

- i) **DETERGENTES.**- Con el procedimiento general ya mencionado - se toman las muestras en recipientes de vidrio, evitando tomar muestras en sitios donde haya altas - concentraciones de espuma, las que de persistir, deberán - ser despejadas antes de sumergir el recipiente, ya que la adsorción causada por el equipo de vidrio nos puede llevar a grandes errores.

CONCLUSIONES

- A) Las leyes actuales en nuestro país establecen normas muy estrictas para el control de residuos emitidos en forma de polvos o fluidos. Ello obligará tarde o temprano a decidir sobre las medidas a adoptar para reducir lo necesario los contaminantes en los efluentes.
- B) Las medidas que se tomen no producirán a la empresa ganancia alguna, pero evitarán los graves daños que pueda originar en el medio ambiente, lo cual pudiera traer consigo problemas legales tan serios que opongán a las Autoridades competentes contra los intereses de la empresa.
- C) Debido a las condiciones y propiedades de los "jales" que se manejan en la Planta de Beneficio, no resulta práctico el instalar un tanque espesador de jales desde el cual se retornara el agua y se enviara a la presa el lodo espeso resultante. Por lo tanto, quedan dos alternativas: el tratamiento químico a los efluentes de la presa de jales y a los jales descargados sobre la misma, para auxiliar su asentamiento rápido y la eliminación de tóxicos por medio de descomposición química. La otra alternativa es el retorno completo del agua efluente de la presa, en las condiciones que salga de la misma y sin tratamiento químico auxiliar.
- D) Las dos alternativas citadas presentan costos globales ecuivalentes entre sí, pero que se diferencian en los costos iniciales y en el mantenimiento. El tratamiento químico resulta más económico porque no es necesario el consumo de energía eléctrica, pero presenta el riesgo de depender del precio que tengan en el mercado los aditivos químicos y el costo de mantenimiento del equipo para el tratamiento.
- E) La recirculación del agua de retorno puede resultar práctica cuando la demanda de agua para otros servicios es impor

tante o necesaria. En tales condiciones puede observarse que el incremento en los costos de mantenimiento y operación no -- son tan severos como en el caso de un tratamiento químico, don de el incremento anual de costo para el último año fué del --- 45.8%, mientras que en el de las refacciones tan solo fué del 38.2%.

NOTA: Esta situación es previa a la devaluación del peso.

F) Considerando lo anterior se recomienda el empleo de una lí nea de retorno de "agua residual del jalero" por las si--- guientes razones:

- a) Es una manera radical de impedir la contaminación de -- los terrenos vecinos.
- b) El agua que se economiza (casi 2 millones de litros -- por día) puede ser utilizada con un leve tratamiento -- en otros usos industriales o bien el retorno de esta a gua a la misma planta puede sermos útil para recupera ción de jales procesables aún.
- c) No se requiere de un control químico estricto.
- d) El sistema de bombeo que provee esta alternativa nos -- sirve para controlar mejor la distribución de la des-- carga de los "jales" y para controlar el nivel de la -- laguna de asentamiento, principalmente en los casos de lluvias torrenciales, las cuales se ha visto, represen tan un grave riesgo para la estabilidad de la presa.
- e) No representa serio peligro el operar estos sistemas -- como el que presenta el manejo de cloro, ni presenta -- la posibilidad de desperdicio de algún aditivo por los riesgos de trabajo a que se ve sujeto el personal.



G) Es necesario iniciar un programa de reforestación de las áreas contaminadas para impedir que haya formación de nubes de polvo que extiendan la zona de contaminación y persista el problema de la esterilización de los terrenos.

H) Es necesario impedir que haya emisiones excesivas de contaminantes sólidos y en solución, ya que en esos casos se pone en peligro la vida de la fauna silvestre o de los ganados a los que se hace pastar en esas zonas contaminadas y de los cuales se alimenta una parte de la población.

I) Es conveniente para un mejor control del proceso en la Planta usar los métodos espectrofotométricos de absorción atómica, aparato que para ellos fue adquirido por la empresa, que seguir dependiendo de un sitio tan limitado en capacidad como el Laboratorio de Ensayes tradicional. Ello optimizará la producción y evita el abuso en el empleo de los aditivos químicos.

J) Para encontrar colaboración en las obras de reforestación y en la recuperación de la zona contaminada, convendría instruir a los campesinos sobre la forma de manipular su terreno para inhibir el efecto de impermeabilización que provocan los jales.

K) Resulta inaplazable la necesidad de emplear una mayor área de asentamiento para los "jales", ello repercute en una economía a largo plazo en minerales recuperables, los cuales en el futuro seguramente tendrán un precio rentable para su reexplotación.



## **TESIS "CLASICAS"**

**PASEO DE LAS FACULTADES 32-D  
FRACC. COPILCO UNIVERSIDAD  
CIUDAD UNIVERSITARIA 20. D. F.**