

CAPÍTULO 3

CONDICIONES GENERALES DEL SITIO DE ESTUDIO

3.1. CONDICIONES GENERALES DEL SITIO DE ESTUDIO

El depósito de jales se localiza en la parte oriental del estado de Querétaro, en los límites con el estado de Hidalgo, en las coordenadas geográficas $99^{\circ} 30'53.28''$ latitud Norte y $20^{\circ}49'59.52''$ longitud Oeste (figura 3.1).

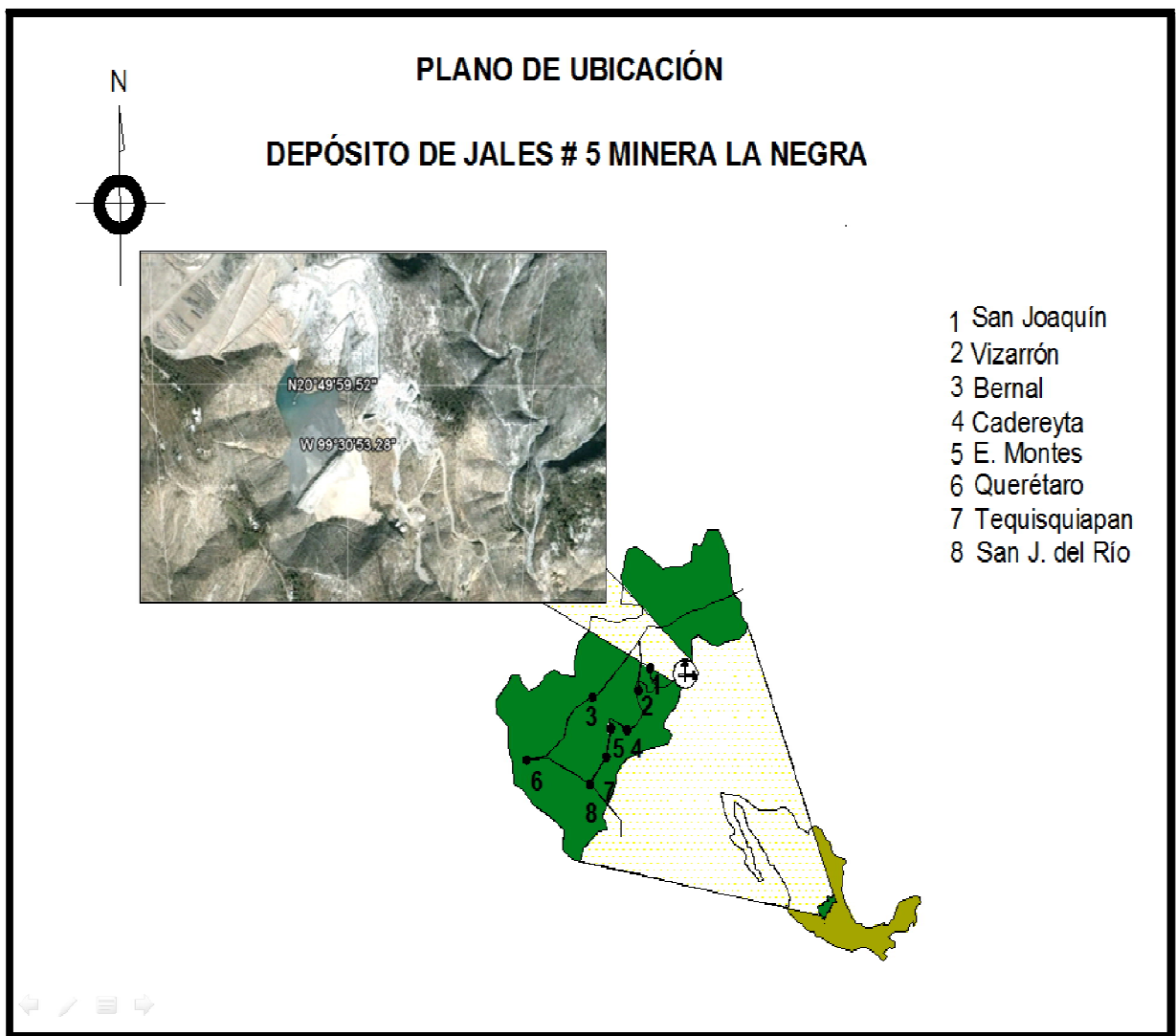


FIGURA 3.1. Plano de ubicación del depósito para jales No. 5, Unidad Minera La Negra, Qro.

3.1.1. Fisiografía

El distrito minero de Maconí se encuentra en el borde sur-occidental de la subprovincia de las Sierras Altas, limitada al poniente por la subprovincia de las Sierras Bajas, pertenecientes a la provincia de la Sierra Madre Occidental y al sur por la provincia del Eje Neovolcánico.

El relieve es abrupto con elevaciones que van desde los 1000 m.s.n.m. en el río Moctezuma (límite entre los estados de Querétaro e Hidalgo) hasta alturas superiores a los 3000 m.s.n.m. en la Sierra el Doctor (cerro La Laja 3360 m.s.n.m.), las partes bajas con relieves más suavizados se encuentran cubiertas por rocas arcillosas de la formación Soyatal y el relieve prominente modelado por las calizas de la formación el Doctor (Castellanos Téllez, 1990).

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-141-SEMARNAT-2003, que establece los parámetros para clasificar el terreno en plano, lomerío y montañoso, el sitio de estudio se clasifica como montañoso.

3.1.2. Geología

Las rocas que afloran en la región pertenecen a una secuencia sedimentaria del Mesozoico y constituyen la provincia geológica denominada plataforma El Doctor que, junto con la plataforma de Tolimán, representan la extensión sur de la plataforma de Valles. Cubriendo a esta secuencia, se encuentran formaciones continentales más jóvenes del Eoceno y Oligoceno principalmente.

