

# Análisis de estabilidad para la ampliación y elevación de una presa de jales en Zacatecas

César Dumas González  
 Departamento de Mecánica de Suelos, Comisión Federal de Electricidad,  
 México.



## ABSTRACT

Due to a change project that will extend and raise the tailings dam Number 1 in a mining unit, located in Zacatecas, geotechnical analysis of limit equilibrium was performed, to define its stability. The geomechanical parameters of the materials were obtained based on results of field tests and laboratory tests. The tailings dam No 1, is divided into Phase I (north) and Phase II (south). Enlargement and Elevation of the tailings dam, is the placement of material to turn northwest and placement of two and three over-elevation levees, Phase I and II, respectively, which will reach a maximum height around 40,5 m. The analysis carried out considering two conditions (current and Expansion) and two cases (static and pseudostatic). The models were made with the construction procedure used and a Higher Power Line (LSC) with inefficient drainage in the dam, which is the most critical condition of the sections analyzed.

## RESUMEN

Debido a un cambio de proyecto donde se ampliará y elevará la Presa de Jales No 1 en una unidad minera, ubicada en Zacatecas, se realizaron análisis geotécnicos, de equilibrio límite, para definir su estabilidad. Los parámetros geomecánicos de los materiales, se obtuvieron con base en resultados de pruebas de campo y en pruebas de laboratorio. La presa de jales No 1, está dividida en la Fase I (al norte) y la Fase II (al sur). La Ampliación y Elevación de la presa de jales, consiste en la colocación de material hacia su parte Noroeste y colocación de dos y tres bordos de sobre-elevación, Fase I y II, respectivamente, con lo que se alcanzará una altura máxima de 40,5 m (aprox.). Los análisis realizados consideraron dos condiciones (Actual y Ampliación) y dos casos (estático y pseudostático). Los modelos se efectuaron con el procedimiento constructivo utilizado y con una Línea Superior de Corriente (LSC) con drenaje ineficiente en la presa, lo que representa la condición más crítica de las secciones analizadas.

## 1 INTRODUCCIÓN

Para cumplir con la normatividad que rige el diseño y operación de las presas de jales del país y con el objetivo de incrementar la capacidad de almacenamiento permanente del jal en presa, generado en el proceso de concentración de minerales de zinc, se realizó un estudio geotécnico para definir la estabilidad de la Presa de Jales I de una planta minera ubicada en Zacatecas

El incremento de capacidad de almacenamiento implica la ampliación de la presa hacia su costado noroeste y la sobre-elevación (en 8 y 12 m) para alcanzar una altura máxima de 40,5 m.

La justificación técnica del proyecto considera obtener la mayor eficiencia en almacenamiento de las presas de jales mediante un incremento seguro de su altura máxima.

Se propone alcanzar una altura de 40,5 metros a partir de la base de desplante, para una capacidad media adicional de 13 millones de toneladas. De esta forma se puede obtener un aprovechamiento del 55% adicional de capacidad de almacenamiento. Asimismo, se evitará la construcción de otra presa para jales (Presa de Jales No 2), que ocasionaría requerir de otra área natural para su construcción y operación.

En la Tabla 1 se desglosa la capacidad operativa que actualmente se tiene en la planta.

Tabla 1. Capacidad operativa

Presa de jales	Superficie	Vida útil	Capacidad
No.1 Fase 1	24 Ha	1-3 año	10 500 000 ton
No.1 Fase 2	22,3 Ha	4-6 año	
<b>Situación actual</b>			
Presa de jales	Superficie total	Tiempo de operación	Ocupación
No1, las dos Fases	46,3 Ha	5 años	8 123 000
		Capacidad restante de la condición actual	2 377 000
<b>Situación con el proyecto de ampliación</b>			
		Capacidad solicitada adicional	13 000 000
		Capacidad total	23 500 000
		Vida útil integrada	7 años
		Vida total	13 años

Cabe aclarar que esta SGM realizó en 1999 el estudio geotécnico y la ingeniería de detalle para esta Presa de Jales 1.

Actualmente la Presa de Jales 1 está en operación, el proyecto original contempla almacenar jal hasta la elevación 2270 (msnm) para la Fase I y a la 2274 msnm, para la Fase II. Por los requerimientos de la planta es necesario aumentar el nivel de almacenamiento hasta la cota 2282 y ampliar la presa hacia el costado Noroeste con dos etapas (Ampliación I y Ampliación II) hasta alcanzar la misma cota (2282 msnm) con el depósito del jal.

En este documento se describen los trabajos de laboratorio y gabinete realizados, para definir la estabilidad de la ampliación de la Presa de Jales 1, que alcanzará una altura total aproximada de 40,5 m.

