



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**PROYECTO DE LA PRESA  
DE JALES " LA CIENEGA, DGO**

**T E S I S**

Que para obtener el Titulo de  
**INGENIERO CIVIL**

**P R E S E N T A**  
Irma Yolanda Orozco Escoto  
Asesor: Ing. Hugo Haaz Mora

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

MEXICO, D.F.

1993



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 está 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.

# PROYECTO DE LA PRESA DE JALES "LA CIENEGA", DGO.

## INDICE GENERAL

	Pág.
<b>I INTRODUCCION</b>	
a) Generalidades	1
b) Jales	2
c) Presas de jales	3
<b>II CRITERIOS BASICOS DE PROYECTO</b>	
1) UBICACION DE LAS PRESAS DE JALES	5
2) ESTUDIOS PREVIOS	8
3) TOPOGRAFIA	9
4) GEOLOGIA	
a) Generalidades	10
b) Exploración geotécnica	12
5) HIDROLOGIA	13
6) CLIMATOLOGIA	14
7) ECOLOGIA.	15
8) DATOS REQUERIDOS PARA EL PROYECTO BASICO	
a) Generalidades	17
b) Infiltración vertical	18
c) Sistemas de transporte de lodos	19
d) Características de los desperdicios de minas	20
9) RECOMENDACIONES GENERALES	22
10) ESTABLECIMIENTO DE CRITERIOS BASICOS	23
<b>III CRITERIOS BASICOS DE LA CONSTRUCCION Y LA OPERACION</b>	
1) GENERALIDADES	
a) Planes de Construcción	30
b) Planes de Operación	31
c) Planes de Abandono	31
1) Revisión del Proyecto y de los Procesos Constructivos y Operativos	32

	Pág.
2) CONCEPTOS BASICOS	32
3) CLASIFICACION GENERAL DE LAS PRESAS DE JALES	
a) Aspectos topográficos	33
b) Aspectos hidrológicos	34
c) Aspectos sismológicos	34
4) CLASIFICACION DE LAS PRESAS DE JALES POR GRUPOS Y CATEGORIAS	35
5) ORDENES DE PREFERENCIA PARA DECISIONES	35
a) Método constructivo	36
b) Análisis de estabilidad	38
c) Instrumentación	39
d) Alcantarilla de decantación y drenaje	40
6) CONSTRUCCION DE LA CORTINA MEDIANTE EL ALMACENAMIENTO CON HIDROCICLONES	
a) Generalidades	40
b) Objetivo del "Cicloneado"	41
c) Técnicas de almacenamiento con hidrociclones	42
d) "Cicloneado" con el método constructivo "aguas arriba"	43
e) "Cicloneado" con el método constructivo "aguas abajo"	44
7) SISTEMAS DE EFLUENTES	
a) Definiciones	44
b) Requisitos de construcción	45
c) Requisitos de operación	46
d) Manejo del agua en el estanque y de la playa de jales	46
8) SUPERVISION DE LAS PRESAS DE JALES DURANTE SU CONSTRUCCION	
a) Supervisión de la estabilidad y la infiltración	48
b) Infiltración a través de los revestimientos	48
c) Perfiles de resistencia y compacidad relativa	49
9) REGISTROS	
a) Generalidades	50
b) Medidas correctivas	50
c) Mediciones	52
10) CIERRE Y ABANDONO	53
11) ESTABLECIMIENTO DE CRITERIOS COMPLEMENTARIOS	54
FIGURAS Y CUADRO	57

	Pág.
<b>IV CARACTERISTICAS DEL SITIO (LA CIENEGA)</b>	
1) LOCALIZACION	66
2) DATOS DE PROYECTO	
a) Cantidad de efluentes	66
b) Características del sitio	67
3) ESTUDIO GEOLOGICO	
a) Localización	68
b) Objetivo del estudio	68
c) Método de trabajo	69
d) Descripción geológica del área	69
e) Conclusiones y Recomendaciones	71
4) DATOS HIDROLOGICOS	
a) Lluvias mensuales y anuales	73
b) Lluvias máximas en 24 horas	74
c) Volumen de escurrimiento superficial aportado al vaso de la presa de jales	76
d) Avenida de diseño por el Método de la Envolvente de Caudales Máximos	77
FIGURAS Y TABLAS	79

#### **V PROYECTO DE LA CORTINA CONTENEDORA**

1) ALTERNATIVAS DE TRAZO	
a) Análisis de alternativas	98
b) Cantidades de obra para la cortina	101
2) ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES PARA CONSTRUCCION	101
FIGURAS Y TABLAS	103

#### **VI PROYECTO DE LA ALCANTARILLA DE DECANTACION Y DRENAJE**

1) ASPECTOS GENERALES	
a) Generalidades	118
b) Dimensionamiento	118
c) Capacidad de la alcantarilla	118
d) Plan de construcción	120
e) Recuperación del agua de operación	121
f) Captación de aguas limpias	121

	Pág.
<b>2) DISEÑO ESTRUCTURAL</b>	
a) Generalidades	122
b) Cargas sobre la alcantarilla	122
c) Espesor y armado de la bóveda	125
d) Cantidades de obra	126
<b>FIGURAS Y TABLAS</b>	127
<b>VII CONCLUSIONES</b>	136
<b>REFERENCIAS</b>	138

# CAPITULO I

# INTRODUCCION

## a) Generalidades

La industria minera mexicana ha tenido un gran desarrollo en las últimas dos décadas y ha requerido de la construcción de presas cada vez más grandes para el almacenamiento de los residuos sólidos más el agua de transporte, provenientes de las plantas concentradoras de mineral.

En nuestro país se han estudiado varios casos de fallas de presas de jales y se han desarrollado métodos para mejorar el Proyecto, la Construcción y la Operación de estas obras.

Este trabajo tiene como objetivo transmitir los conocimientos básicos a los ingenieros civiles para entender los aspectos más importantes que conforman y gobiernan el buen comportamiento de las presas de jales y comprender las características principales de éstas, así como algunos de los factores que intervienen para lograr su funcionalidad.

Los capítulos segundo y tercero tienen la finalidad de lograr un conocimiento general sobre los puntos más sobresalientes de los Criterios Básicos para el Proyecto, la Construcción y la Operación de las presas de jales.

Teniendo los conocimientos generales estudiados con anterioridad se podrán comprender los siguientes capítulos, en donde se presenta el Proyecto de la presa de jales "La Ciénega" que, para su elaboración, fué necesario recurrir a los Criterios Básicos antes indicados.



## **b) Jales**

El jal es el producto que queda después de que se han extraído los minerales con valor comercial. Es el mineral sin valor comercial que queda a la "cola" del proceso de molienda, flotación y espesado, términos mineros que se explican a continuación:

El mineral se muele o tritura con un espesor equivalente al de la arena fina y el material con valor comercial se extrae en la forma de un "concentrado", por flotación o procesos químicos. Los jales "salen" del tanque espesador de colas.

Por lo general, al final del proceso los jales se presentan en la forma de lodos (sólidos + agua) y se transportan en esa forma a la "estructura" en la que se depositan (presa de jales), por conveniencia y economía. Precisamente una de las funciones de las presas de jales es retener dichos lodos durante el proceso de sedimentación y permitir que los sólidos de jales dejen de estar en suspensión y se depositen en el fondo del vaso de almacenamiento.

Muchas veces se utiliza un sistema de decantación y drenaje para remover de la presa el agua clarificada de los lodos, principalmente para reutilizarla o para desecharla, en caso necesario. En otras ocasiones se extrae directamente el agua libre en el estanque del vaso de almacenamiento, mediante sifones o bombas montadas en balsas.

### c) Presas de jales

Las presas de jales almacenan residuos sólidos transportados con agua y tienen muchas características en común con las presas para almacenamiento o derivación de agua. Sin embargo, sus necesidades de operación son diferentes, como lo son también muchas consideraciones en cuanto al calendario de trabajo, a las técnicas de construcción y a las características del mineral.

Las presas de jales tienen cuatro elementos básicos, a saber:

- la cortina contenedora,
- el vaso de almacenamiento,
- la alcantarilla o tubería de decantación y drenaje y
- el vertedor de demasías (o excedencias).

Las presas de jales se proyectan para “abandonarse” cuando están colmadas y son explotadas o beneficiadas de nuevo, algunas veces.

Su objetivo final es el almacenamiento de residuos sólidos y no la captación de agua, que es sólo incidental a su operación. Por lo tanto, no se recomienda la aplicación directa de la tecnología para presas de agua, además de que tal aplicación puede resultar onerosa.

Antes de iniciar la construcción de una presa de jales se requiere tener un conocimiento general sólido sobre los Criterios Básicos para el Proyecto, la Construcción y la Operación de estas obras, únicas en donde se conjuntan simultáneamente estas actividades; es decir, se proyectan, construyen y operan normalmente al mismo tiempo.

**El tema de las presas de jales es todavía desconocido en muchas áreas de la carrera de ingeniería civil y es por eso que esta tesis pretende ser una herramienta introductoria para los estudiantes de la Universidad Nacional Autónoma de México.**

## CAPITULO II

## **CRITERIOS BASICOS DE PROYECTO**

### **1) UBICACION DE LAS PRESAS DE JALES**

Para empezar, la ubicación de una mina se establece con base en la localización del yacimiento. Tan pronto como las exploraciones geológicas indiquen la existencia de una mina en potencia, deberá considerarse la ubicación para la planta concentradora y para el depósito de los jales.

La ubicación de la planta concentradora o beneficiadora del mineral, por lo general se selecciona con la finalidad de evitar costos por concepto del transporte de material no utilizable, como son los jales, los residuos industriales o los de minas. Por lo tanto, la localización de las plantas se escoge con base en un análisis de costos en el cual, el almacenamiento de los jales puede y de hecho ha determinado la localización de la planta de beneficio.

Al seleccionar un sitio deben evaluarse las consecuencias de una falla, levantando planos de inundaciones para mostrar hasta donde fluirían los lodos de jal, a qué altura de las laderas del valle llegarían y a cuántas personas afectaría en su trayectoria.

Las propiedades, la distribución y la estabilidad de los jales, así como el costo por tonelada de jal y la disponibilidad de terrenos, centros de población y agua, contribuyen a determinar la localización de las presas de jales.

Es importante hacer énfasis en los aspectos topográficos, hidrológicos y sísmicos, dominantes en nuestro país.

Existen modelos de investigación de operaciones para tomar decisiones sobre el sitio más favorable o atractivo para almacenar jales, los cuales toman en cuenta varios aspectos sobre:

- *Riesgos* (estabilidad dinámica durante un sismo o explosión en la mina; deslizamientos de taludes por saturación de suelos no controlada con o sin tubificaciones; derramamiento sobre la cortina de los lodos o el agua libre por incapacidad de almacenamiento; etc.).

- *Ingeniería Económica* (transporte y colocación de materiales para la cortina o jales; instalación de instrumentos para observación, como piezómetros e inclinómetros; etc.).

- *Ecología* (disciplina que es mandatoria en las decisiones del mejor sitio para alojar una presa de jales).

La protección del ambiente contra los escurrimientos, la infiltración y el polvo (cuando son nocivos), así como la imagen de una presa estéticamente aceptable, son consideraciones con las que se puede cumplir en el proyecto, en casi cualquier sitio. Esta es una preocupación mundial, como lo manifiesta en el aspecto ecológico la Secretaría de Desarrollo Social en México.

Se debe considerar el tipo de suelo para la cimentación de la cortina contenedora y la extensión del terreno en la zona del vaso de almacenamiento para el tonelaje total diario que se depositará, de preferencia en un sitio "aguas abajo" de la planta concentradora.

En las zonas cercanas a los centros de población, los sitios para el almacenamiento de jales a menudo necesitan ser rehabilitados para otros usos y no para su utilización natural inicial. Esto no siempre es compatible con la estabilidad de las cortinas contenedoras, la cual debe tener siempre prioridad, principalmente desde el punto de vista ecológico.

En virtud de que la vida útil de las presa de jales en forma general aumenta paulatinamente hasta su abandono, las geometrías de las cortinas contenedoras pueden variar, según cambien los procesos de las minas y de las plantas concentradoras.

La presa convencional generalmente se construye de material con especificaciones estándar y controlado para almacenar agua. Por otra parte, una presa de jales se construye con material sobrante, de préstamo, procesado o una combinación de ambos, para almacenar sólidos e incidentalmente agua.

En la mayor parte de las presas de jales, cuando estructural y económicamente es posible, se utiliza material proveniente de residuos mineros o industriales, haciendo que queden íntimamente ligados la cortina y el material almacenado. Se trata entonces de material de "descapote", rezaga de mina superficial o jales industriales, considerados como materiales de construcción, no como desperdicios.

Además del almacenamiento de los jales, las presas tienen otras funciones, como la clarificación del agua y, algunas veces, como depósito de agua para las operaciones de la planta concentradora de mineral.

Habiendo decidido sobre el tipo más conveniente de presa de jales, se deberá determinar el tamaño, la altura, los procedimientos de construcción, supervisión, control de calidad y operación, aunados a las indispensables ingenierías básica y detallada, aunque una presa se puede construir al nivel de anteproyecto.

## 2) ESTUDIOS PREVIOS

Se deberá obtener información sobre:

- *Topografía* (incluyendo la localización de ríos, arroyos, viviendas e instalaciones y obras subterráneas, etc.).

- *Geología* (naturaleza, propiedades y disposición de las diferentes capas o estratos y formaciones; afloramientos de roca y características estructurales; sismicidad; etc.).

- *Hidrología* (caudal de arroyos y magnitud de inundaciones; localización y fluctuaciones del manto freático; etc.).

- *Climatología* (distribución y valores extremos de la precipitación pluvial; patrones de temperatura, evaporación, nevadas y heladas; duración y penetración de las mismas; etc.).

- *Ecología* (efectos adversos al ocurrir una catástrofe y efectos favorables de paisaje; control de contaminantes, como el polvo e infiltraciones nocivas; etc.).



### **3) TOPOGRAFIA**

En cuanto a la topografía, generalmente se hace uso de mapas y fotografías aéreas. Si no las hay disponibles, pueden hacerse levantamientos topográficos, en caso necesario.

Los mapas deberán incluir: curvas de nivel, afloramientos de rocas, áreas boscosas, drenaje superficial o subterráneo, caminos de acceso y todos aquellos elementos que puedan afectar o ser afectados por el depósito de jales, afectar la seguridad del mismo, o afectar los bancos y puntos de levantamiento, pozos y perforaciones.

La topografía es importante para determinar el tipo más económico de depósito que pueda realizarse, el método de vaciado y las alturas previstas de la cortina, en función del espacio potencial para el almacenamiento y el del volumen de jales, así como de la velocidad permitida para el aumento de la altura del almacenamiento (rapidez de alzamiento).

Debido a los riesgos de contaminación del agua ocasionados por los productos con los que opera la mina, es necesario conocer la localización de arroyos y ríos y las condiciones hidrológicas del lugar.

#### **4) GEOLOGIA**

##### **a) Generalidades**

El conocimiento a conciencia de la geología regional es necesaria para la ubicación adecuada de los sondeos exploratorios de perforación y para determinar la extensión de las capas de arcilla, arenas y gravas que pudiera haber. Los diversos tipos de rocas, las fallas y la mineralización, necesarios para la delimitación de los yacimientos, también ayudan en la selección de un sitio apropiado para los depósitos de jales.

Conviene tomar muestras inalteradas y realizar ensayos para evaluar las propiedades geotécnicas, tales como granulometría, resistencia al esfuerzo cortante, cohesión, densidad, contenido de agua y clasificación de los suelos.

También se recomienda excavar pozos a cielo abierto dentro del área del depósito de jales y realizar muestreos para determinar si el material puede ser utilizado para la construcción de los bordos iniciadores o cortinas contenedoras. Es importante conocer el tipo y el volumen de los diversos materiales disponibles.

Cuando se efectúen sondeos exploratorios, se debe llevar una cuidadosa bitácora de las perforaciones, indicando la presencia de los mantos freáticos regionales y/o aislados, tomando muestras del agua a diferentes niveles en y bajo la zona de la cortina.

Conviene también conservar las perforaciones debajo de la cortina para hacer pruebas periódicas de la calidad del agua antes de la operación de la mina, así como durante toda su vida. La permeabilidad del suelo reviste una gran importancia por la misma razón.

Para los estudios geológicos se utilizan mapas y documentos existentes (por ejemplo de INEGI) y se realizan investigaciones adicionales por medio de pozos a cielo abierto, zanjas, galerías, perforaciones con muestreo, pruebas geofísicas y de permeabilidad.

Debe hacerse un estudio completo del suelo o terreno de cimentación para asegurar la estabilidad de la presa. Un problema más frecuente cada día es el minado debajo de un embalse activo o inactivo de jales. La resistencia de las formaciones geológicas entre el depósito y la zona de trabajos mineros es de primordial importancia, porque se deben evitar hundimientos durante la operación de la mina.

La presa de jales debe proyectarse para resistir el máximo sismo probable en el lugar. La magnitud, la distancia del lugar y la profundidad del máximo sismo registrado deben considerarse; a partir de estos datos podrán predecirse su aceleración máxima en lecho rocoso, su velocidad máxima y su desplazamiento.

Los sismos pueden originar la licuación del material depositado, modificando el equilibrio de la cortina, aún cuando ni ésta ni sus cimientos lleguen a licuarse.

## **b) Exploración geotécnica**

La exploración geotécnica requerida deberá incluir:

- un reconocimiento geológico-geotécnico superficial del lugar
- pruebas "*in situ*"
- pruebas de laboratorio
- datos recopilados de otros lugares similares

Las inspecciones del lugar, efectuadas por un geólogo y un ingeniero geotécnico, permiten definir y establecer los programas de reconocimiento que sean necesarios, mediante pozos, zanjas, galerías, sondeos mecánicos y geofísicos.

Las pruebas "*in situ*" se llevan a cabo durante el programa de perforación, cuando menos parcialmente y éstas comprenden:

- la instalación de piezómetros para la medición de la presión de poro en diferentes épocas del año, antes y después de la época de lluvias,
- la ejecución de pruebas en el lugar de algunos materiales y a diversos niveles durante el sondeo, para determinar la permeabilidad de los suelos y las rocas, por inyección o por extracción de agua (preferentemente), con piezómetros de control localizados a diversas distancias del pozo de bombeo,
- la realización de pruebas "*in situ*" en los sondeos (penetración estándar, penetrómetros o medidores de presión, cono eléctrico, veleta, etc.), para obtener los parámetros de resistencia y deformación del terreno natural,
- la medición de la compacidad (Ref. 1) y/o consistencia (peso volumétrico natural) "*in situ*" (con arena o con densímetro de membrana, o con un densímetro nuclear).

El programa de exploraciones debe incluir sondeos profundos para verificar la presencia de yacimientos minerales que pudiera haber debajo del sitio propuesto y cuya extracción pudiera afectar la estabilidad futura. A veces también existen obras mineras muy antiguas que es necesario detectar antes de la construcción de una presa de jales.

## 5) HIDROLOGIA

El proyectista debe considerar los efectos del clima normal sobre la construcción y los métodos de operación propuestos; también debe calcular y asegurar que la estructura sea capaz de controlar las avenidas de diseño.

La ecuación fundamental hidrológica e hidráulica que debe satisfacerse durante la operación del embalse es:

$$ALIMENTACION = ALMACENAMIENTO + DESCARGA$$

Los elementos del término "alimentación" se deben a la precipitación directa (menos la evaporación) sobre el área del estanque y a los escurrimientos de otras áreas de drenaje tributarias cercanas, y a la descarga de otros embalses en la cuenca de captación y de drenaje, flujo de arroyos, infiltraciones de agua frática, recuperación de infiltraciones de aguas residuales de las minas y del proceso industrial y lodos, etc.

El área de la presa deberá proporcionar un almacenamiento prácticamente inmediato; sin embargo, las propiedades de la superficie y del subsuelo del área de captación suministrarán alguna capacidad de almacenamiento temporal.

La existencia de decantadores y vertedores, la reutilización del agua embalsada por la planta, la evaporación y la infiltración no recuperada constituyen parte de la descarga.

Las condiciones climáticas locales, las restricciones reglamentarias sobre la descarga del agua almacenada y la necesidad del propietario de reutilizar el agua de proceso, son los principales factores determinantes de la importancia en los términos de la ecuación.

Es necesario hacer un análisis sobre precipitación pluvial anual, caudal de corrientes de agua durante las tormentas, escurrimientos estacionales y gráficas de temperaturas. Se requiere un estudio cuidadoso del flujo de agua a través de la zona de almacenamiento, antes de construir la presa, durante la vida de las operaciones y después de su eventual abandono.

## 6) CLIMATOLOGIA

El ingeniero proyectista debe conocer el clima de la zona, haciendo uso de la información en las oficinas gubernamentales de meteorología más próximas, a menos que se encuentren alejadas de la ubicación de la(s) mina(s), en cuyo caso deberá instalarse una estación meteorológica en el lugar para registrar la precipitación pluvial por meses, la evaporación, los caudales, la velocidad y la dirección del viento, así como la temperatura.

Las bajas temperaturas del invierno pueden afectar el procedimiento de almacenamiento de los jales. En las regiones muy frías, como las del norte del país, deben considerarse inversiones y costos de operación adicionales para prever condiciones de congelamiento y deshielo que pudieran presentarse.

El proyecto debe ser tal que la captación del agua de lluvia no modifique de manera significativa el nivel del agua en los vasos de sedimentación, debiendo fijarse estos niveles para seguridad y con el objeto de obtener el grado de clarificación deseado en la operación.

Las fuentes de información y los métodos usados para obtener los datos necesarios son los mismos que los empleados para el estudio de presas hidráulicas. La diferencia reside esencialmente en el estudio de las propiedades y las características de los jales mineros o residuos industriales y sus efectos.

## 7) ECOLOGIA

Deben investigarse las modificaciones que pueden ocasionar los desechos a las características mineralógicas, físicas y químicas del suelo. También deberán considerarse siempre los posibles efectos dañinos del agua infiltrada, aún cuando la infiltración sea en pequeñas cantidades.

El impacto ambiental de la cortina y del vaso de almacenamiento debe ser considerado, así como los límites físico y económico del daño a vidas y propiedades, en caso de falla de la presa.

Las consideraciones ambientales en relación con la estimación de costos deberá incluir factores tales como control de polvos, infiltraciones de agua, control de la contaminación y compatibilidad con la topografía.

La seguridad pública y el respeto al ambiente son similares al caso de una presa de agua. Sin embargo, en el caso de las presas de jales existen disposiciones adicionales para hacer frente a los mayores riesgos de:

•*Contaminación del agua*, debida a la presencia de sales solubles en el mineral o introducidas en éste durante el procesamiento, o la formación de sustancias nocivas en el curso de la alteración o del envejecimiento del material almacenado. Se debe evitar verter aguas contaminadas provenientes de la operación, o agua pluvial que se infiltra a través del material almacenado en las corrientes de agua o en el manto freático.

•*Contaminación del aire*, por polvo o gases provenientes del mineral, de su procesamiento o de las transformaciones químicas que se presentan durante el envejecimiento del material almacenado.



## 8) DATOS REQUERIDOS PARA EL PROYECTO BASICO

### a) Generalidades

Las toneladas diarias de material minado, la mineralogía del material y las características de la operación minera (tales como el diagrama de flujo de la planta y el análisis de granulometría), todas tienen un impacto directo sobre la presa.

Deberán conocerse el tonelaje diario, el anual, los aumentos esperados de tonelaje, su granulometría y el tonelaje máximo anual a depositar.

De ser posible, un sitio debe contener los jales durante toda la vida de la mina, o deberá ser del tamaño máximo factible teniendo en cuenta la seguridad y economía de la inversión y de los costos de explotación.