En lo que corresponde al basamento del área de estudio afloran calizas del Cretácico inferior que cubren una capa de marga-caliza del Jurásico inferior (figura 3.2). En el lugar se puede observar también un conglomerado brechoide de origen sedimentario polimíctico (Carta geológica minera F14-C58).

Considerando que el depósito para jales se encuentra sobre la formación El Doctor, se dará una breve explicación de esta. La formación El Doctor, de edad Albiano, cubre amplias zonas del distrito y está compuesta por calizas que tienen un rumbo general NW-SE con buzamiento al SW, consta de cuatro facies (figura 3.3):

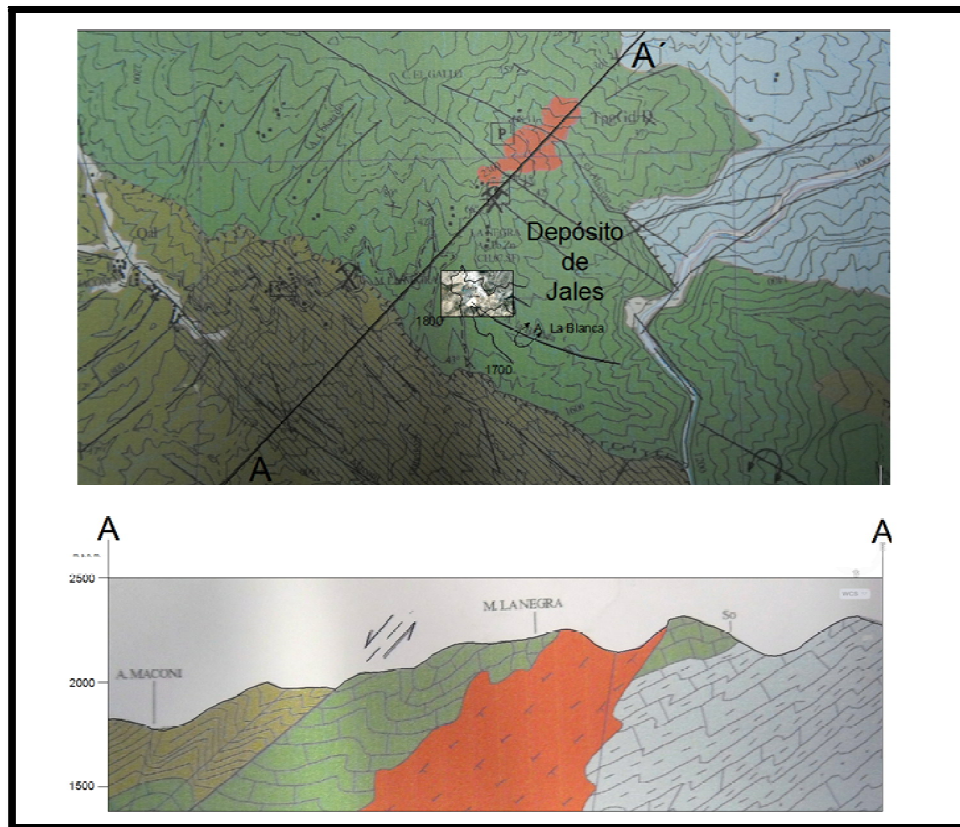


FIGURA 3.2. Ubicación del depósito para jales dentro de la formación el Doctor
(Carta geológica minera F14-C58)

1 Facies Cerro Ladrón

Está representada por una caliza arrecifal de forma lenticular a manera de banco, es de estratificación gruesa y con litología muy variada, calizas de grano fino, lodos calizos litificados, conglomerados. El color varía de color gris a gris claro; esta facie tiene un espesor de aproximadamente 1500 m.

2 Facies Socavón

Las calizas que conforman a esta facie son de textura de grano medio a grueso, presentando intercalaciones de conglomerados calizos de grano fino a grueso y nódulos de pedernal negro, en general todo el paquete es de estratificación gruesa y fue depositada en un medio ambiente transicional al pie del arrecife.

3 Facies San Joaquín

Está representada por una caliza de grano fino a medio, de color gris oscuro con pseudoestratos y nódulos de pedernal negro y estratificación media a delgada de 30-40 cm. generalmente, aunque en ocasiones presenta estratos intercalados de hasta 1.3 cm de espesor; esta facie se depositó en un ambiente transicional a menor profundidad que la facie La Negra.

4 Facies La Negra

Está representada por una caliza de grano fino con intercalaciones delgadas de estratos arcillosos y bandas de pedernal negro. Es de color negro a gris oscuro y de estratificación delgada (10 a 20 cm). El espesor máximo conocido de esta es de 300 m. Las características que presenta sugieren que fue depositada en una zona de cuenca.

La formación El Doctor descansa concordantemente sobre la formación Las Trancas.