## 2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

La mina que nos ocupa incluye una planta concentradora de mineral y dos presas de jales (denominadas Presa 1, en operación, y Presa 2, en proyecto).

La presa de jales No. 1 se encuentra en un área de 46,3 Ha al sur de la planta concentradora. El proyecto conceptual de esta presa considera dos fases (Fase I y Fase II), construidas de acuerdo con lo siguiente (Ver Fig. 1):

- Excavación de un recinto y construcción del bordo iniciador de la fase I. La sección del bordo iniciador se mantuvo con respecto al proyecto original, que consistía en un enrocamiento, un material de transición y un elemento impermeable.
- Deposición de jales en el recinto.
- Elevación periódica de la presa mediante el método aguas arriba, con jal cicloneado y bordos de sobre-elevación de jal compactado al 90%, con taludes 1,5:1 (H:V), hasta alcanzar la elevación proyectada cercana a los 2275 msnm.
- Construcción de la fase II de manera similar a la fase I, hasta alcanzar la elevación 2268 msnm, aproximadamente.

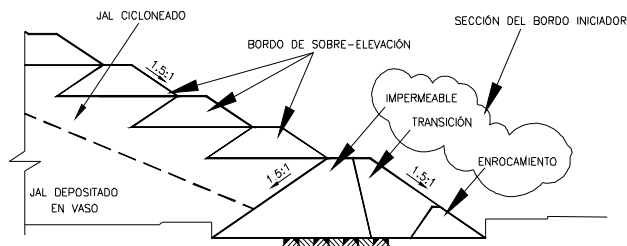


Figura 1. Sección del Bordo Iniciador y disposición de bordos de sobre-elevación.

Para incrementar la capacidad de almacenamiento de esta presa, será necesario aumentar su altura, alcanzado 40,6 m en la Fase II y 38,8 m en la Fase I, asimismo la presa se extenderá hacia su costado Noroeste, incluyendo dos fases más, llamadas: Ampliación I con 34m de altura, y Ampliación II con 38

m de altura, que para fines prácticos seguirán el procedimiento constructivo de las Fases I y II.

En la Figura 2 se ilustran en planta las zonas originales (Fase I y Fase II) y las que se adicionarán (Ampliación I y Ampliación II).

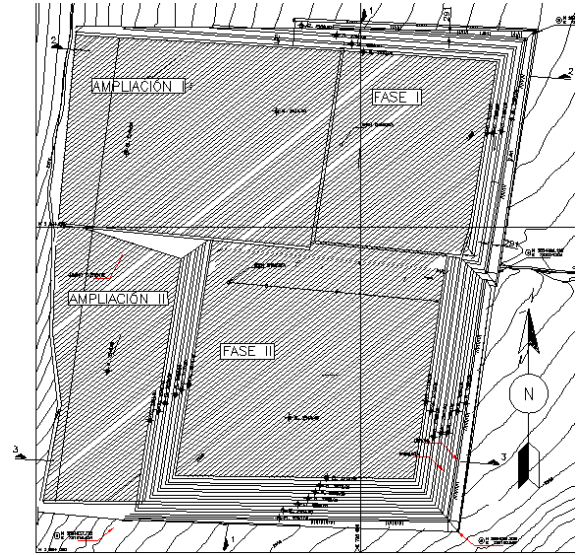


Figura 2. Planta de las zonas de la presa de jales 1.

## 3 TRABAJOS DE CAMPO Y LABORATORIO

En campo se realizaron 25 calas volumétricas distribuidas en los distintos materiales de la presa, mismos que fueron la base para la reproducción de probetas de los jales que se ensayaron en compresión simple y triaxial. En la Tabla 2, se muestran los resultados de las calas volumétricas hechas en campo.

Tabla 2.- Valores promedio de resultados de calas volumétricas.

	MATERIAL	PVHL g/cm <sup>3</sup>	%wL %	PVSL g/cm <sup>3</sup>
Bordo iniciador	Impermeable	1.96	12.74	1.74
	Transición	2.15	10.4	1.97
	Enrocamiento	2	6.9	1.88
	Bordo sobre-elevación	2.2	17.2	1.87
	Jal del Vaso	1.89	27.9	1.5
	PVHL	peso volumétrico húmedo del lugar		
	%wL	Contenido de agua del lugar		
	PVSL	peso volumétrico seco del lugar		

Con los resultados de las calas volumétricas y con muestras del enrocamiento (En), de la Transición (T), del Jal de Sobre-elevación (JSE), Jal del Vaso (JV), Jal cicloneado (JC) y del Material Impermeable (I), se

efectuaron las pruebas de laboratorio que se muestran en la Tabla 3:

Tabla 3.- Pruebas ejecutadas en materiales de la presa de jales

Prueba	Material utilizado
Análisis granulométrico por mallas	En, T
Porcentaje de finos (lavado malla #200)	JSE, JV, I
Límites de consistencia (líquido y plástico)	T, I
Prueba de compresión simple en probetas de 3,8 cm de diámetro.	Probetas reproducidas: JSE → $\gamma_s = 90\%PVSM$ y $w=8\%$ JV → $\gamma_s = 95\%PVSM$ y $\%w$ OPT JC → $\gamma_s = 1,95g/cm^3$ y $w=16\%$ I → $\gamma_h = 1,95g/cm^3$ y $w=12\%$
	Probetas reproducidas: JSE → $\gamma_s = 90\%PVSM$ y $w=8\%$ JV → $\gamma_s = 95\%PVSM$ y $\%w$ OPT JC → $\gamma_s = 1,95g/cm^3$ y $w=16\%$ I → $\gamma_h = 1,95g/cm^3$ y $w=12\%$
	Probetas reproducidas: JSE → $\gamma_s = 90\%PVSM$ y $w=8\%$ JV → $\gamma_s = 95\%PVSM$ y $\%w$ OPT JC → $\gamma_s = 1,95g/cm^3$ y $w=16\%$ I → $\gamma_h = 1,95g/cm^3$ y $w=12\%$
	Probetas reproducidas: JV → $\gamma_h = 2,0g/cm^3$ y $w=25\%$
Prueba triaxial no consolidada no drenada (UU)	JSE → $\gamma_s = 90\%PVSM$ y $w=8\%$ JV → $\gamma_s = 95\%PVSM$ y $\%w$ OPT JC → $\gamma_s = 1,95g/cm^3$ y $w=16\%$ I → $\gamma_h = 1,95g/cm^3$ y $w=12\%$
Prueba triaxial consolidada no drenada (CU)	Probetas reproducidas: JV → $\gamma_h = 2,0g/cm^3$ y $w=25\%$

donde:  $\gamma_h$  = peso volumétrico húmedo;  $\gamma_s$  = peso volumétrico seco;  $w$  = Contenido de agua; PVSM = Peso Volumétrico Seco Máximo;  $\%w$  OPT = Contenido de de agua óptimo.

#### 4 MODELO GEOTÉCNICO

Con los resultados de las pruebas de campo y mecánicas, se definió el siguiente modelo geotécnico (Tabla 4). Cabe señalar que los parámetros geomecánicos de los materiales de Enrocamiento y Transición mostrados en el modelo geotécnico, se definieron con correlaciones del comportamiento de enrocamientos de presas estudiados por la CFE.

Tabla 4.- Modelo Geotécnico.

MATERIAL	Peso Volumétrico ( $\gamma$ ) g/cm <sup>3</sup> (kN/m <sup>3</sup> )	Cohesión (c) kPa	Ángulo fricción interna ( $\phi$ ) grados
Jal del Vaso (JV)	2.14 (21)	33	27.5
Jal de sobreelevación (JSE)	1.66 (16.3)	79	21
Jal cicloneado (JC)	2.07 (20.3)	152	25
Impermeable (I)	2.17 (21.3)	125	21
Transición	2.19 (21.5)	0	40

#### 5.1 Condiciones geométricas

Con base en la información del proyecto, se construyeron modelos en el programa GeoStudio 2007, para reproducir las dos condiciones (Fig. 3 y 4), que representan las críticas para las secciones de las Fase I y Fase II (actuales y ampliadas) de la presa, que para fines prácticos también representan las condiciones de la Ampliación I y Ampliación II.

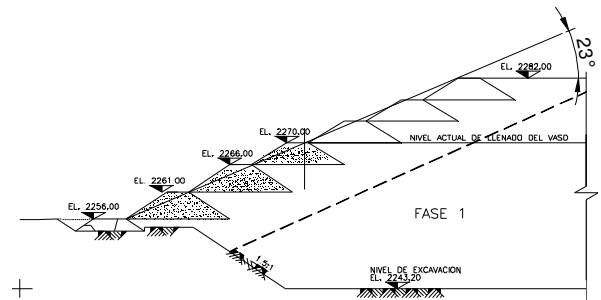


Figura 3.- Sección analizada de la Fase I (o Ampliación I).