Las presas de jales utilizan roca de desperdicio de las minas, material de préstamo y arenas de jales para construir el bordo iniciador y la cortina contenedora.

Deben considerarse usos secundarios de los jales, ya que la utilización sistemática de ese material puede llevar con el tiempo a la demolición de la presa. Algunos usos que a la fecha han resultado económicos son: agregados para la construcción de caminos, cerámica, cal para la agricultura, nutrientes para suelo y fabricación de ladrillos.

Se requiere un bordo libre mínimo para protección contra las olas, o la posibilidad de condiciones de la tormenta diferentes de las esperadas, el posible asentamiento de la presa, o cualquier mal funcionamiento de las obras de evacuación de agua.

La cantidad de almacenamiento disponible depende de la configuración del lugar, de la elevación del estanque o los niveles de jales y cualesquiera otras especificaciones para bordo libre mínimo entre la elevación máxima del estanque esperado durante la tormenta de diseño y la elevación mínima de la cresta de la cortina.

#### **b) Infiltración vertical**

La infiltración del agua de las presas de jales a través del fondo de las presas y a las aguas freáticas se está convirtiendo en una preocupación cada vez mayor en cuanto a la calidad del agua.

Una presa de jales sin revestimiento se torna casi impermeable con el tiempo y tendrá un coeficiente de permeabilidad ( $k$ ) de  $10^{-6}$  a  $10^{-7}$  cm/s, debida a la consolidación y el drenaje de los lodos en el fondo. Es claro que hasta que el estanque no esté completamente cubierto y tenga lugar la consolidación, la infiltración a través del fondo puede ser bastante alta cuando la permeabilidad del terreno natural es alta.

Los revestimientos artificiales son impermeables, pero se deterioran con el tiempo. Son costosos y aún cuando detienen la infiltración, crean otro problema: los jales finos que no se drenan se consolidan lentamente, ocupando así más espacio que si se drenaran por el fondo.

Las presas de jales deberán tener piezómetros para verificar constantemente la línea de infiltración en la cortina. Estos instrumentos deben instalarse dentro del embalse si se sospecha que hay agua artesiana. Al ser confinados por los jales, los manantiales pueden originar subpresiones debajo del depósito. Esto es especialmente serio debajo del bordo inferior y debe ser evitado.

El agua de infiltración por la cortina de la presa de jales debería regresarse a la planta por cualquiera de los métodos disponibles, para su reutilización como medio de transporte de los jales.

En muchos circuitos de molienda se usan pequeñas cantidades de cianuro, pero éstas generalmente se oxidan en el depósito de jales bastante rápidamente de suerte que no constituyen un problema, aún cuando se descargue el agua de los jales. La mayor parte del agua de jales se encuentra en un circuito cerrado con la planta eliminando así este problema a excepción de las infiltraciones, que deben tomarse en cuenta en el proyecto.

Un diseño exitoso de una presa de jales depende significativamente de una evaluación detallada de la cimentación. La cimentación debe tener una resistencia adecuada para recibir las cargas del depósito y de cualquier estructura hidráulica incluida en la presa. También debe ser lo suficientemente impermeable como para controlar infiltraciones y satisfacer las normas estructurales y de anticontaminación.

### c) Sistemas de transporte de lodos

#### • *Gravedad*

Lo ideal es tener un flujo por gravedad desde los tanques espesadores de la planta hasta la presa de jales, durante toda la vida de la presa, con el objeto de evitar costos innecesarios y problemas de bombeo.

Para evitar el desgaste excesivo, es importante que la velocidad no sea demasiado alta y para evitar el taponamiento de la línea, la velocidad no debe ser demasiado baja.

Una cifra aproximada para la pendiente de una conducción puede ser 0.5 m por cada 100 m .

Por lo general se usan cajas rompedoras de presión para evitar las pendientes mayores a 0.5%.

• *Bombeo*

Al bombear lodos de jales, la velocidad debe ser la misma que para el flujo por gravedad. Con base en el tonelaje, el material y la presión total se selecciona la bomba apropiada, ya sea centrífuga con revestimiento de hule (o acero) o de desplazamiento positivo.

Para mayor explicación sobre los sistemas para transportar lodos, conviene consultar la Ref. 2.

d) Características de los desperdicios de minas

Aún cuando los suelos y aguas encontrados en la ingeniería de presas de agua son por lo general químicamente neutros, éste no es a menudo el caso para los residuos mineros e industriales. Su composición varía de acuerdo con la naturaleza y las condiciones de la explotación, y tienden a modificarse con el tiempo. Los desperdicios pueden contener sales solubles y tóxicas.

- *Minas de carbón.* Los residuos tienen componentes gruesos y finos que pueden almacenarse juntos o por separado. Los elementos gruesos se usan en la construcción de presas de retención para almacenar elementos más finos por vía húmeda. El material filtrado está mojado cuando sale de la planta y puede endurecerse durante su transporte.

Cuando se presentan altos grados de acidez y de contenido de sales de manganeso, fierro o particularmente aluminio, pueden volver tóxico al efluente y dañar la vegetación.

- *Minas de asbesto.* Los desechos gruesos y los finos pueden ser depositados por separado y por lo general se transportan a un depósito común en estado seco. Estos desechos contienen elementos arcillosos que, al ser expuestos a la atmósfera y al agua, pueden afectar la estabilidad del depósito.

- *Minas de cobre, plomo, zinc y fierro.* Los jales pueden contener mucho azufre, particularmente en la forma de sulfuro de fierro. Al oxidarse pueden formar costras duras que impiden o limitan el drenaje. Un alto contenido de sulfuros puede acarrear una ignición y combustión espontánea, agregando estos peligros a los debidos a la contaminación del agua. Es posible apagar la combustión cubriendo o mezclando lodos de desecho, pero éstos pueden perjudicar la estabilidad del depósito.

- *Minas de oro.* El mineral es tratado con cianuro de sodio, que es altamente tóxico. Cuando el oro está asociado a piritas, algunas de las cuales permanecen en los jales, pueden desarrollarse condiciones ácidas, debidas a la oxidación.

- *Minas de uranio.* En éstas se usa ácido para lavar el mineral. Los jales de uranio y sus efluentes emiten radiación y radón, cuyas emanaciones deberán controlarse en caso necesario.

- *Minas o canteras de pórfido.* En éstas, los jales son ricos en cuarzo y silicato; pueden usarse para construir diques y tienen gran susceptibilidad a la erosión por el viento y el agua. Esto requiere que se siembre vegetación en los taludes o se les recubra con una capa de material grueso no erosionable.

## 9) RECOMENDACIONES GENERALES

**Primera.** Antes de efectuar el proyecto de una presa de jales, es muy recomendable partir de los modelos conceptuales de "gran visión" y luego descender a más detalle a los anteproyectos, con sus variantes normales, dentro del marco de referencia o guía general de los criterios básicos establecidos en esta tesis.

**Segunda.** Debido a lo complejo de los proyectos de las presas de jales, es muy conveniente que participen en el desarrollo de los criterios particulares los técnicos y los especialistas involucrados en las diversas disciplinas: geología, geotecnia, hidrología, hidráulica, ecología, construcción, operación, economía, etc.

**Tercera.** Conviene insistir en que durante la construcción de los bordos iniciadores, tuberías decantadoras drenantes, cortinas contenedoras, etc., se nombre en la obra a un sólo responsable de la supervisión y el control de calidad, ya que es indispensable asegurar el cumplimiento de lo proyectado. Los ajustes o "adecuaciones" que vayan resultando deberán autorizarse por ese responsable único.

**Cuarta.** Es imperioso redactar y poner en práctica el instructivo de operación de la obra, para que cualquier persona siga las instrucciones fielmente y sin duda alguna. La Ref. 2 es un excelente auxiliar para esta actividad.

**Quinta.** Es muy recomendable que el manual de presas de jales (Ref. 2) sirva de complemento a los criterios básicos de proyecto, construcción y operación propios de cada obra en particular, con un espíritu positivo y siempre saludable de ir tomando en cuenta todas las observaciones y sugerencias que hagan los usuarios, para llegar a tener documentos de utilidad práctica en esta disciplina.

## **10) ESTABLECIMIENTO DE CRITERIOS BASICOS**

Debido a la interrelación muy estrecha que existe entre el proyecto, la calidad, la construcción, la supervisión, la operación y la conservación de las presas de jales, se considera más pertinente establecer los criterios básicos en forma continua, como se indica a continuación:

**Primero.** El proyectista tiene que establecer con toda claridad (en los planos y las especificaciones) el nivel de calidad que se debe asegurar durante la construcción y la operación de una presa de jales. El nivel de calidad viene siendo el conjunto de características cualitativas y cuantitativas que deben satisfacer los materiales, las instalaciones y los componentes de la obra, en los aspectos de resistencia a las cargas por soportar, asentamientos totales y diferenciales, deformaciones, geometría, apariencia, durabilidad, capacidad de carga, etc. (Ref. 3).

**Segundo.** El nivel de calidad implica el establecimiento del criterio (o criterios) de aceptación, corrección y/o rechazo, mediante el valor medio de la característica a medir (compactación, humedad, resistencia compresiva, permeabilidad, etc.) y su desviación estándar o coeficiente de variación (como medidas de dispersión de valores). El nivel de calidad deseado lo complementan en la práctica las variaciones permisibles, en más o en menos, con respecto al valor medio requerido de la característica a medir. Por lo tanto, el control de calidad consiste, precisamente, en verificar que durante el proceso constructivo se vaya asegurando el nivel de calidad estipulado, especialmente en la capa de material compactado o el elemento ya terminado (Ref. 3).

**Tercero.** El control de calidad debe incluir todas las operaciones inherentes al muestreo, el ensaye, la inspección y la selección de materiales, previamente a la ejecución de la obra, para asegurar que el procedimiento constructivo satisfaga las exigencias de la misma. Durante la construcción, el controlador de calidad (responsable del control de calidad) deberá realizar la inspección, el muestreo y los ensayes necesarios, en todas sus etapas, para que se logre el nivel de calidad



deseado en los diversos conceptos de obra involucrados; además, tiene que suministrar información oportuna al responsable de la construcción para que, con debido conocimiento, actúe en plan correctivo, oportuno y eficaz, a fin de evitar defectos en métodos constructivos (Ref. 3).

**Cuarto.** Cuando se trata de una cortina con sección homogénea o graduada, es muy recomendable que durante la construcción se lleve un registro gráfico diario de los volúmenes colocados de cada material (arcilla en la coraza impermeable, grava-arena de río en el filtro y fragmentos de roca en el enrocamiento), de modo que se indiquen claramente los límites de control correspondientes a los volúmenes diarios: a) medio programado, b) mínimo admisible y c) máximo probable.

**Quinto.** Para efectuar correcciones oportunas durante la supervisión del proceso constructivo, relativas a los avances físicos (en % y en  $m^3$ ) de los volúmenes colocados y/o compactados de cada material, deberá llevarse una carta de control que contenga la gráfica de tendencias correspondiente al promedio de los últimos 5 valores consecutivos. Conviene identificar con claves o colores los conceptos de control de la obra.

**Sexto.** Todas las cartas de control deberán llevarse en la obra y actualizarse diariamente, para que la supervisión y el control de calidad sean ágiles y oportunos.

**Séptimo.** Antes y después de construida cada una de las capas o los elementos de material, el apoyo topográfico deberá ser eficiente para evitar contratiempos durante la construcción. Todas las mediciones topográficas y los resúmenes resultantes diarios deberán conciliarse entre los responsables de la construcción y la supervisión.

**Octavo.** Tanto la supervisión como el control de calidad deberán realizarse en forma mancomunada, en cada una de las siguientes etapas:

- a) **Etapa de previsión.** Se refiere a las acciones en que se pueden escoger los materiales antes de su explotación, transporte, mezcla (con o sin agua), colocación, "bandeo" y/o compactación. En esta etapa se presenta la oportunidad de aceptar, desechar o mejorar los materiales previamente a la construcción. Las cartas de control actualizadas diariamente ayudan a asegurar el nivel de calidad que fije el proyecto, para cada parámetro básico que se estipule (contenidos de grava, arena y finos, contenido de agua en el banco o en el sitio, índice plástico y límites de consistencia: líquido y plástico, tamaños máximos y mínimos de los fragmentos de roca, coeficientes de uniformidad y curvatura de la grava-arena, contenido de partículas deleznable, etc.).
  
- b) **Etapa de acción.** Se refiere a la verdadera actividad de aceptación, corrección y/o rechazo durante la construcción. Se requiere el apoyo de equipos de laboratorio que proporcionen datos inmediatos después de la compactación (medidores nucleares de humedad y peso volumétrico). En la etapa de

previsión (“a”) se aceptan los materiales para que en la acción (“b”) no se rechacen los materiales separados; en otras palabras, los materiales colocados deben aceptarse. A partir de tramos de prueba, en esta etapa de acción se decide si se logra el acomodo o la compacidad deseada. En las cartas de control deben marcarse con claridad las zonas de aceptación, corrección y rechazo, para llevar continuamente las gráficas de tendencias de los últimos 5 valores consecutivos de cada parámetro.

- c) **Etapa de historia.** Se refiere al registro histórico de la información requerida por el proyecto, que se exige aunque el proceso constructivo ya haya acabado. En la etapa anterior (acción) la aceptación o el rechazo deberá ocurrir precisamente en el momento de la construcción y no después. Debido a esto, los equipos de medición tienen que ser avanzados en tecnología (nucleares).

Las cartas de control relativas a la etapa de historia son útiles también para retroalimentar al proyecto.

**Noveno.** Es muy conveniente dividir la obra en zonas muy bien identificadas para optimizar los controles. En cada zona se abrirá un expediente con todos los conceptos de obra valorados en pesos, dentro del programa de obra asignado. Por medio de la aplicación de programas de computadora, para cualquier concepto de trabajo y en todo momento, podrá disponerse de los controles gráficos de avances: financiero (en % y en \$) y físico (en % y en m<sup>3</sup>).

**Décimo.** En el caso de las obras de concreto, cuando se construya el vertedor de excedencias o la tubería decantadora drenante, el proyectista deberá establecer con toda claridad los niveles de calidad que deberán cumplirse durante la construcción; esto requiere una calificada supervisión y un efectivo control de calidad. En el nivel de calidad se debe incluir la resistencia de proyecto ( $f'_c$ ) y la resistencia media requerida ( $f_{cr}$ ), para lo cual es necesario establecer la probabilidad de falla en los ensayos (Ref. 3). El coeficiente de variación total durante la construcción dependerá de la calidad del constructor sumada a la del controlador de calidad.

**Décimo primero.** En cada etapa constructiva de una presa de jales dada, deberá respetarse el instructivo de operación propio de esa obra, en lo referente a: la distancia del agua libre en el estanque (dentro del vaso de almacenamiento) con relación a la corona de la cortina contenedora; la posición de la superficie libre superior del agua en el vaso y en la cortina (a partir de las observaciones directas y piezométricas); las observaciones de humedades y/o filtraciones en el talud exterior de la cortina; las variaciones en la granulometría de los jales (arenas y lamas); la velocidad de crecimiento de la cortina; el progreso de la alcantarilla de decantación y drenaje; el control de los "chinos" decantadores; los controles topográficos para los movimientos superficiales; etc., etc.

**Décimo segundo.** Cuando una cortina contenedora tenga deterioros debido a fuertes erosiones ocasionadas por las lluvias, el viento, etc., deberá procederse a la rehabilitación o a la reconstrucción de las partes dañadas, independientemente de la conservación normal estipulada para la presa de jales.

**Décimo tercero.** Dentro de las actividades normales de operación y conservación, deberá incluirse la protección de taludes de la cortina contenedora de una presa de jales, mediante la vegetación local, el "arroteo" con materiales de préstamo, el tratamiento orgánico con semilla lanzada o cualquier otro método, a fin de evitar el transporte eólico de las partículas finas y el arrastre por lluvia de los jales. Esto se hace extensivo también para el caso de la playa expuesta dentro del vaso de almacenamiento.

# CAPITULO III

# CRITERIOS BASICOS DE LA CONSTRUCCION Y LA OPERACION

## 1) GENERALIDADES

### a) Planes de Construcción

Si la exploración del lugar y el proyecto están bien hechos, los planes de construcción podrán ser específicos, con detalles de los volúmenes de desmonte del suelo vegetal y su almacenamiento, la profundidad de la excavación para la cimentación del bordo iniciador y el volumen de éste.

Deberán especificarse el origen, el tamaño y el volumen de la roca gruesa para los drenes las dimensiones detalladas y la configuración de cada dren, así como el espesor de los filtros arriba y debajo de los drenes de roca gruesa.

Si se prevé el uso de tubería en los drenes, el proyectista deberá calcular el diámetro de la misma, el tamaño de las perforaciones, su configuración y su posición. Toda la tubería de acero deberá estar recubierta de asfalto para protección contra la oxidación (corrosión).

Se programará la utilización de material de préstamo para zonas específicas en el bordo iniciador, según la granulometría y la permeabilidad a la densidad especificada. Se requerirán ensayos de humedad y densidad *in situ* durante la construcción.

### **b) Planes de Operación**

El ingeniero proyectista y el encargado de la explotación de la mina definen el método global de la operación, ya sea "aguas arriba", "aguas abajo", de "eje central" o presa de tipo convencional con material de préstamo.

La facilidad de operación, la seguridad, la escasa mano de obra requerida y los bajos costos de operación deben equilibrarse con las inversiones. Algunas veces las condiciones son tales que con una inversión un poco más alta se reducen substancialmente los costos de operación.

Todas las líneas o tuberías de decantación o de drenaje deberán ser de fácil acceso para su inspección.

### **c) Planes de Abandono**

Los planes para el abandono de una presa deben hacerse al mismo tiempo que la planeación de la construcción, y algunas de las obras para el abandono deben ejecutarse durante la fase inicial de construcción.

La tierra vegetal puede ser almacenada para la siembra de vegetación y puede colocarse en la ladera "aguas abajo" del bordo iniciador y sembrarse aún antes de que comience la producción.

Cuando se trate de una presa permeable construida para dejar pasar el agua libremente a través de la misma, debe cuidarse de no cubrir la superficie con suelo menos permeable que el del bordo iniciador. Tampoco debe colocarse tierra vegetal sobre cualquier dren, ya que impiden el drenaje de agua.



#### **d) Revisión del Proyecto y de los Procesos Constructivos y Operativos**

Los planes para el desarrollo de una presa de jales deben ser revisados por un ingeniero geotécnico competente, especializado en el proyecto de estas obras. Los resultados de las pruebas sobre las propiedades físicas de los suelos de cimentación, suelos de la presa y de los mismos jales usados como material de construcción, deben ser estudiados a fondo.

La revisión del proceso constructivo debería cubrir todo, desde la ubicación del apilamiento de tierra vegetal hasta la instalación de la tubería decantadora y drenante. Revisten especial importancia la colocación de los drenes, los filtros y el suelo del material del bordo iniciador mismo, para que la arena o la grava de cada banco de préstamo vaya a su lugar adecuado.

## **2) CONCEPTOS BASICOS**

Una presa para almacenamiento de jales, denominada por brevedad presa de jales, debe estar formada esencialmente por:

- a) la cortina contenedora
- b) el vaso de almacenamiento
- c) el vertedor de demasías (o excedencias)
- d) la alcantarilla de decantación y drenaje (o tubería decantadora drenante).

Con relación a la cortina contenedora, ésta puede construirse con arenas de "ciclón" (Figs. III-1 y III-2) que son la parte gruesa de los jales y provienen del flujo inferior de los hidrociclones (véase el inciso 6b). Cuando éstas no existen o son escasas, demasiado finas, arcillosas e inapropiadas para constituir el elemento o la coraza resistente de la misma, es indispensable construirla con materiales de préstamo seleccionados (material arcilloso, filtro y enrocamiento) que formen una sección graduada estabilizadora (Fig. III-3); también puede ser de sección homogénea con chimenea (filtro) y delantal permeable (Fig. III-4).

### 3) CLASIFICACION GENERAL DE LAS PRESAS DE JALES

Debido a las condiciones geomorfológicas, meteorológicas, sismológicas y otras en la República Mexicana, se considera que las presas de jales se pueden clasificar en forma general, según los siguientes aspectos:

a) Aspectos topográficos. Desde este punto de vista se ha tomado en cuenta el tipo de terreno, clasificado como sigue:

- |                 |                |
|-----------------|----------------|
| - Montañoso (M) | Símbolo: $T_m$ |
| - Lomerío (L)   | Símbolo: $T_l$ |
| - Plano (P)     | Símbolo: $T_p$ |

**b) Aspectos hidrológicos.** Para fines prácticos, se puede establecer que las cuencas hidrológicas conviene clasificarlas en las siguientes zonas:

- Ciclónica (C)	Símbolo: $Z_c$
- Lluviosa o húmeda (H)	Símbolo: $Z_h$
- Seca (S)	Símbolo: $Z_s$

Para mayor ilustración sobre el conocimiento de las cuencas hidrológicas, conviene consultar la Ref. 4.

**c) Aspectos sismológicos.** De acuerdo con la sismicidad de la República Mexicana (Ref. 5), las regiones pueden clasificarse en:

- Sísmica (S)	Símbolo: $R_s$
- Penesísmica (P)	Símbolo: $R_p$
- Asísmica (A)	Símbolo: $R_a$

La clasificación general de las presas de jales se puede establecer mediante la combinación de los símbolos arriba indicados. Después de revisar otras metodologías, se ha considerado que la simbología aquí sugerida permitirá simplificar y unificar el comportamiento probable de las presas de jales en México. Se estima que este enfoque es el más apropiado y funcional, por lo pronto.

#### **4) CLASIFICACION DE LAS PRESAS DE JALES POR GRUPOS Y CATEGORIAS**

Tomando en cuenta la clasificación general para las presas de jales, indicada en el punto 3, se ha considerado pertinente clasificar las presas de jales en 3 grupos, 9 sub-grupos y 27 categorías. En el Cuadro 1 se representan con símbolos cada una de las categorías; por ejemplo: los símbolos  $T_m \cdot Z_c \cdot R_s$  y  $T_p \cdot Z_s \cdot R_a$  corresponden a las categorías 1 y 27, respectivamente.

El Cuadro 1 permitirá ir plasmando en forma ordenada y práctica todos los enfoques ingenieriles que se consideren de interés en cualquier etapa de desarrollo de una presa de jales. En el siguiente punto se presentan las aplicaciones más importantes.

#### **5) ORDENES DE PREFERENCIA PARA DECISIONES**

A partir del Cuadro 1 para la clasificación de las presas de jales, es factible saber qué acciones tomar para cada una de las actividades que se presentan más adelante, a partir del orden de preferencia indicado. Por ejemplo: el # 1 corresponde al más recomendable y el # 4 al menos recomendable:

### a) Método constructivo

Los procedimientos de construcción que más se aplican en México son los siguientes:

- **Método “aguas arriba” (“cicloneado”).** Es el más utilizado y consiste en ir formando la cortina contenedora hacia el vaso de almacenamiento (“aguas arriba”), mediante una coraza arenosa resistente y permeable, construida fundamentalmente con arena de “ciclón”, como se ilustra en el inciso 6d. En la Fig. III-1 se ilustra esquemáticamente una sección transversal con este método constructivo, donde se indican algunos elementos constitutivos de la presa de jales. Para mayor conocimiento sobre este procedimiento, se recomienda consultar la Ref. 2.

Cabe hacer notar que en una presa de jales en la categoría 1 (símbolo  $T_m \cdot Z_c \cdot R_s$ ), no procede el método constructivo “aguas arriba”, pero sí los demás procedimientos (igualmente recomendados). En cambio, si fuera de la categoría 27 (símbolo  $T_p \cdot Z_s \cdot R_a$ ), todos los procedimientos constructivos serían válidos e igualmente recomendables.