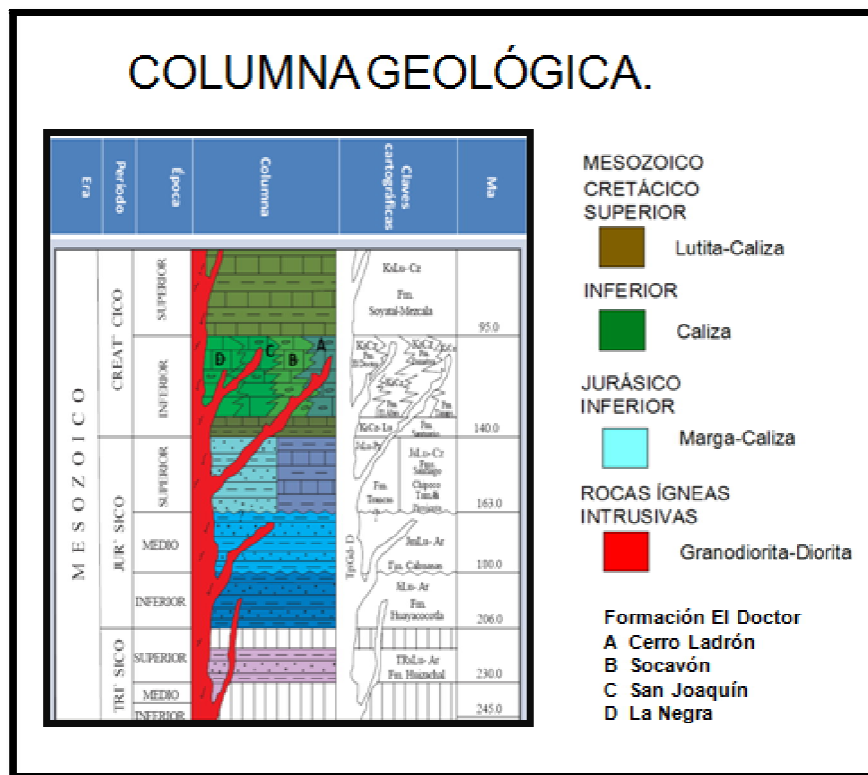


FIGURA 3.3. Parte de la columna geológica regional y ubicación de las facies de la formación El Doctor (Carta geológica minera F14-C58)

3.1.3. Hidrografía

El patrón de drenaje es controlado por la litología, en las zonas cubiertas por la formación Soyatal el drenaje es de tipo dentrítico, mientras en las zonas en las que afloran las calizas de la formación El Doctor presentan un drenaje angular a subparalelo siendo las principales corrientes perennes el río Moctezuma y su afluente el arroyo Maconí (Castellanos Téllez, 1990).

La precipitación promedio anual del lugar de estudio es de 900 mm y área de la cuenca de aportación de 40 hectáreas.

La Norma Oficial Mexicana NOM-141-SEMARNAT-2003, clasifica al territorio mexicano en tres zonas hidrológicas: zona ciclónica, húmeda y seca, el sitio de estudio queda dentro de la región ciclónica (figura 3.4).