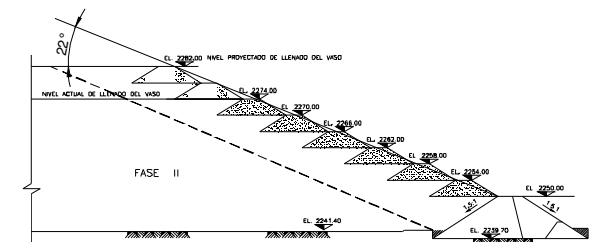




Figura 7.- Análisis de estabilidad para la Fase II, condición Actual.

Los factores de seguridad (FS) mínimos requeridos para los casos que se están analizando en este informe, son de 1,5 para el caso estático y de 1,1 para el pseudoestático.

Los (FS) obtenidos para las condiciones señaladas, se resumen en la Tabla 5.

Tabla 5.- Factores de Seguridad (FS) obtenidos de los análisis de estabilidad para niveles piezométricos en contacto con los bordos de sobre-elevación en toda la presa.

	Caso Estático	Caso Pseudoestático
<b>Condición actual</b>		
<b>Fase I</b>	2.65	2.32
<b>Fase II</b>	1.65	1.28
<b>Condición Sobre-elevación</b>		
<b>Fase I</b>	1.51	1.40
<b>Fase II</b>	1.52	1.20

## 6 CONCLUSIONES

Para fines prácticos se analizaron dos secciones con alturas críticas. Una para la Fase I, la otra para la Fase II.

Los resultados de los análisis de estabilidad (estáticos y pseudoestáticos) indican que para las condiciones analizadas (actual y sobre-elevación) la Fase I y Fase II así como la zona de la ampliación de la presa de jales 1, son estables para las características geométricas indicadas.

Se deberá limitar la altura total de la presa a 40,5 m.

Para elevar los factores de seguridad se podrán colocar drenes (naturales o sintéticos) de manera perimetral y transversal (conectados a los bordos de sobre-elevación).

Los drenes podrán ser sintéticos, o bien de material granular (arena fina), de tal manera que trabajen en 12 m de distancia del pie de los bordos de sobre-elevación y que estén en contacto con éstos (Fig. 9).

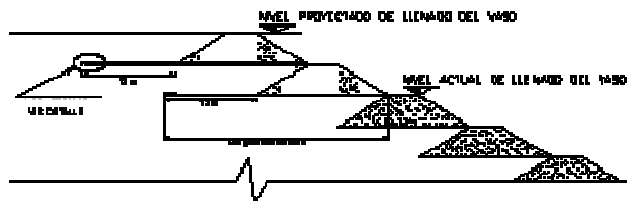
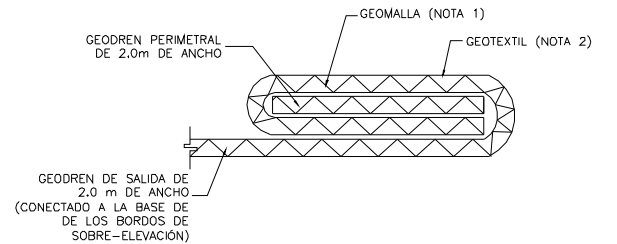


Figura 9. Análisis de estabilidad para la Fase II, condición Sobre-elevación..

Figura 8.- Análisis de estabilidad para la Fase II, condición Sobre-elevación.



### NOTAS:

- 1.- GEOMALLA DE POLÍMEROS CON UN FLUJO HIDRÁULICO DE  $7.8E-04$  Y  $1.4E-04$  PARA PRESIÓN VERTICAL DE 20 Y 500 kPa RESPECTIVAMENTE. RESISTENCIA A LA TENSIÓN=15,5 kN/m, ELONGACIÓN MÁXIMA= 60%
- 2.- GEOTEXTIL NO TEJIDO DE 500 gr/m<sup>2</sup>
- 3.- EL GEOTEXTIL CUBRIRÁ A LA MALLA E IRA COSIDO EN SUS EXTREMOS PARA EVITAR MIGRACIÓN DE JALESHACIA LA GEOMALLA.

Figura 10.- Detalle de dren sintético.

## REFERENCIAS

- VIII Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, Tomo I, S.M.M.S., 1976, *Zacatecas*.
- Manual de Diseño de Obras Civiles, Diseño por sismo*, CFE, Instituto de Investigaciones Eléctricas. (1993.)
- Manual de SCT, Normas de Construcción vol VIII, Normas de Materiales*, SCT., (1981)
- Bowles, J. (1988), *Foundation Analysis and Design*, 4<sup>th</sup> edition.
- Juarez Badillo E. y Rico Rodriguez A., (1973), *Mecánica de suelos, Tomo I*, tercera edición.
- Manual de presas y depósitos de jales*, Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México, A.C. (1993).