- **Método “aguas abajo” (“cicloneado”).** Este procedimiento prácticamente no se utiliza y consiste en ir formando la cortina contenedora a partir del vaso de almacenamiento y hacia afuera (“aguas abajo”) mediante arena de “ciclón”, como se ilustra en el inciso 6e (Fig. III-2). Para mayores detalles sobre este proceso constructivo se recomienda consultar la Ref. 2
- Este método de construcción puede utilizarse para todas las categorías del Cuadro 1.

- **Método “aguas abajo” (sección graduada).** Cuando en el sitio se dispone de material grueso tipo rezaga o “tepetate” de mina, conviene que la cortina contenedora esté formada por estos elementos estabilizadores (básicamente enrocamiento), con los fragmentos de roca más gruesos hacia el talud externo de la cortina y los más chicos hacia la coraza impermeable, con un filtro de grava-arena como transición, según se ilustra en la Fig. III-3. Para mayor conocimiento sobre este proceso constructivo, se recomienda consultar la Ref. 2

Este procedimiento constructivo se está aplicando con mayor frecuencia y se recomienda para todas las categorías indicadas en el Cuadro 1.

- **Método “aguas abajo” (sección homogénea).** Cuando en el sitio se dispone de suelos con matriz arcillosa (GC, SC, GW-GC, SW-SC, en el sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS) en cantidades suficientes para construir una cortina contenedora compactada e impermeable, se recomienda incluir en el proyecto una chimenea central permeable de grava-arena (filtro), con su delantal respectivo y dren al pie del talud externo, con el fin de prevenir las tubificaciones, las cuales originan inestabilidad en la obra. En la Fig. III-4 se presenta una sección transversal ilustrativa. En México sólo hay algunos anteproyectos con este procedimiento constructivo. Se recomienda este método constructivo para todas las categorías indicadas en el Cuadro 1.

- **Método del “eje central”.** Este procedimiento no se utiliza en México y básicamente consiste en ir formando la cortina contenedora a partir de un eje central principalmente, con arenas de “ciclón” compactadas y/o materiales de préstamo como complemento, según se ilustra en la Ref. 2
- **Método convencional de “sección graduada”.** Este procedimiento corresponde al de una cortina para almacenamiento de agua, que funciona como parte de una presa convencional, cuyos criterios de diseño son totalmente diferentes a los de una presa para almacenamiento de jales (o, brevemente: presa de jales).

En México existen algunos casos importantes de presas así construidas.

Para las presas de jales, es preferible y más económico utilizar el método constructivo “aguas abajo” con sección graduada tipo enrocamiento (Fig. III-3), en lugar del método convencional.

#### b) Análisis de estabilidad

Se considera que en el Cuadro 1 se establece claramente cuál es el tipo de análisis más recomendable que debe realizarse para asegurar la estabilidad contra el deslizamiento de taludes en las cortinas contenedoras.

Por ejemplo, una presa de jales en la categoría 1 (símbolo  $T_m \cdot Z_c \cdot R_s$ ) requiere la utilización del método del elemento finito, tanto para el caso estático como el dinámico (sísmico), como se ha utilizado en varios casos (véase por ejemplo la Ref. 6, donde se ha estudiado el fenómeno de la licuación durante un temblor). En cambio, una presa de jales en la categoría 27 (símbolo  $T_p \cdot Z_s \cdot R_a$ ) requiere simplemente de un análisis estático convencional.

### c) Instrumentación

En el Cuadro 1 se sugieren los tipos de instrumentos que se recomiendan para las diversas categorías en las presas de jales. Por ejemplo, la categoría 1 (símbolo  $T_m \cdot Z_c \cdot R_s$ ) requiere necesariamente la instalación de sismógrafos, piezómetros y referencias topográficas superficiales; los inclinómetros están en segunda instancia. En cambio, en la categoría 27 (símbolo  $T_p \cdot Z_s \cdot R_a$ ) sólo se requieren referencias superficiales; los piezómetros están en segunda instancia.

Desde luego que la necesidad de instrumentación está íntimamente ligada a los requerimientos de proyecto, según la importancia de la obra (altura de la cortina contenedora, método constructivo, riesgos por falla, etc.).



#### **d) Alcantarilla de decantación y drenaje**

También se le puede designar tubería decantadora drenante o simplemente alcantarilla, la cual puede ser de mampostería y concreto (tipo sección portal) o de acero o concreto reforzado (conducto circular o cuadrado), con perforaciones o "chinos" para la recuperación del agua que se recicla al proceso de la planta concentradora.

La alcantarilla puede servir también como vertedor de demasías (o excedencias), para desalojar las aguas de lluvia durante la temporada de avenidas.

En el Cuadro 1 se presentan las alternativas más recomendables para desalojar el agua libre del vaso de almacenamiento, como son el bombeo sobre balsas y los sifones. También se pueden hacer combinaciones de las mismas.

### **6) CONSTRUCCION DE LA CORTINA MEDIANTE EL ALMACENAMIENTO CON HIDROCICLONES**

#### **a) Generalidades**

El objetivo básico en la construcción de cualquier presa de jales es la disposición de jales de desperdicio (enfoque geotécnico: material de construcción) de la manera más eficaz, segura y económica, para las condiciones dadas del proyecto.

Una presa de jales por lo general involucra el almacenamiento de material de jales de manera ordenada y planeada, con el fin de constituir un depósito estable a largo plazo. Como por lo general es una operación continua las 24 horas del día, es necesario planear con anticipación y tener un plan específico de operación compatible con los requisitos del proyecto de la presa.

#### **b) Objetivo del “Cicloneado”**

Es el procedimiento utilizado para la construcción de presas de jales y cortinas contenedoras en el cual se usan ciclones (o hidrociclones) para separar las arenas de las lamas (légamos). Se coloca una serie de ciclones a lo largo de la corona del dique iniciador (cortina iniciadora), o se monta un grupo de ciclones en paralelo como una unidad móvil que viaja a lo largo del eje longitudinal de la cortina (iniciadora o contenedora).

El hidrociclón divide los lodos de jales en 2 componentes, a saber:

1.- *Flujo inferior.* Contiene las partículas más gruesas y poca agua. Es un producto con buenas propiedades de resistencia al esfuerzo cortante y proporciona un buen drenaje.

2.- *Flujo superior.* Contiene las partículas finas y la mayor parte del agua. Es un lodo con poca permeabilidad y buenas características de flujo fluye con facilidad.

El objetivo de la utilización de hidrociclones en la construcción de una presa de jales es formar una auténtica cortina contenedora con el producto del flujo inferior (gruesos), para almacenar el producto del flujo superior en todas las etapas de la presa, mismo que se irá decantando paulatinamente.

**c) Técnicas de almacenamiento con hidrociclones**

La construcción de la pared exterior de una presa de jales (cortina contenedora), de acuerdo con el método de almacenamiento a base de hidrociclones, implica una progresión lógica en la colocación de los elementos gruesos del hidrociclón sobre la periferia exterior de la cortina misma, para formar el almacenamiento. El flujo superior de material fino se descarga en la zona del estanque, dentro del vaso de almacenamiento.

Durante la fase de proyecto se deberá desarrollar un procedimiento seguro para el almacenamiento de jales, de tal manera que el crecimiento de la cortina contenedora debe ir siempre adelante del correspondiente al relleno de finos jalosos de la playa, detrás de la cortina. Esto supone que existirá suficiente material de flujo inferior (gruesos) para construir la cortina y que las propiedades geotécnicas de este material serán estructuralmente adecuadas.

Deben hacerse pruebas de permeabilidad *in situ* para cerciorarse de que el material tiene las propiedades adecuadas.

El funcionamiento de los hidrociclones es una parte esencial del éxito de esta técnica de construcción de cortinas contendedoras, especialmente con el método constructivo "aguas abajo" (véase el inciso 6e).

La técnica de almacenamiento con hidrociclones requiere por lo general el levantamiento y la recolocación de la tubería alimentadora de vez en cuando, según aumenta la altura de la cortina contenedora. Esto debe hacerse por lo general en secciones o tramos parciales, mientras que otras zonas de la cortina siguen funcionando y recibiendo jales.

Debe hacerse hincapié en que la velocidad de elevación del relleno de lamas en la playa (finos), con respecto a la velocidad de alzamiento de la cortina contenedora (gruesos), debe vigilarse estricta y continuamente para cerciorarse de que ésta siempre esté bastante arriba del nivel de la playa.

**d) "Cicloneado" con el método constructivo "aguas arriba"**

En esta técnica, la tubería de alimentación de lodos se coloca inicialmente en la base (o pie) del bordo iniciador de la presa y el producto del flujo inferior de los hidrociclones (gruesos) se vacía en el perímetro interior de dicho bordo (es decir, "aguas arriba" de la tubería de alimentación) y parcialmente sobre los finos de la playa, la que se forma al mismo tiempo. En la Fig. III-5 se ilustra la secuencia constructiva para desarrollar paulativamente y completar la cortina contenedora (bordo iniciador + diques). El conjunto de los diques forma la coraza arenosa resistente y permeable.

e) **"Cicloneado" con el método constructivo "aguas abajo"**

En este método, la tubería alimentadora de lodos se coloca sobre el bordo iniciador y el material arenoso del flujo inferior (gruesos) de los hidrociclones se coloca en la zona entre este bordo y otro auxiliar al pie de la cortina contenedora (bordo iniciador + diques), "aguas abajo" de la tubería de alimentación. El bordo iniciador funciona inicialmente como un almacenamiento de material fino, permitiendo que los jales gruesos se almacenen hasta que puedan formar la coraza arenosa resistente y permeable, adecuada para confinar la playa de finos y el estanque (Fig. III-6).

## 7) SISTEMAS DE EFLUENTES

### a) Definiciones

- *Vertedores.* Son instalaciones que se hacen generalmente en el terreno natural sobre la ladera de la presa y a niveles apropiados, para que pueda efectuarse (según se eleve la cortina) por gravedad la descarga del agua excedente del vaso de almacenamiento.

- *Torres de decantación.* Constan de unas torres verticales colocadas en posición tal, que siempre estén en contacto con el agua del estanque en el vaso de almacenamiento. Están conectados a un tubo de salida sensiblemente horizontal (o una alcantarilla) que cruza por debajo a la cortina, para permitir la descarga a una pileta de recuperación de agua con estación de bombeo o a una corriente natural hacia "aguas abajo" de la presa de jales.

La base de las torres de decantación deberán estar cimentada sobre un material con capacidad de carga suficiente para resistir la enorme fuerza hacia abajo sobre las mismas, aunadas a las presiones desarrolladas por los jales en vías de consolidación.

- *Estación de bomba flotante.* Se trata de una estación de bombeo sobre una balsa localizada sobre el estanque y su objeto es remover el agua excedente del vaso de almacenamiento.

- *Sifones.* Constituyen un sistema muy efectivo para eliminar el agua excedente del vaso de almacenamiento en donde el extremo de entrada del tubo (del sifón) está sobre flotadores en el estanque y el tubo sube a través de la playa en el vaso y por encima de la cortina, para descargar en la pileta de recuperación de agua o a la corriente natural de "aguas abajo" de la presa. Dicho tubo está provisto en su punto más alto de una bomba de vacío y tiene una válvula de control en su tramo de descarga de la línea.

#### **b) Requisitos de construcción**

Las disposiciones para la extracción del agua excedente son sumamente importantes en cualquier presa de jales. Fallas en su funcionamiento podrían dar origen a una elevación en los niveles de almacenamiento en la presa que, a su vez, podrían originar un paro total de la instalación.

Los vertedores son susceptibles de daños por erosión en caso de flujos por inundación y su construcción debe satisfacer las normas más estrictas, particularmente cuando están situados sobre o cerca del material de jales, el cual es altamente erosionable.

Una vez que una instalación de decantación queda sumergida bajo los jales, no será fácil tener acceso al mismo para fines de reparación, por lo que se impone la necesidad de cumplir con las normas estrictas de construcción. Por eso son más recomendables las alcantarillas de decantación y drenaje, especialmente las de sección portal que permitan la entrada al personal de inspección.

### c) Requisitos de operación

En cualquier presa de jales, la instalación de tuberías y torres de decantación constituye un elemento esencial de la misma, ya que su falla puede dar origen al cierre de la obra y de la planta concentradora que la alimenta.

Un desfogue del tipo vertedor tiene que ser ubicado en el terreno a medida que sube el agua, en cambio, la alcantarilla solo se va prolongando progresivamente con el nivel del agua en el estanque.

### d) Manejo del agua en el estanque y de la playa de jales

A menos que se lleven a cabo medidas específicas en la etapa de proyecto, una presa de jales no debe ser usada para el almacenamiento de agua. Como se estableció en el Cap. 1, la presa de jales se proyecta únicamente para almacenar sólidos.

El agua del estanque debe mantenerse a un nivel mínimo, de acuerdo con los siguientes requisitos por satisfacer:

- La entrada a la instalación de decantación (alcantarilla o tubería) deberá quedar siempre sumergida y controlada con los "chinos" (perforaciones que permiten el paso del agua clarificada).

- El agua que fluye a la tubería decantadora y drenante no deberá contener sólidos en suspensión (se cierran los "chinos").

- Siempre deberá mantenerse un bordo libre entre el NAME (Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias) del estanque y el punto más alto de la playa (o la corona de la cortina contenedora), de acuerdo con el proyecto.

- Deberá cumplirse lo especificado en cuanto a pérdidas de evaporación, cuando esto es esencial para el equilibrio de aguas de la planta concentradora.

- Deberá mantenerse el control de la infiltración "aguas abajo" y del nivel freático interno de la cortina. Entre más alto esté el nivel del agua en el estanque, mayor será la carga hidrostática que origine infiltraciones al pie de la presa y mayor la reducción del factor de seguridad por estabilidad de taludes.



## **8) SUPERVISION DE LAS PRESAS DE JALES DURANTE SU CONSTRUCCION.**

### **a) Supervisión de la estabilidad y la infiltración**

La altura y la posición de las superficies de infiltración deben ser observadas por medio de piezómetros. Es conveniente instalarlos cuando la presa ha alcanzado cierta altura, en número suficiente para permitir que se determine con exactitud la superficie de infiltración sobre todo en los casos de construcción con el método "aguas arriba" (Fig. III-7).

### **b) Infiltración a través de los revestimientos**

Cuando el agua almacenada contiene reactivos dañinos a la salud humana o a la flora y la fauna, es necesario asegurarse de que no haya infiltración alguna de la presa de jales al sistema de aguas subterráneas.

En esos casos es esencial evitar la infiltración mediante el almacenamiento de los jales sobre un revestimiento impermeable preparado con arcillas compactadas, o con una membrana impermeable sintética como el hule de butilo o algún otro material sellante eficaz.

De todas maneras es conveniente tomar en cuenta el efecto autosellante de las lamas o légameos, ya que los coloides en suspensión van gradualmente obstruyendo las oquedades de los jales. Esto tiene implicaciones importantes en la decisión de construir un revestimiento impermeable o dejar que el proceso natural selle el fondo del vaso de almacenamiento y del talud interior de la cortina contenedora.

Se usan pozos de control para vigilar la eficacia de un revestimiento alrededor del perímetro de una presa, mismos que penetran en el manto freático. Los diversos efluentes y las muestras tomadas de los pozos de control deben ser verificados para cerciorarse de que la calidad del agua subterránea no esté siendo indebidamente afectada por la presencia del depósito de residuos mineros.

### c) Perfiles de resistencia y compacidad relativa

El perfil de resistencia del material que constituye una cortina contenedora o iniciadora se supervisa mejor con pruebas *in situ* de resistencia al esfuerzo cortante, cuando ya se han acumulado en el depósito de 3 a 5 metros de jales. Al mismo tiempo pueden hacerse pruebas para establecer los perfiles de compacidad relativa.

Los resultados de estas pruebas *in situ* pueden compararse con las condiciones supuestas para el proyecto y la pendiente del talud en la cortina contenedora podrá ajustarse en caso necesario, sobre todo cuando está constituida principalmente por jales.

Existen varios métodos para las pruebas *in situ* de resistencia al esfuerzo cortante. El aparato de veleta, el penetrómetro de cono piezométrico, el medidor de presión y la prueba de penetración estándar, todos han sido usados con éxito para establecer perfiles de resistencia. El penetrómetro de cono y la prueba de penetración estándar pueden ser usados para establecer compacidades relativas.

## 9) REGISTROS

### a) Generalidades

Es esencial que se lleven registros exactos durante la construcción de una presa de jales. Servirán como apoyo al seguimiento de la obra y suministrarán información vital sobre el funcionamiento de la misma. En caso de una falla, ya sea por la cortina, en el revestimiento, etc., la exactitud de los registros permitirá una evaluación correcta de los factores que contribuyeron a dicha falla.

Es importante el registro de los tonelajes diarios producidos y almacenados, porque permitirá hacer un buen pronóstico sobre la vida de la presa y el crecimiento de la cortina.

De todos los registros a llevar, los piezómetros son los más importantes ya que indican la posición gradual del nivel freático, que influye directamente sobre la estabilidad de la cortina contenedora.

### b) Medidas correctivas

Los problemas más serios que pueden surgir en una presa de jales son los siguientes:

- *Derrame o derramamiento.* Esto ocurre cuando el nivel del agua en el estanque sube más arriba del nivel de la corona en la cortina contenedora y el agua fluye por encima. Esto nunca debería ocurrir si se opera la presa con un bordo libre adecuado, aún en el caso de una precipitación pluvial anormal.

Al ocurrir esto, el material estará erosionándose y formará un arroyuelo cuyo tamaño dependerá del volumen del derrame y de la erosionabilidad del suelo. Si no se toman oportunamente las medidas correctivas pertinentes, ocurrirá la erosión regresiva y rápidamente conducirá a la inminente falla total o parcial.

- *Erosión de la superficie.* El paramento exterior de una presa de jales presenta un área considerable de captación durante las precipitaciones pluviales, y los escurrimientos resultantes tienden a formar arroyuelos en las caras expuestas de los bordos iniciadores (u otros diques), si los hay. Los escurrimientos y el derrame de los jales por encima de la cortina afectan seriamente la estabilidad de la misma.

La principal protección contra la erosión superficial consiste en la siembra de vegetación en los taludes de la cortina o el cubrimiento con material grueso de desperdicio (rezaga o "tepetate" de mina).

- *Erosión por infiltración.* Cuando el drenaje al pie del dique es insuficiente, el agua de infiltración sale al pie del dique, creando una zona húmeda y débil, acompañada de erosión que produce socavación en los diques exteriores.

- *Tubificación.* Una forma particular de erosión por infiltración es la tubificación, donde el flujo por infiltración produce la erosión interna con arrastre de finos (lamas) y la formación de tubos o túneles que pueden provocar la destrucción del dique.

- *Inestabilidad de los taludes.* Una combinación de resistencia inadecuada en los jales y/o en el suelo de cimentación puede conducir a una falla de deslizamiento o ruptura de la parte exterior de la cortina (bordo o dique).

El hecho de elevar aún más la altura de una cortina, manteniendo la misma pendiente, la hace insegura. El remedio consiste en reducir la pendiente total por medio de una berma, de preferencia.

- *Inestabilidad o permeabilidad de las torres y tuberías de decantación y drenaje.* Los jales pueden fluir por las fisuras y aberturas mal cerradas. Pueden formarse grandes cráteres poniendo en peligro la seguridad de toda la presa. Las aberturas del vertedor deben estar bien cerradas y cuidadosamente selladas.

Las fallas de las tuberías decantadoras drenantes pueden atribuirse a la lixiviación del concreto, debida a los reactivos químicos contenidos en los jales durante el beneficio de los minerales en la planta concentradora. Si los reactivos químicos atacan al concreto, las tuberías y torres decantadoras deben ser resistentes a éstos o bien estar protegidos de alguna manera.

### c) Mediciones

Las primeras medidas esenciales son localizar la superficie libre de infiltración en la cortina contenedora y evaluar la resistencia al corte de los jales.

La medición y el registro de los perfiles de resistencia al corte *in situ* en la presa puede combinarse con la instalación de piezómetros, principalmente en los casos de construcción con el método "aguas arriba".

Primero se obtienen los perfiles de resistencia en puntos estratégicos, como se indicó en el inciso 8c, después de lo cual podrán instalarse piezómetros de tubo vertical en las perforaciones ejecutadas para la medición de la resistencia al corte.

Los perfiles de resistencia deberán cubrir toda la altura del depósito de jales y lo más profundo posible en el estrato de cimentación. También deberán medirse los perfiles de resistencia al pie del talud, instalando piezómetros para tal efecto.

## 10) CIERRE Y ABANDONO

El cierre y abandono de una presa de jales puede ocurrir debido a numerosas circunstancias. Estas incluyen el alcance de una altura económica o reglamentaria, la falla parcial de la presa y el cierre de la mina u obras a las que servía. El drenaje continuo y la consolidación pueden mejorar la estabilidad de los jales almacenados, pero deben tomarse medidas a fin de evitar riesgos futuros para el hombre y la naturaleza en general.

La erosión eólica puede eliminarse cuando es posible propiciar el crecimiento de vegetación sobre la superficie de las presas y los depósitos abandonados.

## **11) ESTABLECIMIENTO DE CRITERIOS COMPLEMENTARIOS**

Puesto que durante el proyecto, la construcción y la operación de las presas de jales intervienen simultáneamente los aspectos económicos, geotécnicos, hidráulicos, constructivos, etc., a continuación se presentan los principales criterios que complementan a los establecidos en el Capítulo II:

**Primero.** De acuerdo con los métodos constructivos recomendados en el Cuadro 1, conviene seleccionar el más aplicable al caso en estudio, a partir de la información disponible de índole topográfica, hidrológica, sísmológica, geotécnica, ecológica, económica y sobre la disponibilidad de materiales de construcción, más el balance de sólidos y agua durante la producción, etc.

**Segundo.** De acuerdo con los métodos recomendados en el Cuadro 1, es conveniente efectuar los análisis de estabilidad estática y/o dinámica de la cortina contenedora, con el fin de obtener los factores de seguridad esperados durante la construcción y operación, así como para seleccionar el tipo de instrumentación más adecuado al caso en estudio.

**Tercero.** El vaso de almacenamiento debe tener la capacidad suficiente para alojar con seguridad (sin derrames por la cortina) los efluentes enviados (sólidos y agua), tanto en la temporada de "secas" como en la de "lluvias", principalmente en las regiones ciclónicas.

**Cuarto.** Es muy recomendable evitar (derivar o desviar) la entrada de escurrimientos superficiales (dentro de la cuenca de captación) al vaso de almacenamiento de la presa de jales, mediante la construcción de bordos o canales perimetrales que desalojen el agua a otras zonas o cuencas aledañas, con el objeto de reducir el riesgo de falla por derrame del agua sobre la cortina.

**Quinto.** En el vaso de almacenamiento, es indispensable mantener el agua del estanque alejada de la cortina contenedora, ya que los jales se reblandecen por saturación, reducen su capacidad de carga y aumentan su deformabilidad, lo cual disminuye el factor de seguridad contra el deslizamiento de taludes.

**Sexto.** Es muy conveniente que la cortina contenedora se proyecte de tal manera que tenga forma cóncava hacia afuera (exterior o "aguas abajo"), para evitar las zonas de tensión que den lugar a agrietamientos y vías de agua por tubificación (con arrastre de lamas), lo cual conlleva a la rotura y a la falla progresiva de una presa de jales. Si se construyen en forma de arco (y como límite la línea recta), aumentan las probabilidades de presentarse esfuerzos de compresión que dan una mayor seguridad a las cortinas contenedoras.