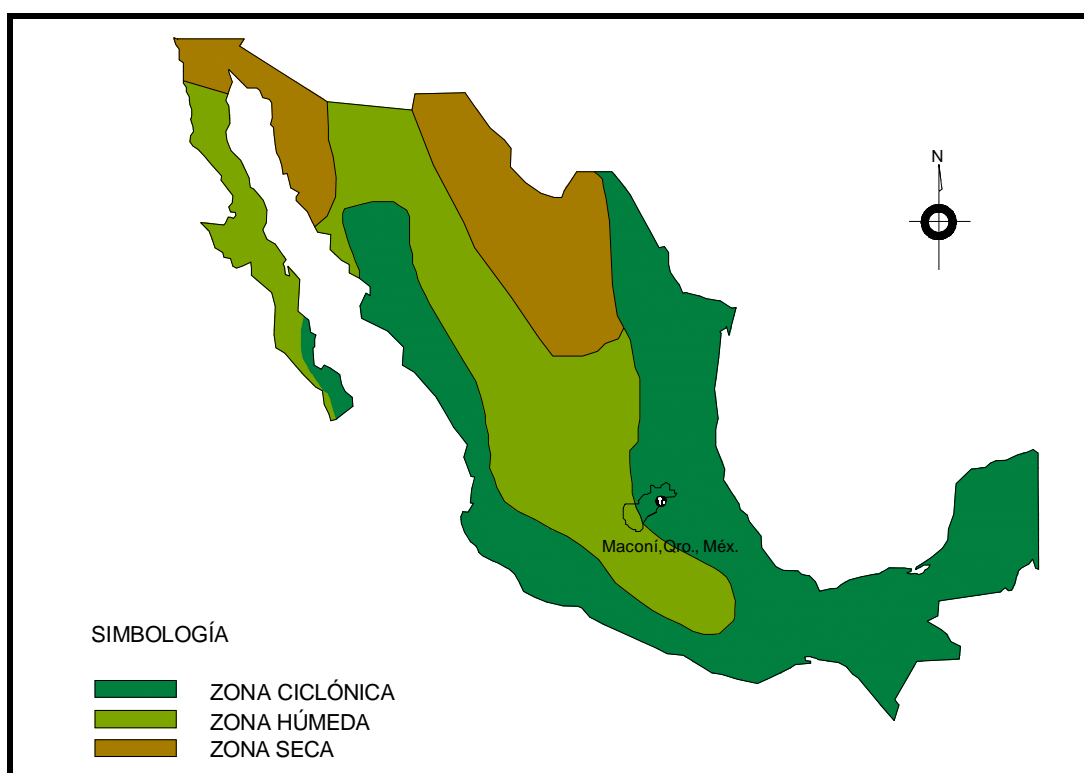


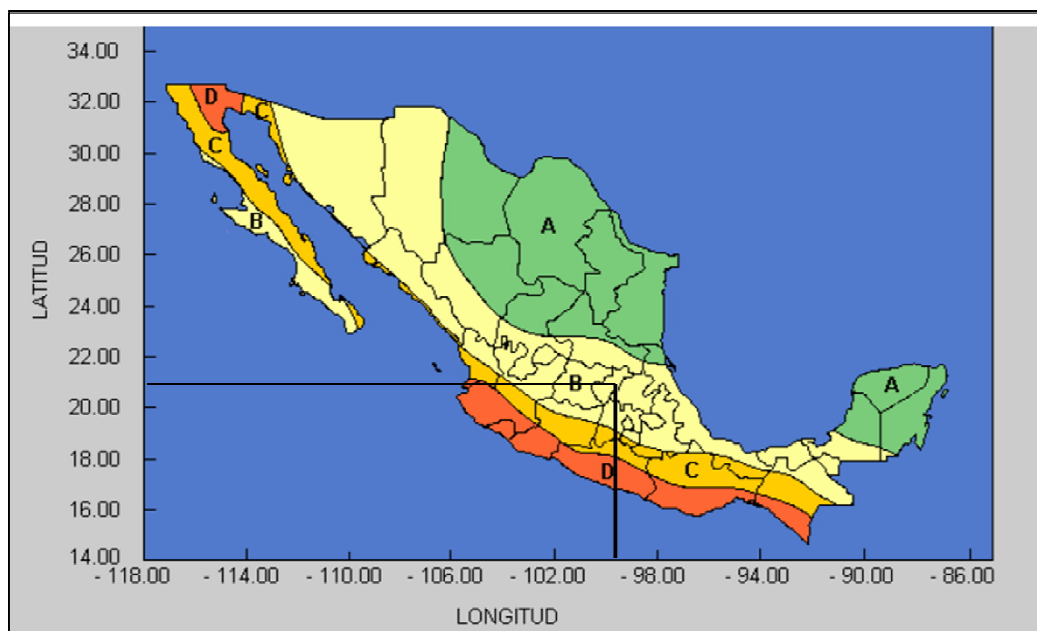
FIGURA 3.4. Carta hidrológica de la República Mexicana (NOM-141-SEMARNAT, 2003).

3.1.4. Sismicidad

Para determinar las acciones sísmicas que afectan a un sitio en particular es necesario establecer las condiciones dinámicas regionales y locales. Para las primeras se requiere conocer la ubicación y características de las zonas potencialmente generadoras de eventos sísmicos que tengan efecto en el sitio de interés. Las condiciones de tipo local están asociadas a los efectos de sitio definidos por la naturaleza dinámica que presentan los materiales que componen al depósito de suelo en estudio.

Los sismos que afectan al territorio nacional han sido divididos en los cinco grupos: locales, subducción, profundidad intermedia, intraplaca y falla transcurrente. El peligro sísmico combinado de estos eventos ha sido considerado para la construcción de los espectros de diseño adoptados en México.

La NOM-141-SEMARNAT-2003 clasifica al territorio mexicano en cuatro zonas: A, B, C, D según su sismicidad (figura 3.5.). Como se observa en esta figura, el sitio de estudio se ubica en la Zona B, que corresponde con la tercera en intensidad, donde la D es la de mayor intensidad.



A) Región asísmica, B) Región penisísmica C) y D) Región sísmica

FIGURA 3.5. Zonificación sísmica (NOM-141-SEMRNAT, 2003)

Efecto de sitio

El movimiento del suelo compuesto por unidades estratigráficas de materiales poco competentes genera amplificaciones dinámicas producto de los efectos locales asociados a sus propiedades. Adicionalmente, la estructura en estudio es también susceptible de generar amplificaciones dinámicas adicionales a las de la superficie del suelo. Las ondas sísmicas generan un efecto de difracción múltiple al encontrarse con las fronteras entre estratos y también interferencias destructivas y constructivas que se traducen en atenuaciones y amplificaciones, respectivamente.

Haciendo uso del programa PRODISIS del reciente Manual de Obras Civiles para Diseño por Sismo (Manual de Obras Civiles, 1993), de la CFE, se han establecido los niveles de aceleración máxima esperados en la superficie del terreno para el sismo de colapso.

Para el Municipio de Cadereyta de Méndez, Querétaro, localizado junto al sitio de estudio, se determinó que la aceleración máxima sobre la superficie del basamento local es de 0.062 g. Los resultados de este proceso se indican en la figura 3.6.

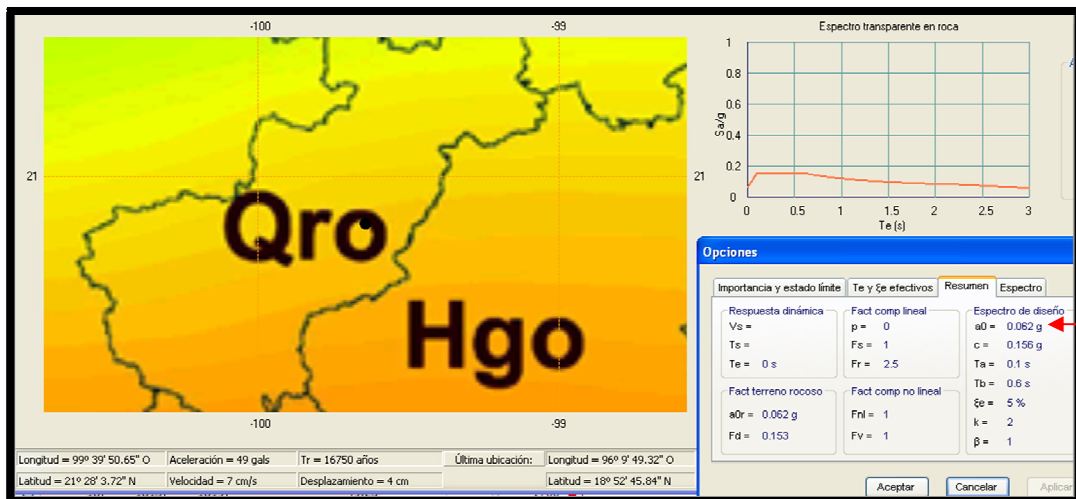


FIGURA 3.6. Aceleración en el basamento del sitio

Para considerar los efectos de amplificación local, se ha asumido que eventualmente los materiales con mayor amplificación dinámica y que corresponden a los materiales menos competentes, se pueden localizar en los primeros 10 m superficiales. A ellos se les ha asignado una velocidad media de ondas de cortante de 250 m/s y un peso volumétrico de

1.8 t/m³. Bajo estas condiciones, la aceleración máxima esperada en la superficie del terreno es de 0.087 g. Los resultados de este análisis se presentan en la figura 3.7. El espectro de diseño para la zona de interés y para las estructuras del Grupo B se muestra en la figura 3.8.