**Séptimo.** Por el vertedor de demasías o la alcantarilla de decantación y drenaje (según lo recomendado en el Cuadro 1) deberá transitarse la avenida de diseño (entre el NAMO y el NAME, según se ilustra en la Fig. III-1) en todas las etapas de construcción y operación, con el fin de definir el bordo libre (diferencia de elevaciones entre la corona de la cortina y el NAME) que deberá mantenerse siempre durante la vida de la obra y aún después de colmada y abandonada la presa de jales.

# FIGURAS Y CUADRO

# CLASIFICACION DE PRESAS DE JALES

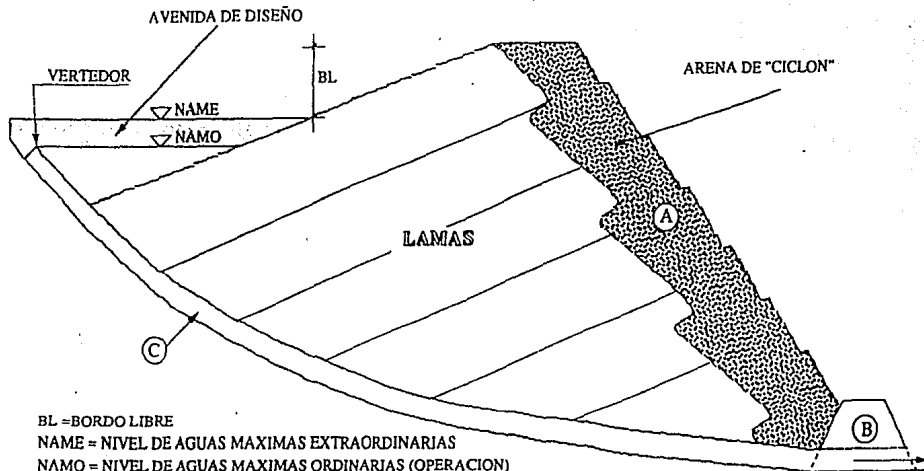
Grupo	Sub-grupo	Categoría	TOPOGRAFIA			HIDROLOGIA			SISMICIDAD			SIMBOLO	METODO				ANALISIS				INSTRUMENTACION				ALCANTARILLA				
			TERRENO			ZONA			REGION				CONSTRUCTIVO				ESTABILIDAD				DECANT. Y DIFUS.								
			M	L	P	C	H	S	S	P	A		Alc	Alc	Nr	Ah	E <sub>c</sub>	E <sub>l</sub>	E <sub>s</sub>	S <sub>f</sub>	P	I	R	S	S <sub>p</sub>	C <sub>c</sub>	B <sub>n</sub>	S	
I	1	1	x			x			x			$T_m \cdot Z_c \cdot R_3$	-	1	1	1	4	1	4	1	1	2	1	1	2	-	-		
		2	x			x			x			$T_m \cdot Z_c \cdot R_p$	-	1	1	1	3	1	3	1	4	1	2	1	2	4	-		
		3	x			x			x			$T_m \cdot Z_c \cdot R_4$	4	1	1	1	2	1	-	-	2	-	1	-	1	2	3	4	
	2	4	x				x			x			$T_m \cdot Z_h \cdot R_3$	-	1	1	1	4	1	4	1	1	2	1	1	2	4	-	
		5	x				x			x			$T_m \cdot Z_h \cdot R_p$	4	1	1	1	3	1	3	1	4	1	2	1	2	3	4	
		6	x				x			x			$T_m \cdot Z_h \cdot R_4$	3	1	1	1	2	1	-	-	2	-	1	-	1	2	2	3
	3	7	x				x	x		x			$T_m \cdot Z_s \cdot R_3$	3	1	1	1	2	1	2	1	1	4	1	2	1	2	3	4
		8	x				x		x	x			$T_m \cdot Z_s \cdot R_p$	3	1	1	1	2	1	2	1	1	4	1	2	1	2	3	4
		9	x				x			x			$T_m \cdot Z_s \cdot R_4$	2	1	1	1	2	1	-	-	2	-	1	-	3	2	1	2
II	4	10		x		x			x			$T_1 \cdot Z_c \cdot R_3$	-	1	1	1	2	1	2	1	1	2	1	1	2	4	-		
		11		x		x			x			$T_1 \cdot Z_c \cdot R_p$	3	1	1	1	2	1	2	1	1	4	1	2	1	2	4	-	
		12		x		x			x			$T_1 \cdot Z_c \cdot R_4$	2	1	1	1	2	1	-	-	2	-	1	-	1	2	3	4	
	5	13		x			x			x			$T_1 \cdot Z_h \cdot R_3$	3	1	1	1	2	1	2	1	1	2	1	1	2	4	-	
		14		x			x			x			$T_1 \cdot Z_h \cdot R_p$	2	1	1	1	2	1	2	1	1	4	1	2	1	2	3	4
		15		x			x			x			$T_1 \cdot Z_h \cdot R_4$	1	1	1	1	2	-	-	-	2	-	1	-	1	2	2	3
	6	16		x				x	x				$T_1 \cdot Z_s \cdot R_3$	2	1	1	1	2	1	2	1	1	2	1	1	1	2	3	4
		17		x				x		x			$T_1 \cdot Z_s \cdot R_p$	1	1	1	1	2	1	1	1	1	4	1	2	1	2	3	4
		18		x				x			x		$T_1 \cdot Z_s \cdot R_4$	1	1	1	1	1	2	-	-	2	-	1	-	3	2	1	2
III	7	19			x	x			x			$T_p \cdot Z_c \cdot R_3$	-	1	1	1	2	1	2	1	1	2	1	1	2	4	-		
		20			x	x			x			$T_p \cdot Z_c \cdot R_p$	3	1	1	1	2	1	2	1	1	4	1	2	1	2	4	-	
		21			x	x			x			$T_p \cdot Z_c \cdot R_4$	2	1	1	1	2	1	-	-	2	-	1	-	1	2	3	4	
	8	22			x			x				$T_p \cdot Z_h \cdot R_3$	3	1	1	1	2	1	2	1	1	2	1	1	1	2	4	-	
		23			x			x				$T_p \cdot Z_h \cdot R_p$	2	1	1	1	2	1	2	1	1	4	1	2	1	2	3	4	
		24			x			x			x	$T_p \cdot Z_h \cdot R_4$	1	1	1	1	1	2	-	-	2	-	1	-	1	2	2	3	
	9	25			x			x	x			$T_p \cdot Z_s \cdot R_3$	2	1	1	1	2	1	2	1	1	2	1	1	1	2	3	4	
		26			x			x		x		$T_p \cdot Z_s \cdot R_p$	1	1	1	1	1	2	1	2	1	4	1	2	1	2	3	4	
		27			x			x			x	$T_p \cdot Z_s \cdot R_4$	1	1	1	1	1	2	-	-	2	-	1	-	3	2	1	2	

Nota: El #1 corresponde a la opción más recomendable, según sea el caso.

**CUADRO 1**

Montañoso	Lomero	Plano	Ciclónica	Húmeda (lluviosa)	Seca	Sísmica	Perezisímica	Asísmica	Estatco Convencional	Estatco	Elemento Finito	Pneumático	Símico	Elemento Finito	Piezómetros	Inclinómetros	Referencias	Stimógrafos	Sección Portal	Conducto Circular o Cuadrado	Bombeo en Baja	Sifones
-----------	--------	-------	-----------	-------------------	------	---------	--------------	----------	----------------------	---------	-----------------	------------	--------	-----------------	-------------	---------------	-------------	-------------	----------------	------------------------------	----------------	---------

## METODO CONSTRUCTIVO "AGUAS ARRIBA" ("CICLONEADO")



BL = BORDO LIBRE

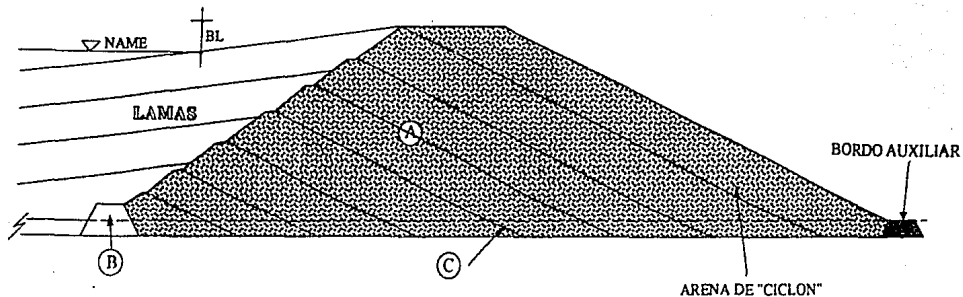
NAME = NIVEL DE AGUAS MAXIMAS EXTRAORDINARIAS

NAMO = NIVEL DE AGUAS MAXIMAS ORDINARIAS (OPERACION)

- (A) CORAZA ARENOSA RESISTENTE Y PERMEABLE (DIQUES)
- (B) BORDO INICIADOR
- (C) TUBERIA DECANTADORA DRENANTE

FIG. III - 1

## METODO CONSTRUCTIVO "AGUAS ABAJO" ("CICLONEADO")



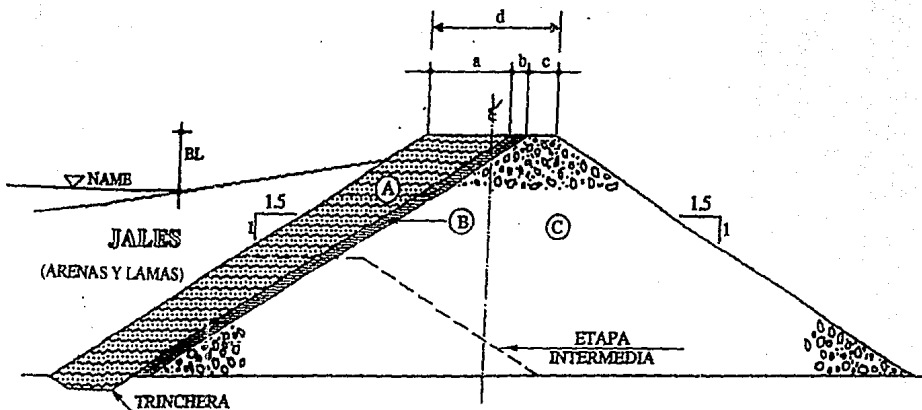
BL = BORDO LIBRE

NAME = NIVEL DE AGUAS MAXIMAS EXTRAORDINARIAS

- (A) CORAZA ARENOSA RESISTENTE Y PERMEABLE (DIQUES)
- (B) BORDO INICIADOR
- (C) TUBERIA DECANTADORA DRENANTE

FIG. III - 2

## METODO CONSTRUCTIVO "AGUAS ABAJO" (SECCION GRADUADA)



- (A) CORAZA ARCILLOSA IMPERMEABLE (DRENES)
- (B) FILTRO PERMEABLE
- (C) ENROCAMIENTO RESISTENTE Y PERMEABLE

FIG. III - 3

# METODO CONSTRUCTIVO "AGUAS ABAJO" (SECCION HOMOGENEA)

BL = BORDO LIBRE

NAME = NIVEL DE AGUAS MAXIMAS EXTRAORDINARIAS

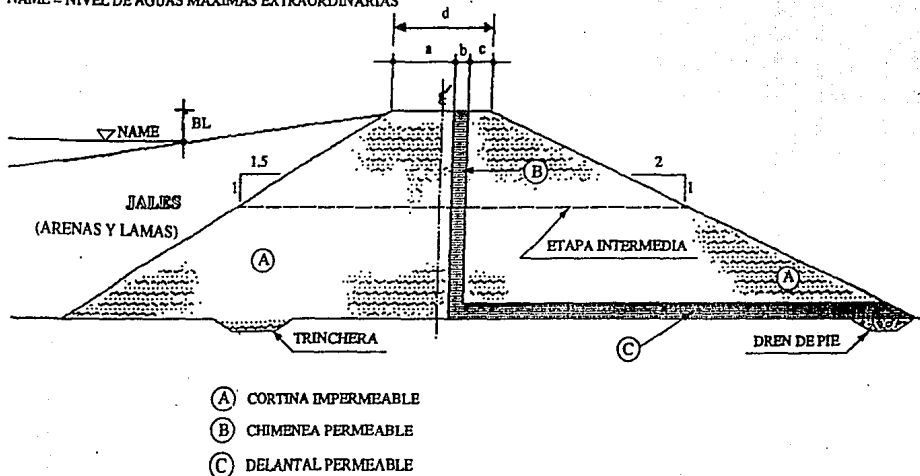
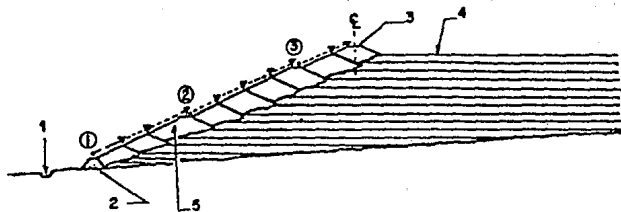


FIG. III - 4

# "CICLONEADO" CON EL METODO "AGUAS ARRIBA"



1) Dren (zanja) al pie del bordo iniciador

2) Bordo iniciador

3) Cortina contenedora

4) Playas de finos jalosos  
(Flujo superior de los hidrociclones)

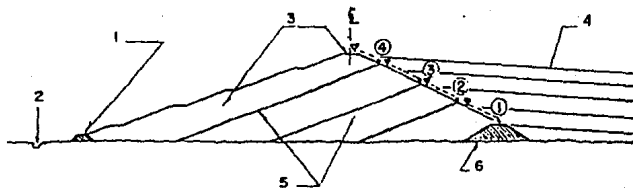
5) Diques de material arenoso grueso  
(Flujo inferior de los hidrociclones)

①②③ Posiciones sucesivas del conducto de alimentación

-----> Posiciones sucesivas del hidrociclón



**"CICLONEADO" CON EL METQDO  
"AGUAS ABAJO"**



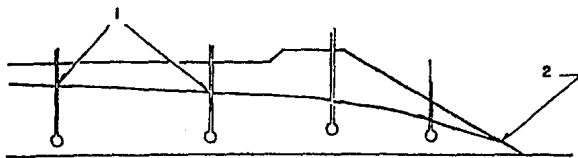
- 1) Dique auxiliar
- 2) Dren (zanja) al pic del dique auxiliar
- 3) Cortina contenedora (6 + 5)
- 4) Playas de finos jalosos  
(Flujo superior de los hidrociclones)
- 5) Diques de material arenoso grueso :  
Coraza arenosa resistente y permeable  
(Flujo inferior de los hidrociclones)
- 6) Bordo iniciador

①②③④ Posiciones sucesivas del conducto alimentador de lodos

-----> Posiciones sucesivas del hidrociclón

FIG. III - 6

**SUPERFICIE DE INFILTRACION  
ESTABLECIDA CON PIEZOMETROS**



1) Nivel de aguas registrado en los piezómetros

2) Salida de la infiltración

# CAPITULO IV

# CARACTERISTICAS DEL SITIO (LA CIENEGA)

## 1) LOCALIZACION

El Proyecto "La Ciénega" está concebido para obtener fundamentalmente minerales preciosos (oro y plata) y se localiza aproximadamente a 250 km lineales al NW de Durango, Dgo. (Fig. IV-1).

El acceso al mismo es por la carretera pavimentada 45 partiendo de la Cd. de Durango a Tepehuanes; en el km 191 se localiza un camino de terracería con longitud de 180 km que da acceso al poblado Ciénega de Nuestra Señora, Municipio de Santiago Papasquiari, Dgo. La zona estudiada para la Presa de Jales se ubica a 2.8 km lineales en dirección S28W del poblado arriba citado.

## 2) DATOS DE PROYECTO

### a) Cantidad de efluentes

Para el llenado de la presa de jales se consideraron los datos proporcionados por la gerencia de proyecto los cuales se mencionan a continuación:

- Peso volumétrico seco: 1.46 t/m<sup>3</sup>
- Humedad de los jales: 37.93%
- Producción: 61.39 t/h (sólidos)
- Pulpa total (sólidos + agua) : 169.34 t/h

Del esquema gravimétrico presentado en la Fig. IV- 2 se deduce que los volúmenes que se enviarán a la presa de jales son los siguientes:

• Agua de transporte: 84,67 m<sup>3</sup>/h

• Jal húmedo: 42.1 m<sup>3</sup>/h

En la Tabla 1 se presenta la cantidad de efluentes por enviar a la presa de jales, considerando 30 días de operación al mes (prácticamente todos los días del año).

Es conveniente aclarar que estos volúmenes, comparados con los originalmente indicados en la Ref. 7, representa un volumen dos veces mayor, con la consecuencia de que la vida útil de la presa se reduce a la mitad.

Puesto que en la realidad serán 300 los días de operación por año de la planta y no 365 días como se supuso al elaborar la Tabla 1, la cantidad de efluentes por enviar a la presa de jales se presenta en la Tabla 2, la cual sirvió de base para determinar la vida útil de la presa.

#### **b) Características del sitio**

De acuerdo con la clasificación presentada en el Cap. III, el sitio se puede ubicar en la categoría # 3 ( $T_m \cdot Z_c \cdot R_a$ ); es decir, que se trata de una presa de jales en terreno montañoso, zona ciclónica y región sísmica.

### **3) ESTUDIO GEOLOGICO**

#### **a) Localización**

El área estudiada se encuentra aproximadamente a 800 m con rumbo N 80 E de la mina El Carmen y a 150 al N del arroyo del mismo nombre, como se ilustra en la Fig. IV-3.

#### **b) Objetivo del estudio**

El estudio del área de la cortina contenedora para la futura presa de jales tiene como objetivo: determinar las características geológico-estructurales del terreno en que se alojará la cortina contenedora y el vaso de almacenamiento.

Como parte del estudio se requerirá una descripción de los diferentes tipos de roca que se encuentran, haciendo énfasis en su permeabilidad relativa, el grado de intemperismo o alteración debido a las cambiantes características físicas y químicas de la roca, etc.

Aparte de la cimentación de la cortina contenedora, otro aspecto muy importante a considerar es el análisis geológico-estructural de la cuenca, para evitar problemas posteriores al elegir un mal sitio. En caso de que existan suelos, es necesario determinar su tipo y espesor, así como las partes en que se encuentren depósitos de relleno suelto.

### **c) Método de trabajo**

Se hizo un levantamiento geológico preliminar ubicando las diferentes unidades litológicas y se tomaron datos estructurales, como sistemas de fracturamiento, rumbo y echado de las capas de pseudo-estratificación, además del grado de intemperismo y de oxidación.

Debido a la existencia de pocos afloramientos por escombros o depósitos de talud y tierra vegetal, acumulados en las pendientes de los cerros en los que se encuentra la zona de estudio, se efectuaron 20 pozos a cielo abierto con diámetro aproximado de 1.50 m y profundidad variable de 0.75 m a 3.90 m hasta alcanzar roca firme, véase la Fig. IV-4. Estos sirvieron para delimitar contactos y comprobar la profundidad de la zona de oxidación.

Posteriormente se pasó toda la información al plano topográfico y se hicieron las secciones geológicas correspondientes.

### **d) Descripción geológica del área**

El área estudiada se localiza en la cañada del arroyo "El Chuchucuate", con elevaciones que se encuentran de 2400 a 2550 m (s.n.m). Se tiene una topografía muy accidentada con abundantes arroyos secundarios que integran un sistema dendrítico complejo que desemboca hacia el arroyo El Carmen, el cual drena a la zona de barrancas dando origen a caídas de agua de considerable magnitud.

Las rocas expuestas en el área pertenecen al grupo volcánico superior de la Sierra Madre Occidental, con un período de depósito que va del oligoceno medio a principios del mioceno y se pueden dividir en dos grupos:

El primero está constituido por lavas de color pardo-rojizo cuya composición varía de riodacita a traquita, con fenocristales de plagioclasas, ortoclasas y de cuarzo, en menor cantidad. En la mayoría de los pozos, la roca se encuentra bastante compacta y silicificada, aunque se observó una zona con intensa oxidación debida probablemente a la acción de aguas meteóricas sobre pirita diseminada, en que la roca es deleznable (pozos B-2, B-5, B-10 Y B-14), pero se encuentra compacta.

Esta roca se vuelve más andesítica hacia su base, ya que en el pozo B-1 así se observó, además de que presenta fuerte silicificación y abundante pirita diseminada.

El segundo grupo de rocas volcánicas está formado por flujos y tobas cristalinas de composición riolítica, con abundante contenido de cristales de cuarzo translúcido, ortoclasas y biotita, como accesorio. Este paquete riolítico abarca la mayoría de la zona estudiada y se encuentra muy silicificada en su mayor parte, además de compacta. La pseudo-estratificación presenta una ligera inclinación hacia el SW, variando de 10 a 20°.



Ambos grupos de roca se encuentran afectados por varios sistemas de fracturamiento, con rumbo NW 55 SE a NW 80 SE y echado promedio de 73 al SW, los que coinciden con los lineamientos regionales observables en fotografías aéreas.

De la información obtenida de los pozos, también se logró determinar que la cubierta de tierra vegetal (color negro con alto contenido de materia orgánica) es muy delgada (0.10 a 0.50 m). Los depósitos de talud varían de 0.35 a 3.70 m y la roca firme se encontró de 0.15 a más de 3.70 m.

#### e) Conclusiones y Recomendaciones

##### *•Conclusiones*

Se puede concluir que tanto la zona de la cortina como la del vaso de almacenamiento en donde se pretende construir la presa de jales, presentan condiciones geológicas-estructurales favorables, debido a que no se observó ninguna falla que corte la zona o que afecte a las unidades volcánicas que hayan sido desplazadas de su posición original.

En cuanto a la permeabilidad relativa, también es favorable la zona, ya que las rocas volcánicas se pueden considerar de baja permeabilidad, tomando en cuenta que la mayor parte de ellas están silicificadas; sin embargo, pueden presentar una mayor permeabilidad originada por los sistemas de fracturamiento que las están afectando. Esto no es un problema grave, ya que las presas de jales se proyectan para almacenar sólidos y no agua.

Tanto la capa de tierra vegetal como los depósitos de talud, no son muy profundos y la roca firme se localiza a una profundidad promedio de 0.65 m, por lo que la excavación para el desplante de la cortina no sería muy profunda. Para ubicar en detalle las profundidades a las que se encuentra la roca firme, conviene consultar la Fig. IV-5.

Este estudio de geología superficial puede presentar variaciones posteriores; sin embargo, contiene las bases necesarias para tener una idea bastante aproximada de las condiciones físico-estructurales de la zona en que se construiría el bordo.

#### *•Recomendaciones*

Si se desea más conocimiento sobre el potencial de infiltración, en el terreno natural, es recomendable hacer un estudio geohidrológico de toda la zona de la presa, determinando las permeabilidades de las diferentes unidades volcánicas y haciendo más sondeos, sobre todo en la parte de la cuenca en la que aún no se ha hecho trabajo alguno.

Este último punto es muy importante, ya que en las fotografías aéreas de esta zona se localiza una fractura muy continua de rumbo NW, que coincide con el arroyo principal que cruza la parte central del vaso de almacenamiento.

Se considera conveniente corroborar esto en el campo para decidir si afectaría o no a la construcción en esta zona, pensando en la posible contaminación de los manantiales debido a filtraciones de agua de los jales. Esto no es de importancia si las aguas contienen reactivos inocuos y, además, existe el efecto autosellante mencionado en el Capítulo III (inciso 8b).

En la zona de la cortina contenedora no se encontró evidencia de la fractura mencionada en el párrafo anterior. .

#### 4) DATOS HIDROLOGICOS

El sitio donde se construirá la presa de jales, se encuentra ubicado en la región hidrológica # 10, situada al noroeste del país (véase la Fig. IV-6).

##### a) Lluvias mensuales y anuales

En la Tabla 3 se presentan los datos de lluvia mensual y anual de 1956 a 1990, registrados en la estación de Acatitán, Sin. En la parte inferior se indican el promedio y el valor máximo para cada uno de los meses.

En la Tabla 4 se presentan los datos de lluvia mensual y anual de 1969 a 1984, registrados en la estación La Huerta,Dgo. En la parte inferior se indican el promedio y el valor máximo para cada uno de los meses.

En las Tablas 5 a 10 se presentan los datos de lluvia mensual y anual de 1981 a 1991, registrados respectivamente en las estaciones "Los Altares", San Miguel de los Lobos, Ojito de Camellones (con valores hasta 1989), San Diego de Tenzáenz, Topia (con valores hasta 1985) y El Cantil, en el Edo. de Durango.

**b) Lluvias máximas en 24 horas**

En la Tabla 11 se presentan los datos de lluvia máxima en 24 horas, registrados durante el período de 1956 a 1990 (35 años) en la estación de Acatitán, Sin. En la parte inferior se indican el promedio y el valor máximo para cada uno de los meses.

Del análisis de los datos registrados durante 35 años se observa que la lluvia máxima en 24 horas se presentó durante el mes de septiembre de 1974, con un valor de 217.4 mm.

En la Tabla 12 se presentan los datos de lluvia máxima en 24 horas, registrados durante el período de 1969 a 1984 (16 años) en la Estación de la Huerta, Sin. En la parte inferior se indican el promedio y el valor máximo para cada uno de los meses.

Del análisis de los datos registrados durante 16 años, se observa que la lluvia máxima en 24 horas se presentó durante el mes de enero de 1979, con un valor de 146 mm.

Del Boletín de tormentas máximas observadas y probables en México en 24 horas (hasta 1974), editado por la Secretaría de Recursos Hidráulicos, en la Fig. IV-6 se observa que para una frecuencia media (período de retorno) de 50 años, la tormenta máxima probable en 24 horas en el sitio del Proyecto La Ciénega es de 225 mm.

La precipitación máxima probable se calculó aplicando el Método de Hershfield, mediante la fórmula:

$$X_T = X_N + K S_N \quad (1)$$

en donde:

$X_T$  = lluvia probable para una frecuencia o período de retorno de N años

$X_N$  = valor medio de todos los valores de la serie de datos

$S_N$  = desviación normal de la serie de N valores máximos anuales

K = variación normal

La lluvia máxima en 24 horas, obtenida por el Método de Hershfield, para un período de retorno de 50 años y con un valor de 225 mm, se comparó con los datos registrados durante el período de 35 años en la estación Acatitán, Sin., los cuales presentan un valor máximo de 217.4 mm.

De la comparación anterior se decidió utilizar como precipitación máxima probable en 24 horas el valor de 225 mm, para obtener el volumen de agua aportado al vaso de almacenamiento de la presa de jales, para un período de retorno de 50 años.

c) Volumen de escurrimiento superficial aportado al vaso de la presa de jales

En una cuenca chica de las regiones semi-áridas de México, como es el caso del Proyecto La Ciénega, la tormenta de diseño por adoptar será la del tipo "tormenta violenta de gran intensidad y corta en duración".

Las pérdidas en infiltración y evapotranspiración, que se deducirán de la precipitación pluvial, se estimaron en 30 %. En consecuencia, la lluvia neta de diseño o escurrimiento superficial en 24 horas será:

$$0.7 \times 225 \text{ mm} = 157.5 \text{ mm}$$

El área de la cuenca total que aportaría al vaso de la presa de jales es:

$$A = 91.24 \text{ Ha}$$

De acuerdo con el área, la cuenca de la presa de jales estaría clasificada dentro de las cuencas muy pequeñas.

El volumen de diseño neto de escurrimiento máximo en 24 horas será:

$$91.24 \times 10^4 \times 0.1575 = 143,703 \text{ m}^3$$

Con este enfoque, el caudal que desalojaría la alcantarilla, sería el siguiente:

$$\frac{143.703}{24 \times 3600} = 1.663 \text{ m}^3/\text{s}$$

Las tormentas de intensidad máxima y corta duración aquí consideradas, son eventos raros cuyo período de retorno se estimó de 50 años. Es altamente improbable que en un año de calendario ocurran varios de estos tan extremos.

**d) Avenida de diseño por el Método de la Envolvente de Caudales Máximos**

Se efectuó la revisión del gasto máximo con la ecuación de la envolvente de caudales máximos, propuesta por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, la cual se presenta a continuación:

$$q = 470 (A + 250)^{0.85} \quad (2)$$

en donde:

q = caudal unitario máximo, m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>

A = área de la cuenca, km<sup>2</sup>

Al substituir el área de la cuenca (0.912 km<sup>2</sup>) en la fórmula (2) , se obtiene:

$$q = 4.290 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2.$$

El gasto máximo de la avenida de proyecto se calculó al utilizar un factor de seguridad de 2 y multiplicar "q" por el área de la cuenca, es decir:

$$Q = 2 \cdot q \cdot A \quad (3)$$

en donde:

$$Q = \text{gasto de la avenida máxima de proyecto, m}^3/\text{s}$$

Substituyendo valores en la Ec. (3), se obtiene

$$Q = 7.825 \text{ m}^3/\text{s}$$



**FIGURAS  
Y  
TABLAS**

# PLANO DE LOCALIZACION

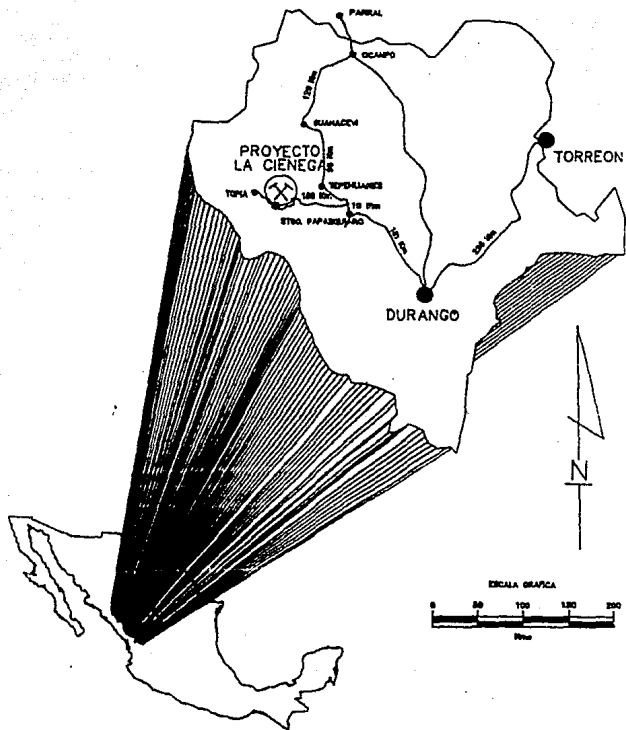
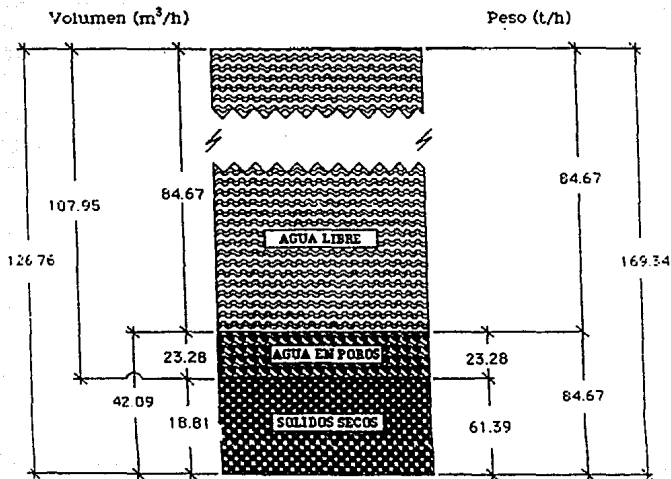


FIG. IV - 1

## ESQUEMA GRAVIMETRICO DE LA PULPA



$$G_s = \text{Gravedad específica} = 3.26$$

$$w = \text{humedad} = \frac{23.28}{61.39} = 37.93 \%$$

$$\bar{\rho}_s = \text{peso volumétrico seco de los jales} = \frac{61.39}{42.09} = 1.46 \text{ t/m}^3$$

$$\bar{\rho}_p = \text{peso volumétrico de la pulpa} = \frac{169.34}{126.76} = 1.336 \text{ t/m}^3$$

FIG. IV - 2

LOCALIZACION  
(PLANTA)

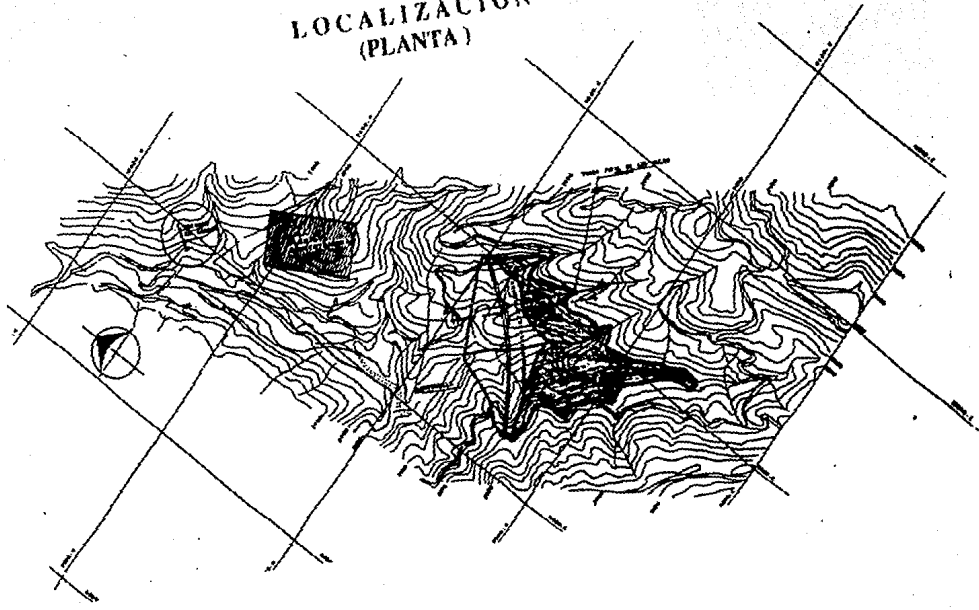


FIG. IV - 3

# LOCALIZACION DE LOS POZOS

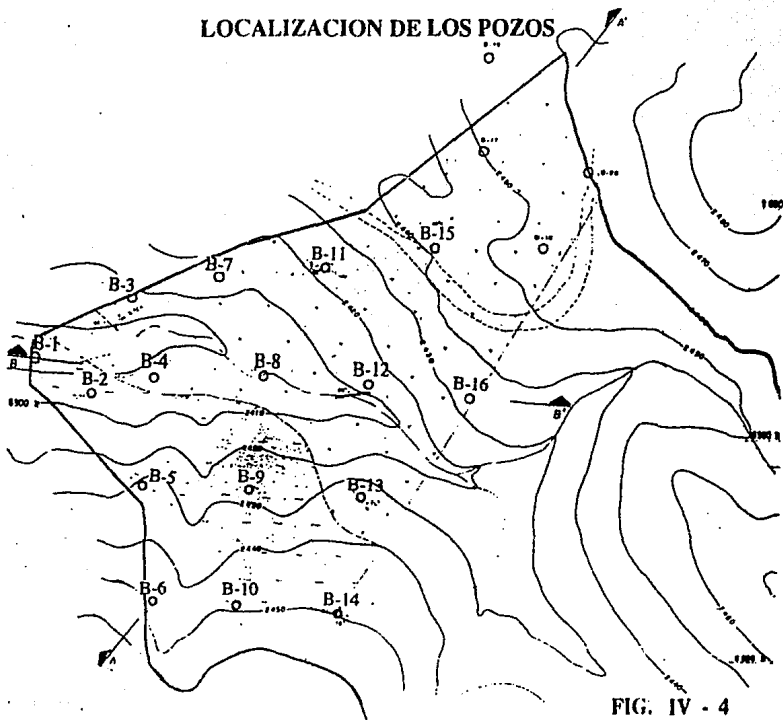


FIG. IV - 4

## DATOS DE LOS POZOS PERFORADOS EN LA ZONA DEL BORDO DE LA PRESA DE JALES

NUMERO DE POZOS	CUBIERTA VEGETAL	TALUD	ROCA FIRME	TOTAL
B-1	0.0 - 0.50	SIN TALUD	0.50 - 1.70	1.70
B-2	0.0 - 0.50	SIN TALUD	0.50 - 1.60	1.60
B-3	0.0 - 0.10	0.10-2.70	2.70 - 3.30	3.30
B-4	0.0 - 0.20	0.20-2.40	2.40 - 3.00	3.00
B-5	0.0 - 0.25	SIN TALUD	0.25 - 2.60	2.60
B-6	0.0 - 0.30	0.30-0.60	0.60 - 1.50	1.50
B-7	0.0 - 0.10	0.10-3.70	NO LLEGO	3.7
B-8	0.0 - 0.20	0.20-1.00	1.00 - 1.10	1.10
B-9	0.0 - 0.30	0.30-2.80	2.80 - 2.90	2.90
B-10	0.0 - 0.30	0.30-0.60	0.60 - 1.90	1.90
B-11	0.0 - 0.15	SIN TALUD	0.15 - 1.30	1.30
B-12	0.0 - 0.10	0.10-0.35	0.35 - 1.10	1.10
B-13	0.0 - 0.45	SIN TALUD	0.45 - 1.45	1.45
B-14	0.0 - 0.20	SIN TALUD	0.20 - 0.90	0.90
B-15	0.0 - 0.10	0.10-0.70	0.70 - 0.75	0.75
B-16	0.0 - 0.10	0.10-0.85	0.85 - 1.35	1.35

PROFUNDIDAD EN METROS

FIG. IV - 5

# TORMENTAS MAXIMAS PROBABLES EN 24 HRS. FRECUENCIA MEDIA 50 AÑOS.

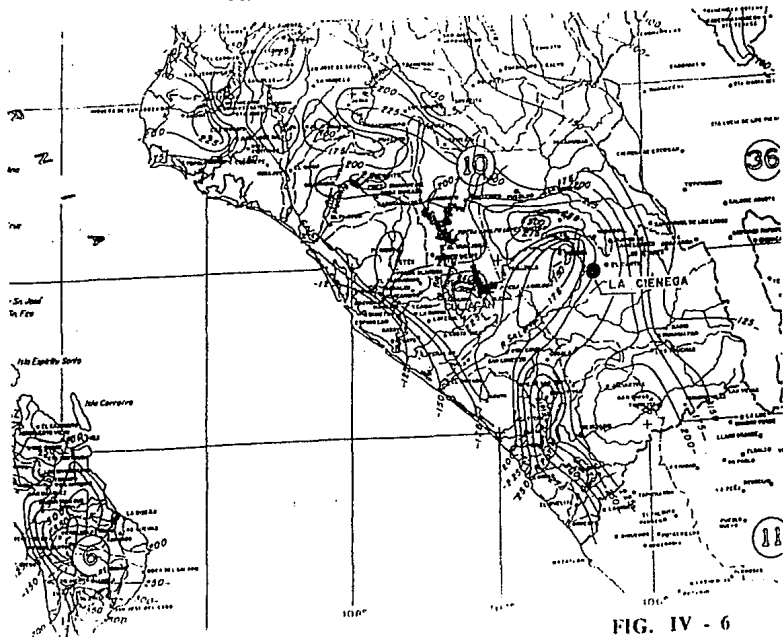


FIG. IV - 6

**CANTIDAD DE EFLUENTES  
POR ENVIAR A LA PRESA DE JALES**

<b>TIEMPO</b>	<b>SOLIDOS HUMEDOS (m<sup>3</sup>)</b>	<b>AGUA LIBRE (m<sup>3</sup>)</b>	<b>TOTAL (m<sup>3</sup>)</b>
<b>1 Hora</b>	42.1	84.7	126.8
<b>1 Día</b>	1,010	2032.8	3042.8
<b>1 Mes *</b>	30,300	60,984	91,284
<b>1 Año</b>	363,600	731,808	1'095,408
<b>5 Años</b>	1'818,000	3'659,040	5'477,040
<b>10 Años</b>	3'636,000	7'318,080	10'954,080
<b>12 Años</b>	4'363,200	8'781,696	13'144,896

\* Se consideraron 30 días de operación al mes

TABLA 1



**CANTIDAD DE EFLUENTES  
POR ENVIAR A LA PRESA DE JALES**

TIEMPO	SOLIDOS HUMEDOS (m <sup>3</sup> )	AGUA LIBRE (m <sup>3</sup> )	TOTAL (m <sup>3</sup> )
1 Hora	42.1	84.7	126.8
1 Día	1,010	2032.8	3042.8
1 Mes *	25,250	50,820	76,070
1 Año	303,000	609,840	912,840
5 Años	1'515,000	3'049,200	4'564,200
10 Años	3'030,000	6'098,400	9'128,400
12 Años	3'636,000	7'318,080	10'954,080

\* Se consideraron 25 días de operación al mes

TABLA 2

TABLA 3. PRECIPITACION PLUVIAL MENSUAL REGISTRADA  
EN LA ESTACION ACATITAN, SINALOA (EN mm)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1956							182.0	231.7	153.1	0.0	5.9	1.5	
1957	2.8	2.2	32.8	0.0	0.0	6.0	66.8	213.5	129.0	50.5	2.6	19.1	525.3
1958	21.2	17.7	23.9	25.3	0.0	200.9	245.7	195.6	268.8	105.3	44.2	15.6	1164.2
1959	0.0	0.0	0.0	5.8	0.0	19.9	323.0	186.3	114.7	86.4	4.6	14.2	754.9
1960	62.9	0.0	0.0	0.0	0.0	12.2	168.4	279.5	66.4	123.5	0.0	45.5	758.4
1961	97.1	0.0	0.0	9.6	0.0	44.1	301.2	145.7	169.9	38.6	INAP	106.9	913.1
1962	5.0	0.0	1.4	0.0	0.0	63.8	116.0	184.9	118.8	102.5	44.9	0.6	637.9
1963	3.0	13.2	0.0	0.0	0.0	62.5	226.0	149.1	254.5	49.2	2.0	139.5	895.0
1964	2.2	0.0	3.2	0.0	0.3	5.9	123.7	209.3	132.1	155.0	0.0	13.3	650.0
1965	11.7	12.8	0.0	0.0	0.0	2.5	234.1	228.7	204.2	0.0	0.0	70.4	764.4
1966	3.8	1.3	0.0	16.8	0.0	12.4	90.7	243.8	169.0	3.8	0.0	8.5	550.1
1967	20.1	0.0	0.0	0.0	0.0	15.4	109.5	281.7	157.9	14.0	1.6	83.7	683.9
1968	31.7	71.3	24.0	0.7	0.0	0.0	113.7	139.7	345.9	2.9	161.4	14.4	905.7
1969	3.2	14.7	0.0	0.0	0.0	7.3	195.8	264.1	115.2	113.2	2.7	65.5	781.7
1970	33.3	10.8	0.9	0.0	0.0	41.2	186.0	158.9	236.9	0.0	0.0	0.0	668.0
1971	0.0	8.1	0.0	0.0	0.0	81.0	232.4	210.5	191.2	73.2	0.0	6.2	802.6
1972	40.7	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	295.2	200.5	134.9	325.4	170.6	56.3	1225.6
1973	10.0	83.1	2.9	0.0	INAP	0.0	269.8	207.0	140.7	6.9	0.0	0.1	720.5
1974	0.0	0.0	0.9	0.0	10.6	36.8	156.7	172.4	324.2	1.3	46.0	91.0	844.9
1975	0.6	0.6	0.0	0.0	0.0	0.8	294.2	152.6	133.8	10.0	2.5	0.0	600.1
1976	INAP	0.0	0.0	0.0	0.0	82.6	309.9	176.7	29.1	167.0	59.5	50.5	875.3
1977	13.9	0.0	3.4	0.0	INAP	39.1	149.5	260.3	117.9	64.8	20.6	0.0	669.5
1978	INAP	32.0	0.0	1.4	0.0	1.7	200.2	116.5	158.3	51.4	0.3	21.4	583.2
1979	75.4	8.7	0.1	INAP	0.2	1.4	131.3	119.9	100.8	0.0	0.0	21.9	458.7
1980	6.6	9.0	0.5	0.8	0.0	50.4	209.5	301.1	123.3	246.6	30.4	3.6	981.8
1981	73.2	0.0	4.2	1.9	0.0	67.2	191.1	198.7	162.3	254.5	0.3	1.0	954.4
1982	3.0	0.0	23.8	0.8	0.0	3.7	120.4	192.7	141.2	34.5	118.5	84.3	722.9
1983	53.4	21.0	76.8	11.5	4.7	0.0	235.0	382.4	252.5	138.8	0.6	18.6	1123.3
1984	76.2	0.0	0.0	0.8	2.5	149.5	371.1	250.7	191.6	16.9	32.0	129.0	1220.3
1985	63.5	5.8	0.0	0.0	0.0	187.4	106.4	261.3	103.6	278.5	1.8	0.3	1008.6
1986	5.2	38.4	0.0	11.7	0.0	3.2	390.4	322.6	115.6	153.6	0.0	12.5	1058.2
1987	6.2	13.5	0.0	0.0	5.7	0.0	94.0	139.2	28.3	40.4	5.4	52.0	386.5
1988	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	5.3	242.9	260.6	172.5	0.0	0.0	58.8	741.1
1989	3.4	8.6	0.0	0.0	0.0	2.6	92.5	246.9	66.7	61.0	76.0	11.5	56.7
1990	26.4	4.8	2.7	0.5	0.0	71.3	384.0	186.2	102.2				
SUMA	755.7	372.6	202	87.6	24	1285.1	7159.9	7466.3	5432.1	2767.7	834.4	1209.7	26248.1
PROMEDIO	22.23	11.11	5.94	2.58	0.71	37.80	2045.7	213.37	155.20	81.40	24.54	35.58	795.48
VALOR MAX	97.1	83.1	76.8	25.3	10.6	200.9	390.4	362.4	345.9	325.4	170.6	12.9	1220.3

TABLA 4. PRECIPITACION PLUVIAL MENSUAL REGISTRADA  
EN LA ESTACION LA HUERTA, DGO. (EN mm)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1969			INAP.	1.5	50.1	19.6	185.0	30.9	124.2	37.6	0.8	214.6	
1970	64.0	39.7	1.6	0.0	4.5	82.9	153.3	108.4	169.5	0.2	0.0	0.5	624.6
1971	19.2	15.2	0.0	1.6	0.0	150.9	159.1	175.8	94.2	150.6	6.0	85.4	858.0
1972	94.3	0.0	0.5	INAP.	49.4	57.6	104.5	134.7	58.2	217.5	148.1	25.3	890.1
1973	52.1	164.7	15.5	3.9	5.6	44.3	167.0	233.4	120.3	24.2	0.0	14.8	845.8
1974	0.0	0.0	13.3	0.0	41.9	5.0	116.9	179.4	128.5	19.3	203.0	176.0	883.3
1975	26.7	36.5	0.0	INAP.	0.0	52.2	91.3	156.9	46.5	0.0	16.5	6.4	433.0
1976	22.0	1.5	6.0	7.5	5.0	114.3	101.6	80.0	83.5	249.5	72.9	131.0	894.8
1977	56.2	0.0	21.5	0.0	INAP.	121.8	179.1	93.7	51.5	51.4	11.0	0.0	586.2
1978	INAP.	57.0	1.5	10.1			224.7		160.4	50.2	12.8	78.6	
1979	201.9	119.2	3.6	0.0	42.4		97.1	166.1	56.7	0.0	0.0	40.4	
1980	6.0	29.0	27.5	0.0		42.1	170.3	162.5	106.2	105.2	67.0	56.2	
1981	182.8	10.0	57.2	83.1	1.8	55.5	77.9	123.8	226.1	147.8	2.2	12.8	981.0
1982	45.2	0.0	0.0	4.4	5.4	41.7	168.3	95.4	110.9	27.0	127.0	130.8	756.1
1983	98.8	58.6	116.9	40.4	29.6	48.5	137.4	102.6	80.1	62.6	135.5	35.9	946.9
1984	112.3	0.0	0.0	4.8	27.8	117.8	159.3	160.6	56.2	70.5	55.2	184.0	948.5
SUMA	981.5	531.4	265.1	157.3	263.5	954.2	2,292.8	2,004.2	1,673.0	1,213.6	858.0	1,212.7	9,648.3
PROMEDIO	65.4	35.4	16.6	9.8	18.8	66.2	143.3	133.6	104.6	75.9	53.6	75.8	804.0
VALOR MAXIMO	201.9	164.7	116.9	83.1	50.1	150.9	224.7	233.4	226.1	249.5	203.0	214.6	981.0