Siguiendo las recomendaciones para estructuras de contención en México, con fines de diseño, se ha incrementado la aceleración de la superficie del terreno en 4/3, para considerar el posible efecto amplificador generado por la cortina de la presa. Bajo este criterio, la aceleración a que estará expuesta la estructura proyectada por la acción sísmica corresponde a 0.12 g.

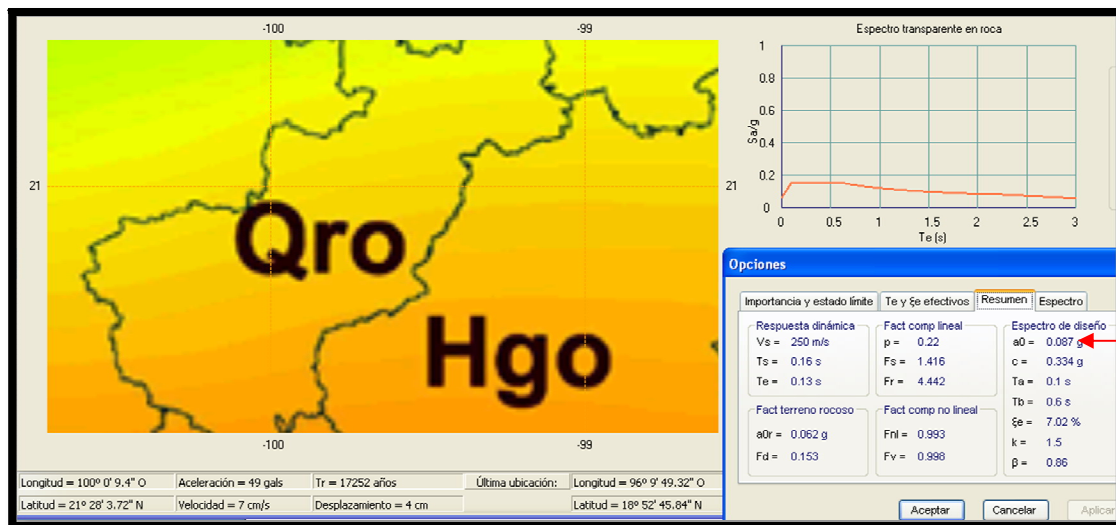


FIGURA 3.7. Aceleración en la superficie del terreno

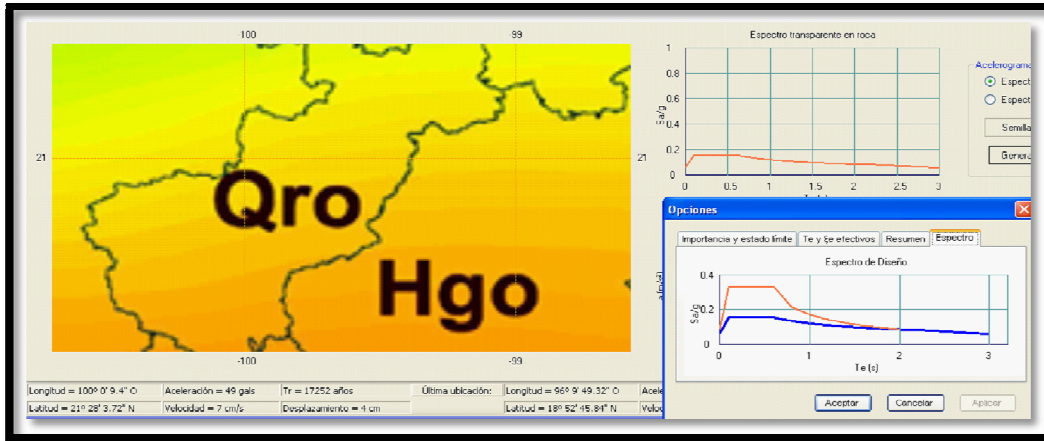


FIGURA 3.8. Espectro de diseño para el sitio de interés

En resumen, el depósito para jales queda clasificado dentro de una zona montañosa, ciclónica y penisísmica. Para estas condiciones la NOM-141-SEMARNAT-2003 presenta las siguientes recomendaciones:

a) Método constructivo:

Recomienda el método "aguas abajo con arena cicloneada y compactada, "aguas abajo" con sección graduada o "aguas abajo" con enrocamiento.

b) Análisis de estabilidad:

Realizar el análisis por métodos de elemento finito para condiciones estáticas y dinámicas.

c) Instrumentación:

Colocar piezómetros y referencias superficiales.

d) Sistema decantador drenante:

Utilizar alcantarilla con sección portal.

e) Periodo de retorno de la tormenta de diseño:

De 50 años.

Estas recomendaciones no se cumplen en el caso de La Negra, porque el depósito para jales # 5 se construyó antes de que la NOM-141 entrara en vigor.

3.2. Procedimiento constructivo de la cortina

La cortina está construida con el método “aguas arriba” con arena “cicloneada”, desplantada con un bordo iniciador (figura 3.9.). El jal grueso conforma la cortina y el fino se coloca hacia la zona del agua clarificada. De esta manera se debe garantizar la formación de estanque alejado de la cortina, evitando la saturación en el talud exterior de la misma y favoreciendo el sellado del vaso del depósito con los finos de los jales.

El método consiste en ir desplazando la cortina “aguas arriba” conforme se incrementa la altura del depósito, para lograr este objetivo se emplean hidrociclones; que clasifican el material en dos: el material descargado por el ápex contiene las partículas gruesas y poca agua, mientras que la descarga del vórtex se forma por partículas finas y mayor cantidad de agua. Las partículas gruesas son las que van formando la cortina y las finas se depositan en el vaso de almacenamiento.