TABLA 5. PRECIPITACION PLUVIAL MENSUAL REGISTRADA  
EN LA ESTACION LOS ALTARES (EN mm)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1981	93.7	24.0	61.6	75.6	12.5	47.5	136.0	263.0	247.5	177.0	4.5	23.5	1,166.4
1982	30.5	0.0	0.0	0.7	16.5	41.5	243.7	123.2	134.2	18.3	109.5	85.5	803.6
1983	90.5	29.0	123.0	9.2	9.8	56.4	93.7	252.5	118.3	96.5	29.5	46.0	954.4
1984	121.5	1.0	6.0	2.5	23.0	286.2	221.5	204.6	104.5	39.0	62.3	71.2	1,143.3
1985	134.1	19.0	0.0	30.0	27.0	145.0	155.0	68.5	136.5	21.5	12.5	35.0	784.1
1986	16.0	14.0	2.0	30.0	22.0	95.5	190.0	198.0	187.5	149.5	11.0		
1987	22.5	33.0	4.0	7.0	29.0	74.5	206.5	324.0	110.0	33.5	9.5	176.0	1,029.5
1988	1.5	0.0	12.5	11.5	6.0	139.6	266.5	115.3	91.5	6.0	0.0	100.5	750.9
1989	9.5	24.0	6.5	0.0	11.5	19.5	153.5	225.0	202.5	8.0	122.0	101.0	883.0
1990	64.0	63.5	8.5	1.0	0.0	68.5	280.5	101.5	115.0	80.0	INAP.	34.5	817.0
1991	26.5	34.0	17.0	0.0									
SUMA	610.3	241.5	241.1	167.5	157.3	974.2	1,946.9	1,875.6	1,447.5	629.3	360.8	673.2	
PROMEDIO	55.5	22.0	21.9	15.2	15.7	97.4	194.7	187.6	144.8	62.9	36.1	67.3	921.1
VALOR MAXIMO	134.1	63.5	123.0	75.6	29.0	286.2	280.5	324.0	247.5	177.0	122.0	176.0	2,038.4

TABLA 6. PRECIPITACION PLUVIAL MENSUAL REGISTRADA  
EN LA ESTACION SAN MIGUEL DE LOS LOBOS (EN mm)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1981	86.0	21.0	69.0	54.5	0.0	126.0	173.5	274.5	208.0	168.0	2.0	20.5	1,203
1982	35.5	0.0	0.0	10.3	25.0	23.0	235.6	83.0					
1983					21.4	75.4	89.7	218.9	163.9	108.5	47.3	36.5	
1984	115.9	6.3	6.0	3.0	54.0	238.7	198.4	193.8	81.3	17.0	23.3	103.8	1,041.5
1985	154.0	11.0	2.5	30.3	22.0	83.4	135.1		187.8	50.0	0.0	18.3	
1986	0.0	0.0	0.0	27.3	0.0		219.0	198.5	96.1	64.8	19.3	63.2	
1987	0.0	71.5		0.0	187.2	74.9	126.0	162.9			28.0	111.5	
1988	115.1	73.5	0.0	20.5	0.0	113.3	124.3	28.3	57.1	10.3			
1989							149.0	340.0	5.1	0.0			
1990	0.0	47.5	0.0								0.0	35.0	
1991	72.6	60.0	34.0	185.0									
SUMA	578.6	290.8	111.5	330.9	309.6	734.7	1,450.6	1,499.9	799.3	418.6	119.9	388.8	
PROMEDIO	64.3	32.3	13.9	41.4	38.7	105.0	161.2	187.5	114.2	59.8	17.1	55.5	890.9
VALOR MAXIMO	154.0	73.5	69.0	185.0	187.2	238.7	235.6	340.0	208.0	168.0	47.3	111.5	2,017.8

1

TABLA 7. PRECIPITACION PLUVIAL MENSUAL REGISTRADA  
EN LA ESTACION OJITO DE CAMELONES (EN mm)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1981	160.0	45.0	175.0	84.0	10.0	373.5	455.5	550.3	518.5	320.8	18.0	49.0	2,759.6
1982	22.0	0.0	0.0	11.0	23.0	207.3	419.4	350.6	225.0	55.0	137.8	158.0	1,609.1
1983	173.0	60.0	142.4	30.0	31.0	69.5	332.5	480.5	219.6	146.5	344.5	70.0	2,099.5
1984	213.0	26.0	00	16.5	136.5	386.0	905.5	741.9	231.0	224.0	93.4	201.5	3,175.3
1985	338.0	59.0	45.0	70.0	12.0	142.5							
1986	0.0	34.0	0.0	22.0	50.0	209.0	511.0	467.1	305.1		20.0	178.0	
1987	31.5	102.3	12.3	10.2		181.6	426.2	604.2			20.0	113.0	
1988			2.0	10.0	0.0	256.5	463.9	424.4	236.1	123.0	32.0	116.0	
1989	100.0	9.0	30.0	0.0	7.5	60.7	414.0	700.0	445.0		113.9	103.3	
1990				0.0	0.0								
1991													
SUMA	1,037.5	335.3	406.7	253.7	270.0	1,886.6	3,928	4,319.0	2,180.3	869.3	779.6	988.8	
PROMEDIO	129.7	41.9	45.2	25.4	30.0	209.6	491	539.9	311.5	173.9	97.5	123.6	2,219.2
VALOR MAXIMO	338.0	102.3	175.0	84.0	136.5	386.0	905.5	741.9	518.5	320.8	344.5	201.5	4,254.5

TABLA 8. PRECIPITACION PLUVIAL MENSUAL REGISTRADA  
EN LA ESTACION SAN DIEGO DE TENZAENZ (EN mm)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1981	117.8	25.0		37.0	0.0	88.6	26.1	318.0	168.1	132.4	0.0	19.5	
1982	36.9	0.0	0.0	9.5	23.9	66.5	49.0	146.1		4.5	106.6	147.7	
1983	102.4	32.6	129.7	20.0	10.6	91.6	89.5	154.8	161.7	60.3	36.3	46.0	935.5
1984	123.8	6.8	4.3	2.5	52.6	347.1	144.1	164.7	103.2	34.4	49.3	97.0	1,129.8
1985		5.9	7.1	16.2	0.0		92.2	118.4		42.9	0.0	27.2	
1986		34.0		25.0	21.9	115.2		173.4		83.0	9.4	86.0	
1987	16.2	16.8	2.1	4.0	24.7	30.5	41.5	41.1	76.8	2.2	10.7	183.5	450.1
1988	0.0	0.0	12.2	0.0	1.0	211.9	171.7	148.8	72.8	0.0	0.0	24.7	543.1
1989	8.5	42.5		0.0	1.5	10.0	40.2		125.6	29.8	92.0	38.0	
1990		55.0	9.0			35.8		143.5	105.0	45.0	0.0	71.0	
1991	31.5	16.5	10.0	0.0									
SUMA	437.1	235.1	174.4	114.2	136.2	997.2	554.3	1,408.8	813.2	434.5	304.3	740.6	
PROMEDIO	54.6	21.4	21.8	11.4	15.1	110.8	69.3	156.5	116.2	43.4	30.4	74.1	725.0
VALOR MAXIMO	123.8	55.0	129.7	37.0	52.6	347.1	144.1	318.0	168.1	132.4	106.6	183.5	1,797.9

TABLA 9. PRECIPITACION PLUVIAL MENSUAL REGISTRADA  
EN LA ESTACION TOPIA (EN mm)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1981	211.8	13.5	98.7	38.7	2.8	88.8	208.8	238.5	162.8	216.1	0.3	21.1	1,301.9
1982	51.3	0.0	0.0	3.7	11.1	34.0	148.5	89.3	129.7	7.5	158.2	161.3	794.6
1983	183.3	63.9	244.8	60.0	17.9	40.0	220.9	276.1	154.7	198.9	187.4	59.1	1,707.0
1984	86.5	1.8	0.0	6.0	81.0	233.2	230.5	224.2	83.4	49.3	117.8	350.7	1,464.4
1985	253.6	18.7	36.7	7.4	14.8	101.2	112.0	148.5	272.4	137.9	8.4		
1986													
1987													
1988													
1989													
1990													
1991													
SUMA	786.5	97.9	360.2	115.8	127.6	497.2	920.7	976.6	803.0	609.7	472.1	592.2	
PROMEDIO	157.3	19.6	76.0	23.2	25.5	99.4	184.1	195.3	160.6	121.9	94.4	148.1	1,305.4
VALOR MAXIMO	253.6	63.9	244.8	60.0	81.0	233.2	230.5	276.1	272.4	216.1	187.4	350.7	2,469.7



TABLA 10. PRECIPITACION PLUVIAL MENSUAL REGISTRADA  
EN LA ESTACION EL CANTIL (EN mm)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1981	185.0	27.6	69.5	54.0	0.0	146.5	262.8	280.5	279.0	286.1	0.0	31.0	1,622.4
1982	9.5	0.0	0.0	10.0	4.0				257.0	30.0	145.5	117.3	
1983	119.0	46.5		25.5	28.0	40.0	311.0	254.5	342.0	119.5	62.0	5.0	
1984	59.7	2.0	4.0	11.0	99.0	546.7	387.0	244.5	112.0	58.5	82.0	143.0	1,749.6
1985	281.0	4.0	12.0	49.0		182.5	306.5	151.0	296.5	94.0	2.0	26.5	
1986	27.0	49.0	0.0	34.5	35.5	182.1	319.0	366.5	244.5	365.0	13.0	64.0	1,700.4
1987	22.5	48.0		0.5	35.5	88.5	323.0	306.0	161.5	11.5	18.5	242.0	
1988	0.0	0.0	9.0	7.0	4.0	586.5		243.5	212.2	11.0	0.0	113.7	
1989	14.5	66.5	4.0	0.0	1.5	56.5	259.0	734.5	137.5	45.5	177.0	149.0	1,645.2
1990	2.0	73.5	10.0	0.0	0.0	217.7	651.5	302.0	144.0	104.0	0.5	156.0	1,661.7
1991	28.0	34.5	0.0	0.0									
SUMA	748.2	351.6	108.5	191.5	207.5	2,047.0	2,819.8	2,882.7	2,186.2	1,125.1	500.5	1,048.4	
PROMEDIO	68.0	32.0	12.0	17.4	23.1	227.4	352.5	320.3	218.6	112.5	50.0	104.8	1,538.6
VALOR MAXIMO	281.0	73.5	69.5	54.0	99.0	586.5	651.5	734.2	342.0	365.0	177.0	242.0	3,675.2

TABLA 11. PRECIPITACION PLUVIAL MAXIMA EN 24 HORAS REGISTRADA EN LA ESTACION ACATITAN, SINALOA (EN mm)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1956							56.0	55.8	42.7	0.0	5.4	1.3	
1957	2.2	2.2	26.0	0.0	0.0	6.0	12.5	54.5	100.0	31.8	2.6	11.4	100.0
1958	13.6	12.7	22.8	4.3	0.0	68.0	50.5	48.5	56.6	49.3	24.5	7.0	68.0
1959	0.0	0.0	0.0	3.5	0.0	5.1	62.4	34.0	29.5	36.8	4.6	14.2	62.4
1960	23.1	0.0	0.0	0.0	0.0	9.2	36.4	125.5	21.0	74.2	0.0	23.7	125.5
1961	42.0	0.0	0.0	9.6	0.0	24.1	54.8	31.0	48.2	14.4	INAP	INAP	74.5
1962	5.0	0.0	1.4	0.0	0.0	27.2	19.3	64.1	31.5	52.0	22.1	0.6	64.1
1963	2.7	8.1	0.0	0.0	0.0	24.8	49.6	30.0	71.9	30.6	1.0	56.3	71.0
1964	2.0	0.0	1.6	0.0	0.3	4.3	18.8	42.4	44.4	103.7	0.0	11.2	103.7
1965	9.9	12.8	0.0	0.0	0.0	2.2	81.4	58.6	64.0	0.0	0.0	30.1	81.4
1966	2.4	1.3	0.0	12.6	0.0	6.4	23.6	64.0	59.3	3.8	0.0	3.2	64.0
1967	13.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.4	27.5	55.0	30.6	4.0	1.6	51.0	55.0
1968	28.7	46.4	13.5	0.7	0.0	0.0	19.0	30.0	195.5	2.8	88.4	6.0	195.5
1969	2.5	7.4	0.0	0.0	0.0	4.1	49.5	52.2	33.8	57.4	1.8	26.9	52.4
1970	28.8	10.4	0.5	0.0	0.0	15.0	72.0	33.8	76.8	0.0	0.0	0.0	76.8
1971	0.0	8.1	0.0	0.0	0.0	36.3	62.8	49.2	55.0	23.0	0.0	3.1	62.8
1972	28.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	70.6	48.8	85.0	217.0	138.0	55.0	217.0
1973	6.5	58.0	2.7	0.0	INAP	0.0	116.4	71.8	36.2	3.5	0.0	0.1	116.4
1974	0.0	0.0	0.9	0.0	7.8	24.7	45.5	38.7	212.4	0.6	26.8	29.5	212.4
1975	0.5	0.3	0.0	0.0	0.0	0.8	49.3	27.3	38.4	10.0	1.8	0.0	49.3
1976	INAP	0.0	0.0	0.0	0.0	42.0	87.5	40.0	6.6	176.0	20.0	32.0	176.0
1977	10.0	0.0	3.4	0.0	INAP	20.5	25.5	64.3	78.1	28.2	14.0	0.0	64.3
1978	INAP	32.0	0.0	1.4	0.0	1.4	35.4	46.0	64.4	35.0	0.2	21.4	64.4
1979	70.7	8.4	0.1	INAP	0.2	0.8	26.0	53.3	29.7	0.0	0.0	12.2	70.7
1980	3.6	9.0	0.5	0.8	0.0	45.0	40.9	94.7	39.0	112.0	27.8	3.6	112.0
1981	37.5	0.0	4.2	1.4	0.0	58.6	57.4	42.3	47.5	107.7	0.3	1.0	107.7
1982	2.2	0.0	0.0	0.8	0.0	3.7	56.0	41.8	34.4	25.7	63.7	68.9	68.9
1983	24.0	9.2	46.4	11.5	4.2	0.0	57.0	82.5	69.1	72.8	9.6	19.6	82.5
1984	55.0	0.0	0.0	0.8	1.3	34.0	114.3	37.7	68.0	16.6	26.0	63.2	114.3
1985	28.2	5.0	INAP	0.0	0.0	39.2	44.2	92.8	24.3	205.4	1.8	0.3	205.4
1986	5.2	32.2		11.7	0.1	3.0	54.6	73.5	41.0	55.2	0.0	7.0	73.5
1987	3.5	10.0	0.0	0.0	3.4	0.0	20.0	34.0	8.7	20.0	4.0	15.1	34.0
1988	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	3.8	32.5	87.5	63.4	0.0	0.0	36.0	87.5
1989	3.4	5.0	0.0	0.0	0.0	2.0	35.0	44.5			62.2	20.6	
1990	18.5	4.2	2.7	0.5	0.0	62.7	127.7	84.4	21.0				
SUMA	472.8	282.7	127.2	64.1	17.3	581.9	1756.4	1934.5	1893.1	1529.5	539.2	715	3083.4
DESEMPLIDO	13.91	8.31	37.4	1.88	0.51	12.31	50.18	55.27	55.68	46.35	15.86	21.03	96.36
VALOR MAX	70.2	58	76.4	32.6	7.8	6.8	136.4	125.5	212.4	217	138	74.5	212.4

TABLA 12. PRECIPITACION PLUVIAL MAXIMA EN 24 HORAS REGISTRADA  
EN LA ESTACION LA HUERTA, DGO. (EN mm)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1969			INAP.	1.5	32.5	16.8	34.4	19.0	25.7	29.7	0.8	53.0	
1970	50.0	35.7	1.6	0.0	4.5	34.2	43.0	22.0	30.0	0.2	0.0	0.5	50.0
1971	10.0	14.0	0.0	1.6	0.0	36.2	24.6	36.5	38.7	96.5	6.0	32.0	96.5
1972	50.7	0.0	0.0	INAP.	34.0	21.0	23.0	43.0	16.0	129.0	116.0	16.5	129.0
1973	37.0	73.5	8.5	3.0	4.0	26.0	26.0	56.7	32.3	12.0	0.0	14.5	73.5
1974	0.0	0.0	12.5	0.0	14.5	5.0	22.5	44.0	46.8	8.7	100.0	90.5	100.0
1975	13.5	26.5	0.0	INAP.	0.0	16.5	24.6	30.7	17.0	0.0	14.0	3.4	30.7
1976	17.5	1.5	6.0	3.5	5.0	36.0	33.0	16.0	24.5	128.0	26.2	76.5	128.0
1977	19.0	0.0	15.0	0.0	INAP.	22.4	28.0	24.7	24.0	20.5	5.5	0.0	28.0
1978	INAP.	55.5	1.5	8.1			40.5		43.7	28.7	12.8	78.6	
1979	146.0	45.7	3.6	0.0	36.7		19.6	29.6	26.4	0.0	0.0	28.0	
1980	4.0	16.0	25.5	0.0		17.7	35.2	28.5	44.3	42.5	54.4	56.2	
1981	57.0	6.4	26.7	44.3	1.8	20.5	16.0	27.4	64.0	42.9	2.2	12.8	64.0
1982	43.4	0.0	0.0	4.4	5.4	16.4	36.3	29.8	33.8	18.6	81.1	59.5	81.1
1983	35.5	46.8	73.0	21.7	18.6	30.6	26.0	43.7	18.9	42.7	71.4	29.3	73.0
1984	67.5	0.0	0.0	4.8	15.5	25.0	26.3	24.2	35.4	20.0	55.2	60.7	67.5
SUMA	551.1	321.6	173.9	92.9	172.5	324.3	459.0	475.8	521.5	620.0	545.6	612.0	921.3
PROMEDIO	36.7	21.4	10.9	5.8	12.3	23.2	28.7	31.7	32.6	38.8	34.1	38.3	76.8
VALOR MAXIMO	146.0	73.5	73.0	44.3	36.7	36.2	43.0	56.7	64.0	129.0	116.0	90.5	146.0

# CAPITULO V

# PROYECTO DE LA CORTINA CONTENEDORA

## 1) ALTERNATIVAS DE TRAZO

### a) Análisis de alternativas

Con el objeto de definir la mejor ubicación y geometría de la cortina, en función de los volúmenes de almacenamiento, la vida útil y los volúmenes de materiales necesarios para su construcción, se consideraron varias alternativas, de las cuales se seleccionaron dos para su análisis. En estos dos casos se consideró que la cortina tendría las características generales siguientes:

- Utilizar el método constructivo "aguas abajo".
- Considerar la estructura básica de la cortina a base de enrocamiento, con material proveniente de los almacenamientos disponibles de rezaga o de "tepetate" de mina.
- Considerar un filtro de grava-arena y un corazón impermeable para conformar el talud interior de la cortina. El filtro tendrá un ancho horizontal mínimo de 1m. El corazón impermeable se construirá con arcilla compactada, en un ancho horizontal mínimo de 4m.

A continuación se resumen las principales características geométricas de las dos alternativas consideradas:

### Alternativa #1

El trazo del eje de la cortina está en línea recta y tiene una longitud aproximada de 527 m, con un ancho de cortina de 10 m en la etapa final (elevación 2510 m ). La altura máxima de la cortina es de 90 m. Los taludes exterior e interior de la cortina son de 2:1. La planta esquemática general se presenta en la Fig. V-1.

En las Figs. V-2 se presentan dos secciones transversales representativas y la curva elevaciones-capacidad-vida útil del vaso de almacenamiento. Para las elevaciones 2510 m y 2505 m se espera una vida útil de 16 y 13 años, respectivamente.

### Alternativa #2

El trazo del eje de la cortina es un segmento de círculo horizontal cóncavo hacia afuera, con un radio de 884.613 m y un ángulo de 34.6°. El ancho de la cortina es de 8 m y la altura total de 80 m en la etapa final, con una longitud aproximada de 540 m; los taludes exterior e interior son de 1.5:1. La planta general se presenta en la Fig. V-3.

En esta alternativa se le dió la forma cóncava hacia afuera de la cortina, para reducir o evitar las zonas de tensión que propician agrietamientos que, a su vez, dan lugar a vías de agua por tubificación (con arrastre de lamas o légamos) y conducen a la rotura y a la falla progresiva de la cortina de la presa de jales.

También se logró en esta alternativa aumentar la pendiente de los taludes de 2:1 a 1.5:1, obteniendo un ahorro considerable en los volúmenes necesarios para la construcción de la cortina. Estos taludes están basados en la experiencia en este tipo de obras.

En las Figs. V-4 se presentan respectivamente tres secciones transversales representativas y la curva elevaciones-capacidades-vida útil del vaso de almacenamiento cuyo cálculo se muestra en la Tabla 1.

Para las elevaciones 2510 m y 2505 m se espera una vida útil de 15 y 12 años, respectivamente.

El método constructivo "aguas arriba" no es posible aplicarlo en la construcción de esta cortina, ya que no se dispondrá de arenas de ciclón para formar la coraza resistente y permeable descrita en el Cap. III (inciso 5a).

Por consiguiente, el método de construcción que se realizará será el de "aguas abajo" con sección graduada, como el descrito en el Cap. III (inciso 5a), el cual se ilustra en la Fig. V-5a y b.

### **b) Cantidades de obra para la cortina**

En la alternativa #1 se requieren 3'356,550 m<sup>3</sup> de material para la construcción de la cortina; en la alternativa #2 se requieren 2'176,000 m<sup>3</sup>. Por lo anterior, se escogió la alternativa #2 como la mejor. Los cálculos de los volúmenes de material se presentan en la Tabla 2.

Para la alternativa #2 se calcularon los volúmenes de material requeridos para la construcción de la cortina, considerando la etapa final.

A continuación se presenta un resumen de los volúmenes aproximados obtenidos.

<b>MATERIAL</b>	<b>TIPO</b>	<b>VOLUMEN m<sup>3</sup></b>
A	Enrocamiento	2'076,000
B	Filtro	20,000
C	Coraza impermeable	80,000

## **2) ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES PARA CONSTRUCCION**

Están descritos en la Fig. V-5c, mismos que se indican a continuación:

- *Enrocamiento*

Estará constituido fundamentalmente por fragmentos de roca comprendidos entre 5 y 50 cm. Deberán ser densos y sanos, como la



rezaga o el "tepetate" de mina sin tierra vegetal ni arcilla .

El material se extenderá y bandeará con tractor de oruga (Bull-Dozer), en capas de espesor comprendido entre 1.5 a 2 veces la dimensión mayor de los fragmentos de roca.

Se procurará que los fragmentos de roca más chicos queden colocados hacia la zona interna del enrocamiento, con los más grandes hacia el talud del mismo.

• *Filtro*

Estará constituido por grava-arena del lugar con menos de 5% de material fino plástico. Se acomodará y compactará en capas sueltas de 40 cm.

• *Coraza impermeable*

El material impermeable podrá tomarse de los suelos arcillosos del lugar, con o sin gravas (SC, CL). Se extenderá con el tractor de orugas en un ancho igual al de la cuchilla (3 m) y se compactará con el rodillo vibratorio disponible o el pata de cabra, de preferencia, en capas de 20 a 25 cm de espesor, con una humedad superior en 3 a 5% a la óptima de compactación "típica".

# FIGURAS Y TABLAS

PLANTA ESQUEMATICA  
ALTERNATIVA # 1

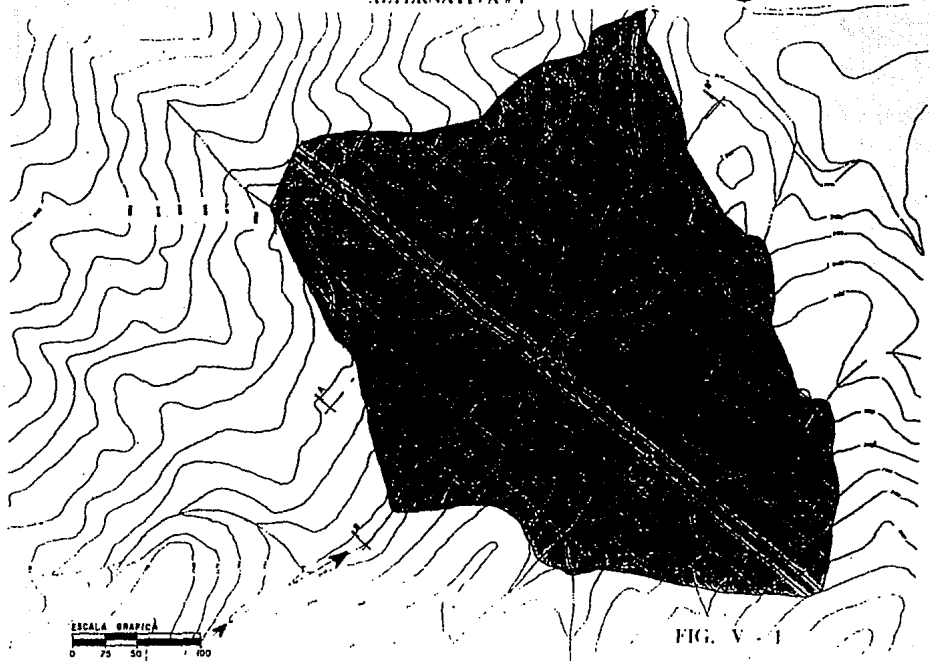
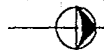
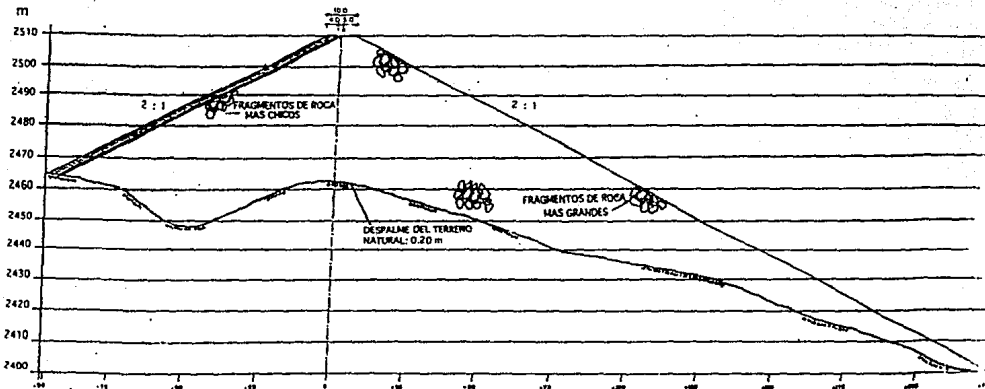


FIG. V - 1

# SECCION TRANSVERSAL REPRESENTATIVA

ALTERNATIVA # 1

SECCION A - A'



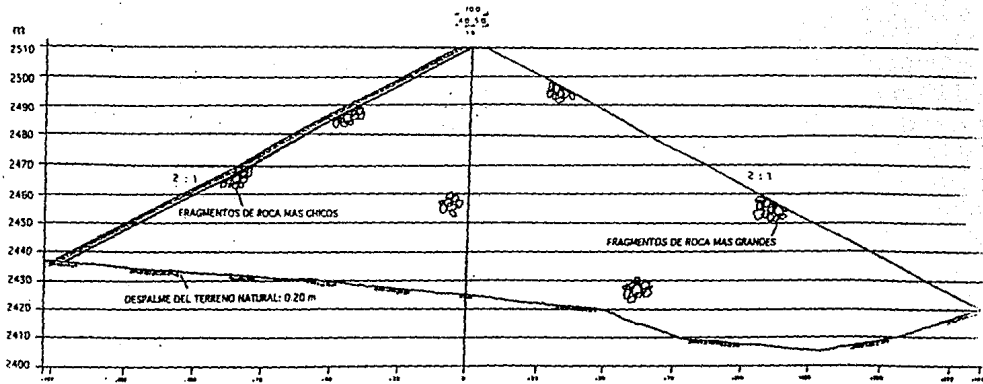
Acotaciones en m

FIG. V - 2 a

# SECCION TRANSVERSAL REPRESENTATIVA

ALTERNATIVA # 1

SECCION B - B'



Acotaciones en m

FIG. V - 2b

# CURVA ELEVACIONES - CAPACIDADES - VIDA UTIL

## ALTERNATIVA # 1

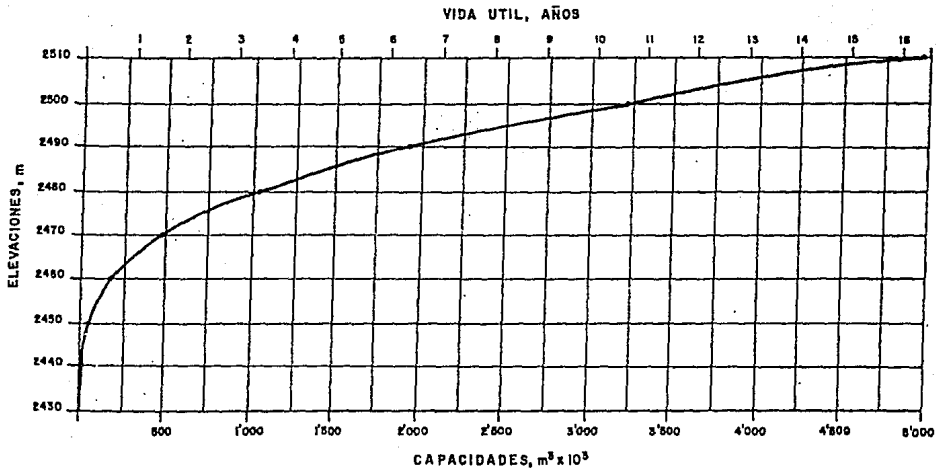
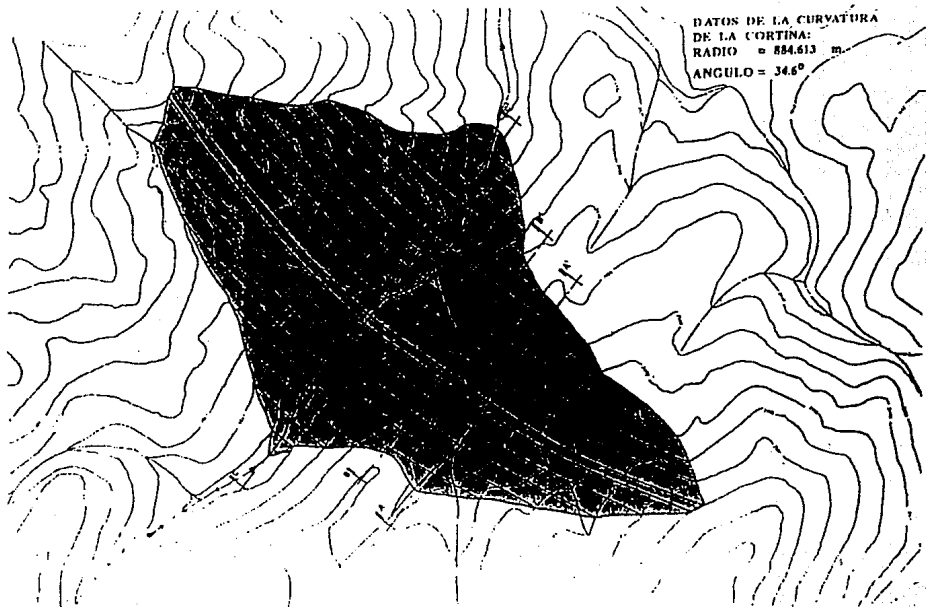


FIG. V - 2 c

PLANTA ESQUEMATICA  
ALTERNATIVA # 2



DATOS DE LA CURVATURA  
DE LA CORTINA:  
RADIO = 884.613 m.  
ANGULO = 34.6°



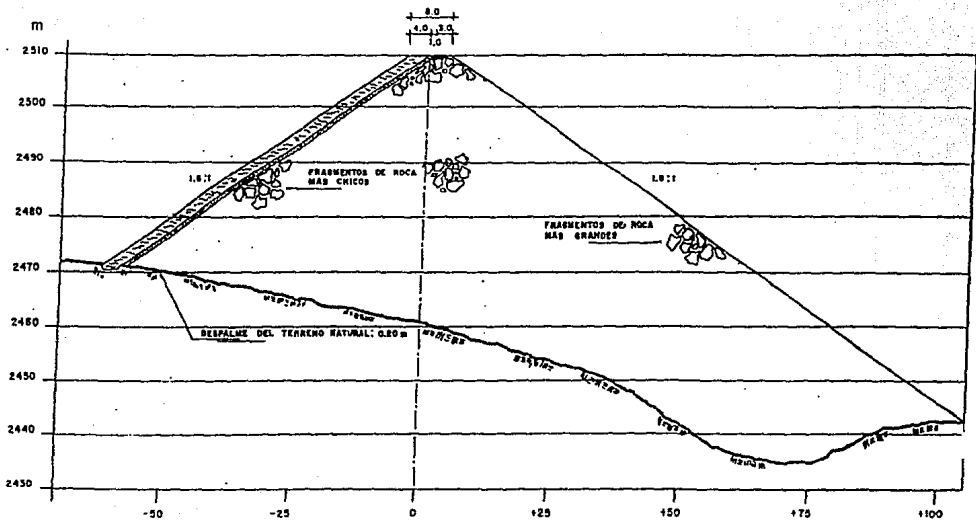
ESCALA GRAFICA



FIG. A - 3

# SECCION TRANSVERSAL REPRESENTATIVA ALTERNATIVA # 2

## SECCION A-A'



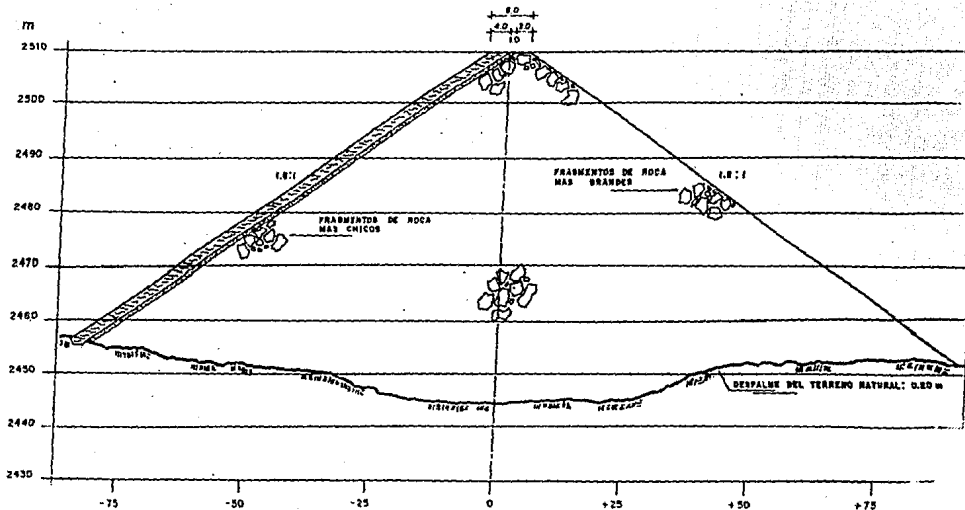
Acotaciones en m

FIG. V - 4 a



SECCION TRANSVERSAL REPRESENTATIVA  
ALTERNATIVA # 2

SECCION B - B'



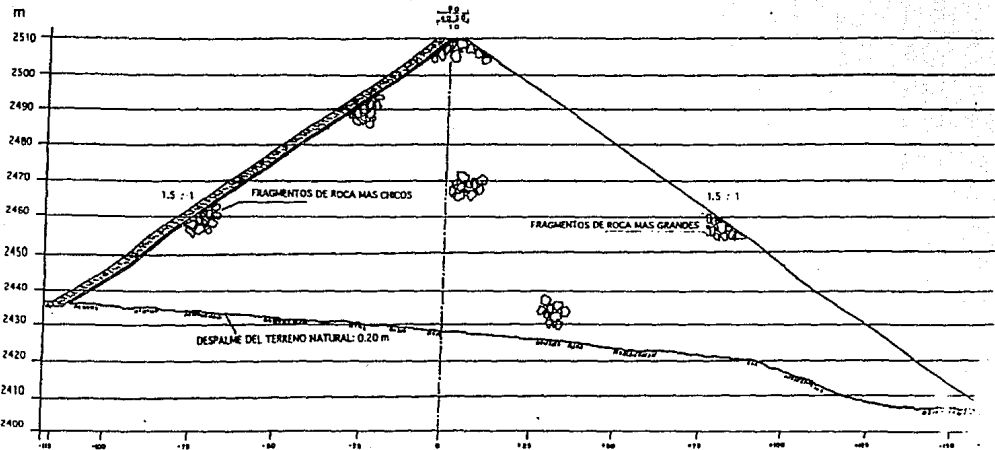
Acotaciones en m

FIG. V - 4 b

# SECCION TRANSVERSAL REPRESENTATIVA

ALTERNATIVA #2

SECCION C - C'



Acotaciones en m

FIG. V - 4c

# CURVA ELEVACIONES - CAPACIDADES - VIDA UTIL

## ALTERNATIVA # 2

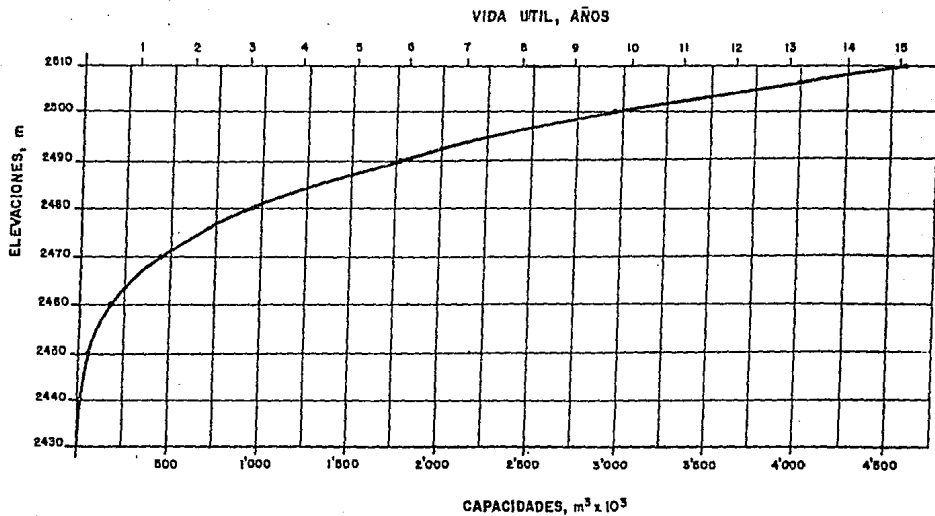
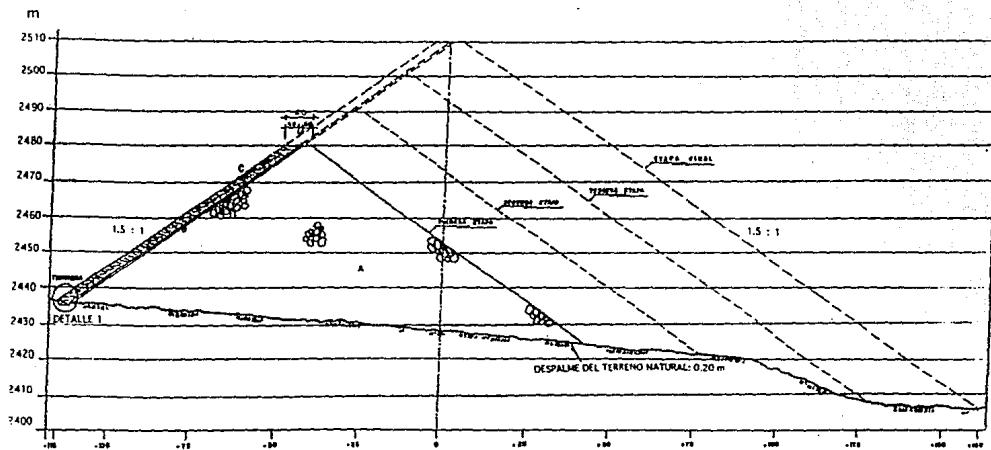


FIG. V - 4 d

# ETAPAS DE CONSTRUCCION



Acotaciones en m

FIG. V - 5 a

# ETAPAS DE CONSTRUCCION

## DETALLE # 1

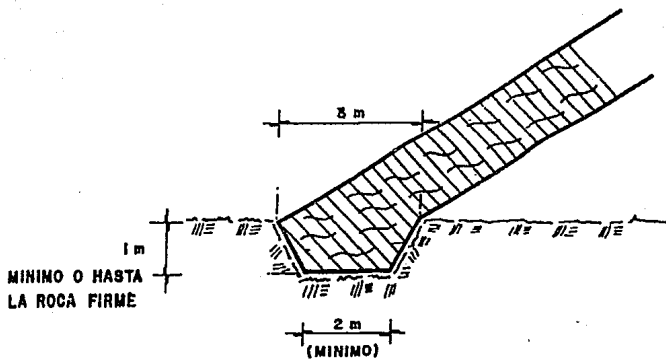


FIG. V - 5 b

## ETAPAS DE CONSTRUCCION

### A ENROCAMIENTO

Estará constituido fundamentalmente por fragmentos de roca comprendidos entre 5 y 50 cm. Deberán ser danosos y sanos, sin tierra vegetal ni arcilla, como la rezoza o el tepalcate de mina.

El material se extenderá y bandeará con tractor de oruga (Bull-Dozer), en capas de espesor comprendidos entre 1.5 a 2 veces la dimensión mayor de los fragmentos de roca.

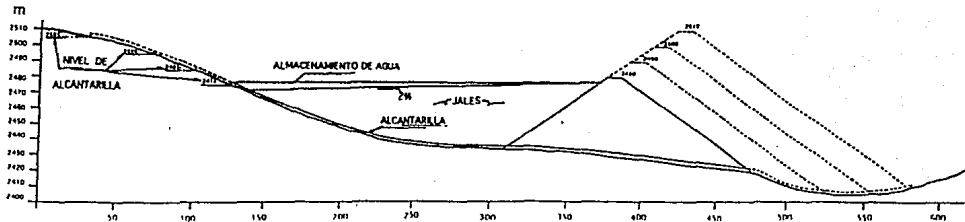
Se procurará que los fragmentos de roca más chicos queden colocados hacia la zona interna del enrocamiento y, los más grandes, hacia el talud externo del mismo.

### B FILTRO

Estará constituido por grav-arena del lugar con menos de 5% de material fino plástico. Se acomodará y compactará en capas sueltas de 40 cm.

### C CORAZA IMPERMEABLE

El material impermeable podrá ser el suelo arcilloso del lugar, con o sin gravas (SL, CL). Se extenderá con el tractor de orugas en un ancho igual al de la cuchilla (3 m) y se compactará con el rodillo vibratorio disponible o el paño de cabra, de preferencia, en capas de 20 o 25 cm de espesor, con una humedad superior en 3 a 5% a la óptima de compactación típica.



PROCEDIMIENTO PARA EL LLENADO DE JALES

## CALCULO DE LAS CURVAS ELEVACIONES- CAPACIDADES

### ALTERNATIVA # 1

ELEVACION (m)	AREA (m <sup>2</sup> )	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	V. ACUMULADO (m <sup>3</sup> )
2,430	0		
2,440	1,660	8,300	8,300
2,450	8,600	51,300	59,600
2,460	19,300	139,500	199,100
2,470	40,700	300,000	499,100
2,480	68,250	544,750	1,043,850
2,490	110,740	894,950	1,938,800
2,500	146,300	1,285,200	3,224,000
2,510	200,550	1,734,250	4,958,250

### ALTERNATIVA # 2

ELEVACION (m)	AREA (m <sup>2</sup> )	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	V. ACUMULADO (m <sup>3</sup> )
2,430	0		
2,440	1,610	8,050	8,050
2,450	8,100	48,550	56,600
2,460	17,480	127,900	184,500
2,470	36,820	271,500	456,000
2,480	61,930	493,750	949,750
2,490	102,350	821,400	1,771,150
2,500	135,570	1,189,600	2,960,750
2,510	186,910	1,612,400	4,573,150

TABLA 1

## CALCULO DE LOS VOLUMENES DE MATERIAL

### ALTERNATIVA # 1

ELEVACION (m)	AREA (m <sup>2</sup> )	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	V. ACUMULADO (m <sup>3</sup> )
2,390	0		
2,400	2,030	10,150	10,150
2,410	7,420	47,250	57,400
2,420	12,230	98,250	155,650
2,430	19,790	160,100	315,750
2,440	31,150	254,700	570,450
2,450	43,500	373,250	943,700
2,460	51,780	476,400	1,420,100
2,470	51,420	516,000	1,936,100
2,480	48,720	500,700	2,436,800
2,490	39,930	443,250	2,880,050
2,500	24,970	324,500	3,204,550
2,510	5,430	152,000	3,356,550

### ALTERNATIVA # 2

ELEVACION (m)	AREA (m <sup>2</sup> )	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	V. ACUMULADO (m <sup>3</sup> )
2,400	0		
2,410	1,330	6,650	6,650
2,420	3,180	22,550	29,200
2,430	8,130	56,550	85,750
2,440	17,640	128,850	214,600
2,450	27,270	224,550	439,150
2,460	37,000	321,350	760,500
2,470	37,460	372,300	1,132,800
2,480	34,950	362,050	1,494,850
2,490	29,800	323,750	1,818,600
2,500	18,620	242,100	2,060,700
2,510	4,560	115,900	2,176,600

TABLA 2



# CAPITULO VI

# PROYECTO DE LA ALCANTARILLA DE DECANTACION Y DRENAJE

## 1) ASPECTOS GENERALES

### a) Generalidades

Para el desalojo de la aguas pluviales que se captan en la cuenca de la presa de jales se construirá, por el fondo del cauce principal, una alcantarilla con sección portal que estará construida con muros de concreto ciclópeo o mampostería, fabricados con material pedregoso existente en el sitio y con la parte superior de concreto reforzado, según se indica en la Fig. VI-a.