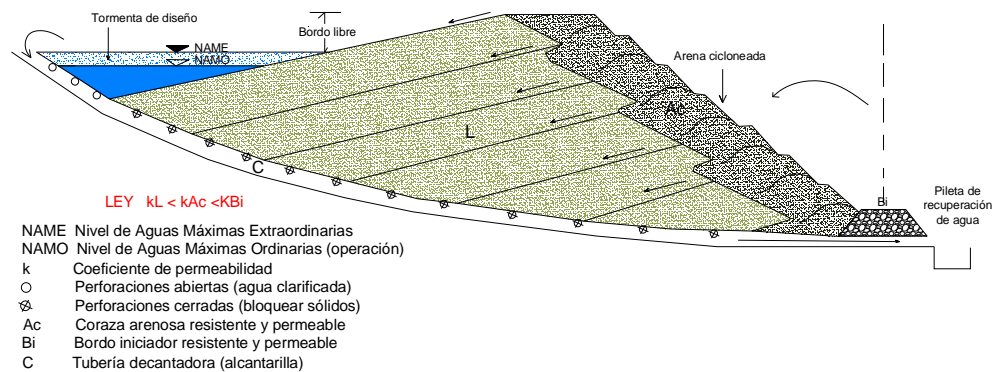


FIGURA 3.9. Método constructivo “aguas arriba” con arena cicloneada
(NOM-141-SEMARNAT, 2003)

3.2.1. Descarga de jales con hidrociclones

El *flujo inferior* o del *ápex* del hidrociclón es un producto que proporciona un buen drenaje siempre y cuando el funcionamiento del hidrociclón sea el adecuado, es decir tener una descarga en forma de cono.

El *flujo superior* o del *vórtex* del hidrociclón posee características de poca permeabilidad y buen flujo de agua.

Durante el desarrollo del proyecto se busca asegurar que el crecimiento de la cortina vaya siempre adelante del crecimiento del relleno de finos en la playa. Esto conlleva a contar con el material suficiente de gruesos para conformar la cortina. Es conveniente llevar registros del funcionamiento de los hidrociclones y del proceso durante la fase de almacenamiento, estos deberán contener:

- 1) División del material según sus componentes finos y gruesos.
- 2) Calidad del producto del ápex, en particular lo que corresponde a los porcentajes de tamaños, puesto que éstos afectan el control de la permeabilidad. Es conveniente recordar que los gruesos son los que conforman el filtro que evita la acumulación de agua cerca del bordo.
- 3) Densidad de la descarga del flujo en el ápex. Si el flujo está muy húmedo tendremos por resultado un apilamiento desordenado y si está demasiado seco, se formará un apilamiento inestable y de fuerte pendiente.
- 4) La densidad in situ deberá ser obtenida a partir de muestras para cerciorarnos que el material tiene la densidad con la que se hicieron los cálculos.
- 5) Realizar pruebas de permeabilidad para asegurar que los jales depositados tienen las propiedades adecuadas.
- 6) Bitácora del programa de mantenimiento preventivo del hidrociclón y bombas
- 7) Horas de cicloneo del jal.
- 8) Horas de bombeo.

La verificación de la descarga del material puede ayudarnos a evitar la erosión del material previamente depositado, para los casos en que el material exceda su contenido de agua regular, que para el caso de estudio se procura mantener con un 36 % de sólidos a las colas finales, aunque que este varía según las necesidades de la molienda y no al contrario.

El empleo del hidrociclón para la descarga de los jales, requiere de una reubicación de la tubería, según se aumente la altura del depósito. La reubicación de la tubería se puede llevar a cabo simultáneamente con la operación, mandando la descarga directamente al vaso de almacenamiento. En el depósito para jales de La Negra se emplea sólo un

hidrociclón y la descarga se mueve conforme se va avanzando con el bordo, que no es lo más recomendable. Lo ideal sería tener al menos dos puntos de descarga para conformar una playa lo más regular posible y evitar acumulaciones de agua en zonas no deseadas.

3.3. Sistema decantador drenante existente

La decantación es el método más común de control de agua, en el depósito de estudio se cuenta con torres de decantación y una alcantarilla que reposa sobre el basamento.

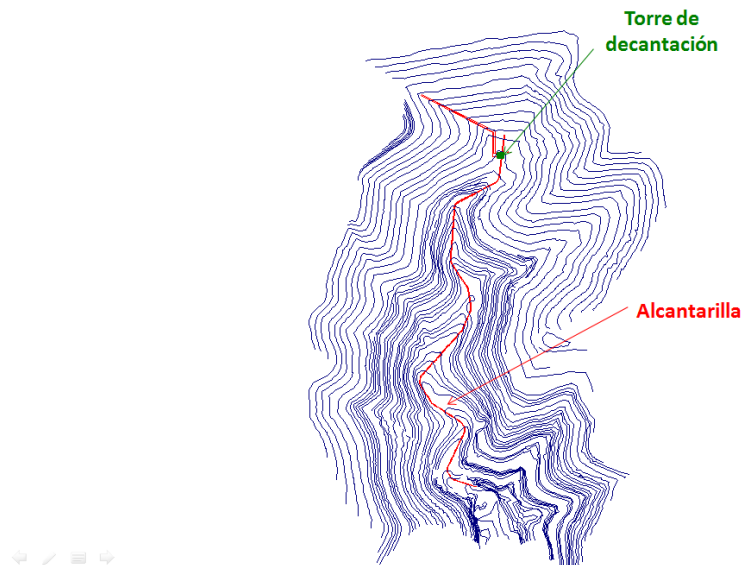


FIGURA 3.10. Sistema decantador drenante existente

Las *ventajas* que presenta el sistema de decantación son:

- Presenta un buen control del agua
- No utiliza energía para la decantación

Y sus *desventajas* son:

- Difícil acceso a las torres de decantación
- Los costos de bombeo para el retorno del agua hacia el procesos de beneficio se incrementan en la medida que se aumente la producción, en minera La Negra sólo el 20 % es agua fresca y el 80 % es de proceso.