### b) Dimensionamiento

Para la sección de alcantarilla, se tomó como base el gasto máximo obtenido en el Cap. IV (inciso 4d) que es de  $7.825 \text{ m}^3/\text{s}$ , mayor que el obtenido en el Cap. IV (inciso 4c) con un valor de  $1.663 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Debido a que es de gran importancia que se le pueda dar mantenimiento y limpieza a la alcantarilla, se propone una sección (portal) de  $1.5 \text{ m} \times 2.20 \text{ m}$ , ya que con estas dimensiones puede entrar fácil y cómodamente el personal de inspección y operación.

### c) Capacidad de la alcantarilla

En la Tabla 1 se presenta un resumen de las pendientes del terreno natural por el fondo del cauce principal. De estos datos se tomó la pendiente mínima de 0.069, para revisar la capacidad de la alcantarilla propuesta.

Para el cálculo de la capacidad de la alcantarilla se utilizó la ecuación de Manning:

$$v = \frac{1}{n}(r^{2/3} \cdot s^{1/2}) \quad (4)$$

$$r = \frac{A}{P_m} \quad (5)$$

donde:

v = velocidad media de la corriente, en m/s

r = radio hidráulico, en m

s = pendiente de la alcantarilla

n = coeficiente de rugosidad de Manning

A = área hidráulica, en m<sup>2</sup>

P<sub>m</sub> = perímetro mojado.

También se utilizó la ecuación de continuidad:

$$Q = A \cdot V \quad (6)$$

donde:

Q = gasto o caudal, en m<sup>3</sup>/s

A = área de la sección transversal de la alcantarilla, en m<sup>2</sup>

V = velocidad, en m/s

Los resultados se presentan en la Tabla 2. Se concluye que con la sección propuesta y la mínima pendiente del terreno se pueden manejar holgadamente los caudales pluviales que aporte la cuenca de la presa de jales, ya que para conducto lleno la alcantarilla propuesta puede desalojar  $30.68 \text{ m}^3/\text{s}$ , comparado con el gasto de diseño de  $7.825 \text{ m}^3/\text{s}$  (véase el inciso 1b).

#### d) Plan de construcción

La construcción de la alcantarilla debe efectuarse en varias etapas, según vaya aumentando la altura de los jales almacenados. Para asegurar un bordo libre mínimo de 2 m (Aprox.), la elevación del piso de la alcantarilla deberá estar a 4 m (mínimo) abajo del nivel de la corona, para que en caso de que se presente alguna tormenta inesperada, se pueda formar el estanque de aguas dentro del vaso de almacenamiento, que regularice la avenida y evite que el agua "brinque" sobre la cortina.

En todas las etapas, la alcantarilla funcionará como un vertedor de excedencias, capaz de desalojar la lluvia de tormenta que capte toda la cuenca.

El estanque de agua limpia deberá estar alejado de la cortina para evitar la saturación con agua en la zona externa. Para esto se requiere depositar los jales a partir de la corona (sólidos más gruesos) y permitir que gradualmente los demás sólidos, hasta los coloides, se depositen lo más alejado posible. El agua limpia quedará en el estanque que se irá formando paulatinamente, para su recuperación a través de los "chinos" construidos ex profeso (véase la Fig. VI-b).

**e) Recuperación del agua de operación**

Para la captación y la recuperación del agua de transporte de los jales, se utilizarán los “chinos” indicados en la Fig. VI-c, con un desnivel vertical de aproximadamente de 10 cm entre uno y otro.

Se podrá utilizar otro diseño de “chinos” similar al presentado, siguiendo la idea de que se puedan tapar o cerrar cuando el nivel del agua empiece a transportar partículas sólidas hacia el interior de la alcantarilla. Al presentarse lo anterior, se utilizará el siguiente “chino” para la captación del agua.

“Aguas abajo” de la cortina contenedora deberá construirse una pileta para el agua recuperada, de la cual se bombeará al proceso.

**f) Captación de aguas limpias**

Los manantiales existentes en la zona del vaso podrán captarse en una tubería independiente, que puede estar “ahogada” en los mismos muros de la alcantarilla, o bien, en forma expuesta. Se trata de recuperar todas las aguas, tanto de los manantiales como las del vaso de almacenamiento, para conducir las a piletas independientes de recuperación.

## 2) DISEÑO ESTRUCTURAL

### a) Generalidades

Por experiencia en este tipo de obras, es suficiente el cálculo del espesor mínimo de la bóveda de concreto hidráulico, bien apoyada y ligada (anclada) a los muros de mampostería o concreto ciclópeo.

En los incisos b y c se resume el proceso de cálculo y en el inciso d las cantidades de obra correspondientes.

### b) Cargas sobre la alcantarilla

Mediante las fórmulas de Marston (Ref. 8), es posible estimar racionalmente las cargas o fuerzas verticales que los jales ejercen sobre la bóveda de concreto hidráulico indicada en la figura VI - a. Estas fórmulas son las siguientes:

$$W_c = C_d \cdot \omega \cdot B_d^2 \quad (7)$$

$$C_d = \frac{1 - e^{-2k\mu'(H/B_d)}}{2k\mu'} \quad (8)$$

donde:

$W_c$  = carga vertical (total) que el relleno transmite a la bóveda,  
en  $\text{kg/m}^3$

$w$  = peso volumétrico medio del relleno, en  $\text{kg/m}^3$

$B_d$  = ancho de la zanja en la base de la alcantarilla, en m

$K$  = relación de empujes: horizontal/vertical

$\mu'$  = coeficiente de fricción interna entre el relleno y las paredes  
de la zanja =  $\tan \phi'$

$\mu' \leq \mu$  = coeficiente de fricción interna del relleno =  $\tan \phi$

$\phi'$  y  $\phi$  son los ángulos de fricción interna correspondientes

$H$  = altura máxima total del relleno sobre el "lomo" de la bóveda,  
en m

$e$  = base de los logaritmos naturales (Neperianos)

Para el caso de "La Ciénega" se pueden asignar los siguientes  
parámetros:

$$\omega = 1,800 \text{ kg/m}^3$$

$$H/B_d = 24.24$$

$$B_d = 3.3 \text{ m}$$

$$k = 1$$

$$H = 80 \text{ m}$$

$$\mu' = \mu$$

Sustituyendo estos valores en las Ecs. (7) y (8), resulta:

$$W_c = 19,602 C_d \quad (9)$$

$$C_d = \frac{1 - e^{-48.5\mu}}{2\mu} \quad (10)$$

Para diferentes valores de  $\phi$ , resulta lo siguiente:

$\phi$	$\mu$	$C_d$	$W_c(t/m)$
6°	0.105	4.76	93.3
10°	0.176	2.84	55.6
20°	0.364	1.37	26.8

Para fines de diseño conviene considerar el caso más desfavorable, es decir  $W_c = 93.3$  t/m a lo largo de la alcantarilla. Este valor, dividido entre  $B_d = 3.3$  m, corresponde a una carga unitaria perimetral de  $28.3$  t/m<sup>2</sup> ( $q'$ ), la cual será utilizada en el siguiente inciso.



**c) Espesor y armado de la bóveda**

El espesor aproximado de la bóveda de concreto hidráulico se puede calcular mediante la siguiente expresión conservadora (Ref. 9):

$$t = \frac{q' \cdot \pi \cdot r_c}{p} \quad (11)$$

donde:

$t$  = espesor mínimo del arco, en m

$q'$  = carga unitaria perimetral del relleno sobre el arco, en  $t/m^2$

$r_c$  = radio exterior de la bóveda, en m

$p$  = esfuerzo unitario máximo en el arco = resistencia compresiva del concreto, en  $t/m^2$

Para este caso se pueden considerar los siguientes datos:

$$q' = 28.3 \text{ t/m}^2 \text{ (inciso b)}$$

$$r_c = 1.3 \text{ m (figura VI-a)}$$

$$p = 475 \text{ t/m}^2 = 47.5 \text{ kg/cm}^2 \text{ (concreto pobre)}$$

Sustituyendo los valores anteriores en la Ec. (11), resulta:

$$t = 0.24 \text{ m}$$

Puesto que se requiere refuerzo metálico por temperatura, debe darse a las varillas un recubrimiento de 5 cm en ambos lechos. De ésta manera resulta un espesor mínimo total de  $5+25+5 = 34$  cm para el arco. Esta cifra se puede redondear a 35 cm.

En las Figs. VI-d y VI-e se presentan las características generales de la alcantarilla de sección portal y el armado de la bóveda de concreto hidráulico, por temperatura. Se hace notar que se especificó una resistencia de proyecto ( $f'_c$ ) de  $250 \text{ kg/cm}^2$ , por requisito de durabilidad del concreto hidráulico, no de resistencia compresiva.

#### d) Cantidades de obra

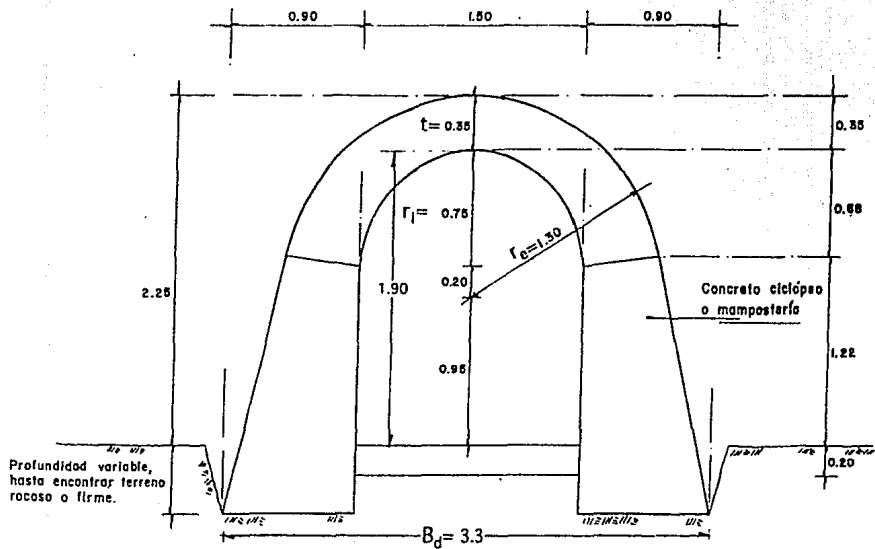
A continuación se presenta un resumen de los materiales necesarios para construir la alcantarilla, considerando una longitud de 590 m.

<u>CONCEPTO</u>	<u>CANTIDADES</u>	
	<u>m LINEAL</u>	<u>EN 590 m</u>
CONCRETO HIDRAULICO $f'_c=250 \text{ kg/cm}^2$	1.7 m <sup>3</sup>	1,003 m <sup>3</sup>
ACERO DE REFUERZO VARILLA # 4	71 kg	41,890 kg
ACERO DE REFUERZO VARILLA # 8	2 kg	1,180 kg
MAMPOSTERIA O CONCRETO CICLOPEO	2.3 m <sup>3</sup>	1,357 m <sup>3</sup>

# FIGURAS Y TABLAS

# ALCANTARILLA ( SECCION PORTAL )

## TUBERIA DECANTADORA Y DRENANTE

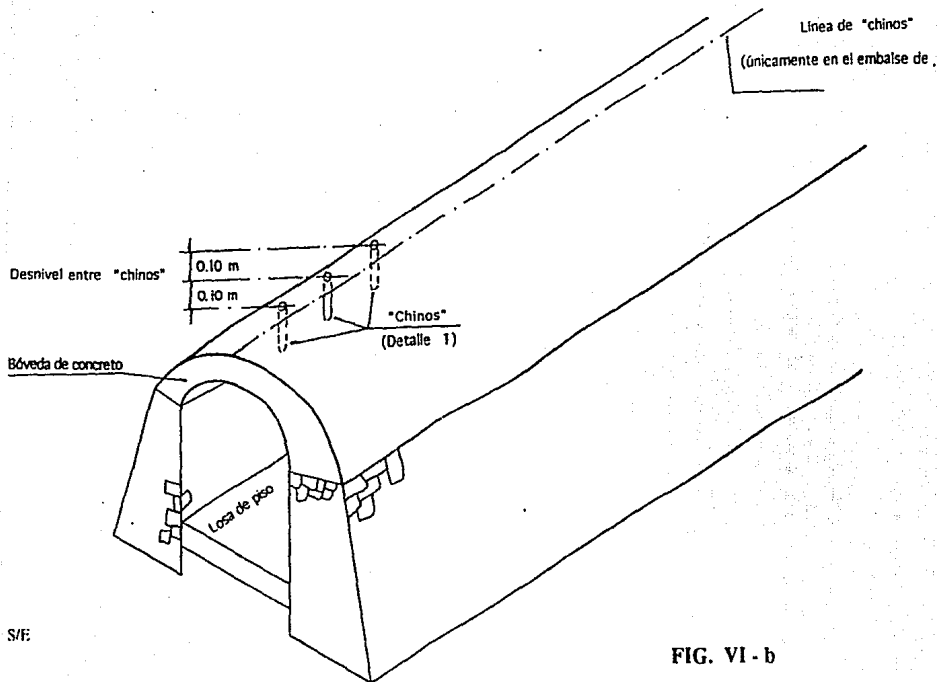


ESC: 1:25

Acotaciones en m

FIG. VI - a

# PERSPECTIVAS DE LA ALCANTARILLA TUBERIA DECANTADORA Y DRENANTE

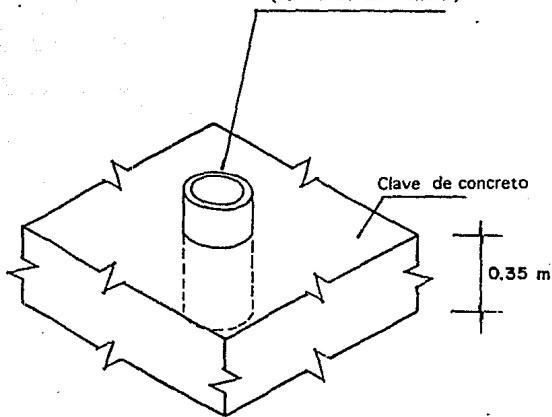


S/E

FIG. VI - b

**"CHINOS"**  
**(DETALLE 1)**  
**TUBERIA DECANTADORA Y DRENANTE**

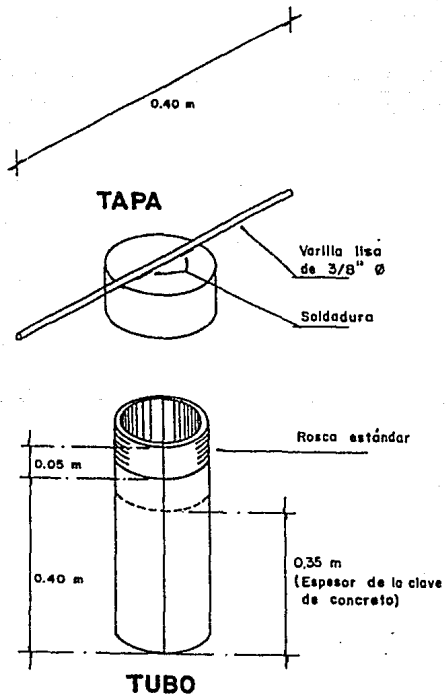
Tubo galvanizado de 10 cm ( $\phi$  Ext.)  
de 45 cm de longitud, rosca estándar  
en un extremo (5 cm de longitud).  
Tapón hembra de 10 cm ( $\phi$  Int.), con  
varilla lisa de  $3/8'' \phi$  soldada al tapón  
(formando un maneral).



S/E

**FIG. VI - c**

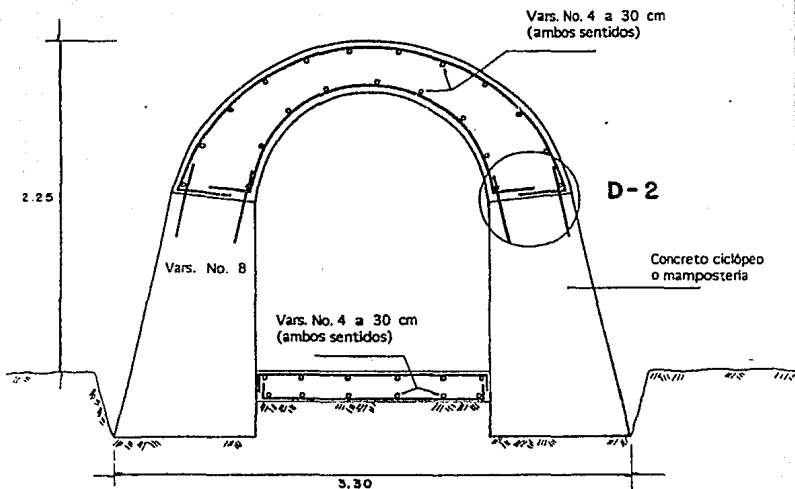
**"CHINOS"**  
**(DETALLE 1)**  
**TUBERIA DECANTADORA Y DRENANTE**



S/E

**FIG. VI - c**

# ARMADO DE LA ALCANTARILLA TUBERIA DECANTADORA Y DRENANTE

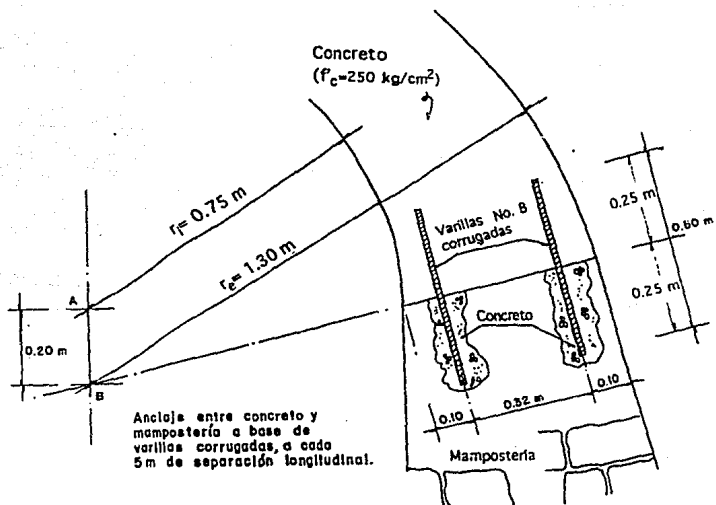


ESC: 1.25  
Acotaciones de m

FIG. VI - d



**ARMADO DE LA ALCANTARILLA**  
**(DETALLE 2)**  
**TUBERIA DECANTADORA Y DRENANTE**



PENDIENTES DEL TERRENO  
NATURAL POR EL FONDO DEL  
CAUCE PRINCIPAL

CURVA DE NIVEL (m)	DISTANCIA ENTRE CURVAS (m)	PENDIENTE DEL TERRENO
2,400		
2,410	85	0,118
2,420	48	0,208
2,430	109	0,092
2,440	145	0,069
2,450	56	0,179
2,460	28	0,357
2,470	24	0,417
2,480	20	0,500
2,490	36	0,278
2,500	32	0,313
2,510	24	0,417

TABLA I

## CAPACIDAD DE LA SECCION PORTAL

t (m)	A (m <sup>2</sup> )	P <sub>m</sub> (m)	r (m)	r <sup>2/3</sup>	s <sup>1/2</sup>	V (m/s)	Q <sub>3</sub> (m <sup>3</sup> /s)
0.50	0.75	2.50	0.300	0.448	0.263	7.85	5.89
1.00	1.50	3.50	0.429	0.569	0.263	9.98	14.97
1,15	1.72	3.80	0.453	0.590	0.263	10.35	17.80
1.50	2.22	4.52	0.491	0.622	0.263	10.91	24.22
1.90	2.60	4.71	0.552	0.673	0.263	11.80	30.68

s = pendiente = 0.069

n = coeficiente de rugosidad de Manning = 0.015

t = tirante

A = área

P<sub>m</sub> = perímetro mojado

r = radio hidráulico

V = velocidad

Q = capacidad

TABLA 2

# CAPITULO VII

## CONCLUSIONES

Las más importantes son las siguientes:

- 1) Debido al creciente desarrollo de la industria minera mexicana y a la ocurrencia de problemas de fallas en las presas de jales, es muy importante la contribución de la ingeniería civil en la solución de los mismos.
- 2) Debe hacerse hincapié en la diferencia que existe entre las presas para almacenamiento de agua y las presas de jales, ya que éstas últimas tienen por finalidad principal el almacenamiento de los residuos sólidos de la molienda (jales) provenientes de las plantas concentradoras de mineral.
- 3) La tecnología para el proyecto y la construcción de las presas tradicionales que almacenan agua difiere mucho con la correspondiente a las presas de jales, ya que éstas son las únicas obras que se proyectan, construyen y operan simultáneamente.
- 4) Para la aplicación de los criterios básicos de proyecto, construcción y operación de presas de jales se requiere la colaboración estrecha de varias disciplinas, que abarcan los aspectos topográficos, geológicos, sísmológicos, hidrológicos, climatológicos, hidráulicos, económicos, de producción, ecológicos, etc.

- 5) Desde el punto de vista ecológico, mundialmente se está propiciando la protección de las presas de jales durante toda su vida económica y aún después del cierre y abandono de las mismas.
- 6) Es muy importante ubicar las presas de jales dentro del cuadro de clasificación por grupos y categorías, con el fin de definir las órdenes de preferencia más recomendables en la toma de decisiones en cuanto a: métodos constructivos, análisis de estabilidad, instrumentación y sistemas de decantación y drenaje, necesarios para el correcto funcionamiento de la obra dentro del marco ecológico y de seguridad que se requieren en éstas obras.
- 7) Para el caso de la presa de jales "La Ciénega", ubicada en la categoría # 3 ( $T_m \cdot Z_c \cdot R_a$ ), se escogió el método constructivo "aguas abajo" con material de enrocamiento y filtro en la cortina contenedora. También se seleccionó la sección portal para la alcantarilla de decantación y drenaje, con muros de concreto ciclópeo o mampostería y bóveda de concreto con refuerzo por temperatura. Esta alcantarilla también se aprovechó para funcionar como vertedor de emergencia.

## REFERENCIAS

- 1) **COMPACTACION Y CONTROL DE CALIDAD.**  
IX Reunión Nacional de Mecánica de Suelos.  
R. V. Orozco S. Mérida, Yuc., 1978.
- 2) **MANUAL DE PRESAS Y DEPOSITOS DE JALES.**  
Traducción del Boletín 45, Comité Internacional de Grandes Presas (ICOLD).  
Río de Janeiro, Brasil, 1982.
- 3) **REFLEXIONES SOBRE CONTROL DE CALIDAD.**  
Revista mexicana de Ingeniería y Arquitectura.  
R. V. Orozco S. México, D.F., 1977.
- 4) **BOLETIN DE TORMENTAS MAXIMAS OBSERVADAS Y PROBABLES EN LA REPUBLICA MEXICANA EN 24 HORAS.**  
Secretaría de Recursos Hidráulicos, 1974.
- 5) **MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES.**  
Comisión Federal de Electricidad.  
Tomo I, 1969.
- 6) **INFORME SOBRE EL PROYECTO DE LAS NUEVAS PRESAS DE JALES EN TAXCO, GRO.**  
Industrial Minera México, S.A. de C.V.  
Orozco y Orozco, A.P. Ago. 1975.
- 7) **ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL PROYECTO "LA CIENEGA", DGO.**  
Servicios Industriales Peñoles, S.A. de C.V.  
Nov. 1990.
- 8) **FOUNDATION ENGINEERING**  
Leonards  
Mac. Graw Hill, 1962.
- 9) **INFORME SOBRE EL DISEÑO PRELIMINAR Y ESTIMADO DE COSTOS PARA LA PRESA DE JALES No. 2. UNIDAD INGUARAN, MICH.**  
Asarco Mexicana, S.A. (ahora Industrial Minera México, S. A. de C.V).  
Orozco y Orozco, A.P., Jun. 1974.