Tabla3.1. Descripción del sistema decantador drenante

Bóveda	De concreto armado con doble cama de varilla y $f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$. La bóveda está recubierta con un filtro drenante.
Piso	De concreto, de espesor igual a 0.1 m y $f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$
Muro	Es de concreto armado, con doble cama de varilla y $f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$
Anclas	Varillas de 1" ancladas al piso en una profundidad de 0.5 m, colocadas en tresbolillo.

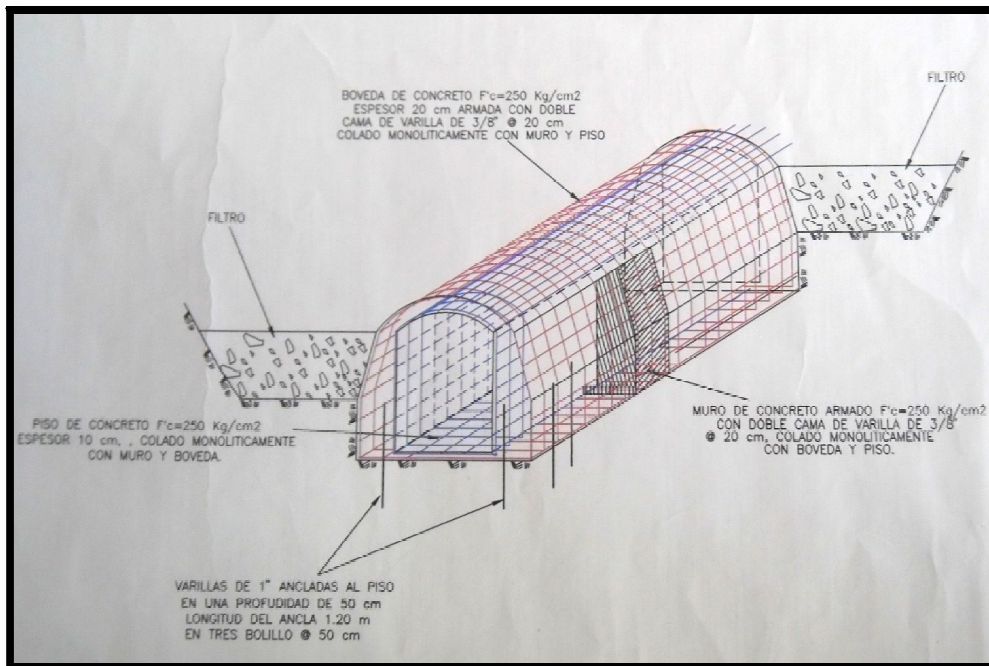


FIGURA 3.11. Sistema decantador drenante existente (imágenes proporcionadas por el departamento de Planeación de Minera La Negra)

3.4. Volumen de jal esperado que se depositará en la presa, tiempo estimado de uso de acuerdo a la altura máxima permisible y producción esperada de jal

El depósito para jales No. 5 se comenzó a operar con 1000 ton/día en el proceso de beneficio. Para el mes de agosto de 2010 se alcanzaron 1500 toneladas y con la ampliación que se está llevando a cabo, el tonelaje se incrementará a 2000 en marzo de 2012 y de ser posible se buscará llegar hasta las 2500 ton/día. El mineral que se está alimentado a la planta viene con un 3 % de humedad. Las colas finales del proceso son enviadas al depósito de jales con un 36 % de sólidos.

Para conocer las toneladas que son enviadas hacia el depósito de jales, es necesario conocer la cantidad de concentrado que se recupera. La cantidad de concentrado anual que se obtuvo hasta antes de agosto de 2010 fue de 19 200 toneladas y de esta fecha en adelante se están obteniendo 21600 toneladas.

Para conocer el tonelaje anual enviado al depósito de jales, se consideró que por cada aumento de 500 toneladas de mineral diaria se incrementa 200 de concentrado al mes. Se consideraron 350 días de operación. La humedad del concentrado en promedio es de 9.3%

Se formuló la siguiente ecuación:

$$TAJ = (TA * hm) - (TC * hc)$$

TAJ: Tonelaje anual enviado al depósito para jales

TA: Tonelaje alimentado de mineral anual

hm: Porcentaje de humedad del mineral

hc: Porcentaje de humedad del concentrado

TC: Toneladas de concentrado anual

Datos:

Peso volumétrico del jal= 1.89 ton/m³

hm=3.0 %=0.030

hc=9.3 %=0.093

Toneladas de mineral alimentado a la planta TA

Para 1000 1000*350=350 000 ton

Para 1500 1500*350=525 000 ton

Para 2000 2000*350=700 000 ton

Para 2500 2500*350=875 000 ton

Toneladas de concentrado anual TC

Para 1000 55*350=350 000 ton

Para 1500 62*350=525 000 ton

Para 2000 68*350=700 000 ton

Para 2500 75*350=875 000 ton

Días de operación=350

Para 1 000 toneladas $TAJ=(350\ 000*(1-0.03)) - (19\ 200*(1-0.093))$
 $=339\ 500-17414.9$
 $=322\ 085.0$

Para 1500 toneladas $TAJ=(525\ 000*0.97) - (21\ 600*0.907)= 509\ 250-19591.2$
 $=489\ 659.0$

Para 2 000 toneladas $TAJ=(700\ 000*0.97) - (24\ 000*0.907)= 679\ 000-21768$
 $=657\ 232.0$

Para 2500 toneladas $TAJ=(875\ 000*0.97) - (26\ 400*0.907)= 848\ 750- 23944.8$
 $=824\ 805.2$

Tabla 3.2. Volumen de jal almacenado y por almacenar en el depósito

Altura a la corona de bordo (m. s. n. m.)	Año	Edad del depósito (años/producción)	Años de vida del depósito	Volumen almacenado (Mm ³)	tonelaje/diario
1443	1996	0.0	25.5	0.000	1000
1447	1996	0.0	25.5	9.4X10 ⁻⁵	
1751	1996	0.0	25.5	1.2x10 ⁻³	
1755	1996	0.0	25.5	0.004	
1759	1996	0.0	25.5	0.007	
1763	1996	0.1	25.4	0.013	
1767	1996	0.1	25.4	0.021	
1771	1996	0.2	25.3	0.034	
1775	1997	0.3	25.2	0.052	
1779	1997	0.4	25.1	0.075	
1783	1997	0.6	24.9	0.102	
1787	1997	0.8	24.7	0.135	
1791	1997	1.0	24.5	0.173	
1795	1998	1.3	24.2	0.218	
1799	1998	1.6	23.9	0.269	
1803	1999	1.9	23.6	0.326	
1807	1999	2.3	23.2	0.389	
1811	2007	2.7	22.8	0.458	
1815	2007	3.1	22.4	0.535	
1819	2008	3.6	21.9	0.617	
1823	2008	4.1	21.4	0.703	
1827	2009	4.7	20.8	0.795	
1831	2009	5.3	20.2	0.895	
1835	2010	5.9	19.6	1.000	
1839	2011	6.6	12.5	1.120	1500
1843	2012	7.1	12.0	1.244	2000
1847	2012	10.6	8.5	1.377	2500
1851	2012	12.6	6.5	1.519	
1855	2016	13.0	6.1	1.667	
1859	2017	13.3	5.8	1.824	
1863	2017	13.7	5.4	1.986	
1867	2018	14.1	5.0	2.153	
1871	2018	14.5	4.6	2.327	
1875	2019	14.9	4.2	2.506	
1879	2019	15.3	3.8	2.691	
1883	2019	15.7	3.4	2.883	
1887	2020	16.2	2.9	3.078	
1891	2020	16.7	2.4	3.278	
1895	2021	17.1	2.0	3.482	
1899	2021	17.6	1.5	3.691	
1903	2022	18.1	1.0	3.904	
1907	2022	18.6	0.5	4.123	
1911	2022	19.1	0.0	4.346	

* Los cálculos se presentan en el anexo C

De la tabla anterior se puede observar que si se mantuviera la producción diaria de 1000 toneladas la vida del depósito para jales sería de 25.5 años, tal y como se observa para la altura 1835 en donde el depósito lleva una vida de 5.9 años y tendría por almacenar 19.6 años lo que nos arroja una suma de 25.5 años. Pero debido a que la producción fue incrementada a 1500 toneladas por día a finales de 2010 (coincide en la tabla con la altura 1835) su vida operativa disminuyó hasta 12.5 años. Para la cota 1847 donde la tabla muestra que se alcanzará una producción de 2000 toneladas por día en el 2012, el depósito tendrá una vida operativa de 8.5 años y en caso de que a finales del 2012 se lograrán alcanzar las 2500 toneladas por día la vida del depósito disminuiría hasta 6.5 años.

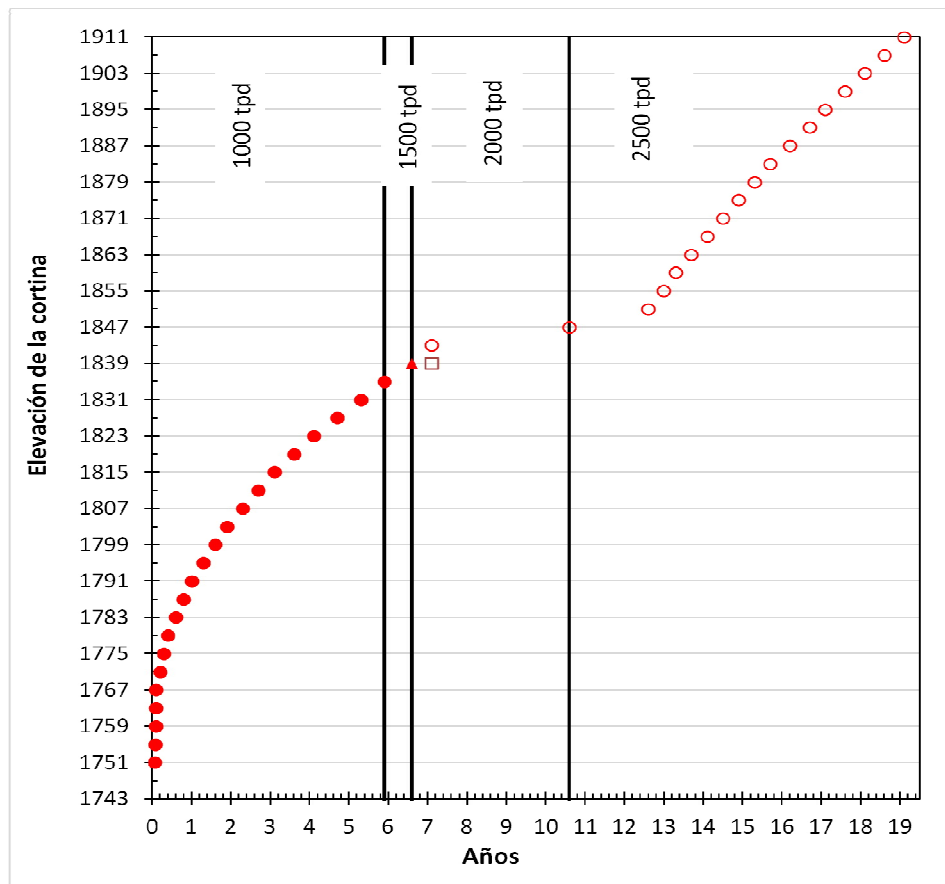


FIGURA 3.12. Vida operativa del depósito para jales