



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ACATLÁN**

**ANÁLISIS DE RIESGO GEOTÉCNICO EN EL ÁREA DE LA PRESA MADÍN,  
MUNICIPIO DE ATIZAPÁN DE ZARAGOZA, ESTADO DE MÉXICO.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**INGENIERO CIVIL**

**P R E S E N T A**

**ALINE LEÓN ROLDÁN**

**ASESOR: DR. JOSÉ MARÍA CHÁVEZ AGUIRRE**

**NAUCALPAN, ABRIL 2013.**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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



## **AGRADECIMIENTOS**

Antes que nada quiero agradecer a Dios por haberme permitido llegar hasta aquí, por permitirme tener la familia que tengo y por formar parte importante en mi vida; asimismo a todas aquellas personas que de alguna manera me han apoyado para seguir adelante en este proyecto.

### **A mi asesor**

Al Dr. José María Chávez Aguirre por brindarme todo su apoyo, compartir sus conocimientos, por su paciencia y motivación para llegar a culminar este proyecto, además del tiempo dedicado a su realización. Muchas Gracias.

### **A mis sinodales**

Por contribuir con sus comentarios y conocimientos para mejorar este trabajo, además del tiempo dedicado a su revisión. Gracias.

### **A mis Padres**

A mi madre y a mi padre por haberme enseñado a luchar y afrontar cada una de las pruebas que la vida nos pone en el camino, por inculcarme que los valores y principios te hacen mejor persona, por dedicarse siempre a mi sin pedir nada a cambio y por alentarme a seguir adelante cuando más lo necesitaba. Por enseñarme que la vida va más allá de las cosas materiales y tangibles, a aprovechar los momentos que la vida nos ofrece y que a pesar de la distancia y el tiempo debemos estar siempre unidos.

### **A mis Hermanos**

A ustedes que son una parte muy importante, por todas las horas de juegos y momentos felices que hemos pasado y enseñarme que el amor y la comprensión van más allá de las palabras, gracias por escucharme cuando lo he necesitado y estar siempre a mi lado.

### **A mis amigos y compañeros**

Porque han sido mi segunda familia compartiendo todas esas horas de clase, de experiencias y de alegrías, muchas Gracias a todos, siempre los llevaré en mi mente y en mi corazón.

A Ricardo Jimeno por ser parte importante en mi vida y en la realización de este proyecto. Gracias por tus palabras de aliento para no dejarme caer y seguir adelante siempre, por saber que cuento contigo para todo.



# ÍNDICE

## Introducción

### Capítulo I: Marco teórico

1.1. Conceptos Básicos	
1.1.1 Riesgo . . . . .	12
1.1.2 Peligro Geológico . . . . .	12
1.1.3 Prevención . . . . .	14
1.1.4 Ciclo de Prevención . . . . .	15
1.2. Geología y Geotecnia	
1.2.1 Estructuras geológicas . . . . .	16
1.2.2 Fallas . . . . .	16
1.2.3 Fracturas . . . . .	18
1.2.4 Taludes . . . . .	19
1.3 Protección Civil e Instituciones afines	21
1.3.1 INEGI . . . . .	23
1.3.2 Instituto de Geología. . . . .	25
1.3.3 CENAPRED. . . . .	25

### Capítulo II: Antecedentes en Atizapán de Zaragoza

2.1. Localización del Municipio . . . . .	28
2.2. Condiciones Geográficas del Municipio de Atizapán de Zaragoza. . . . .	29
2.3. Condiciones Geológicas del Municipio de Atizapán de Zaragoza . . . . .	31
2.4. Riesgos en el Municipio de Atizapán de Zaragoza . . . . .	36
2.4.1 Zonas Minadas . . . . .	39
2.4.2 Zonas de discontinuidades. . . . .	40

### Capítulo III: Presa Madín

3.1 Definición de presa y clasificación . . . . .	42
3.2 Partes de una presa . . . . .	44
3.3 Tipos de Presa más comunes . . . . .	46
3.4 Criterios de diseño para presas de tierra y enrocamiento. . . . .	50
3.4.1 Clasificación de presas para fines de análisis sísmico . . . . .	50
3.4.2 Criterios de diseño . . . . .	51
3.4.3 Selección del método de análisis . . . . .	52
3.5 Presa Madín . . . . .	54
3.5.1 Aspectos generales . . . . .	54
3.5.2 Aspectos constructivos . . . . .	55
3.5.3 Instrumentación en la presa. . . . .	57
3.5.4 Zona urbana aguas arriba . . . . .	63

3.5.5 Zona urbana aguas abajo . . . . .	64
---	----

#### **Capítulo IV: Metodología**

4.1. Para las pruebas de laboratorio . . . . .	66
4.1.1 Procedimiento para las pruebas de compresión simple en suelos	67
4.1.2 Procedimiento para las pruebas de compresión triaxial en suelos	71
4.1.3 Procedimiento para las pruebas de compresión simple en roca	78
4.1.4 Procedimiento para las pruebas de compresión triaxial en roca	80
4.1.5 Procedimiento para el análisis de estabilidad de taludes .	84
4.1.6 Procedimiento para muestreo de rocas y la elaboración de sus láminas delgadas . . . . .	93
4.2. Para las pruebas de campo . . . . .	100
4.2.1 Procedimiento para los estudios de cartografía . . . . .	100
4.2.2 Procedimiento para los recorridos de campo. . . . . (Visual, geológico estructural y geotécnicos).	102

#### **Capítulo V: Resultados e interpretación**

5.1 De las pruebas de laboratorio . . . . .	113
5.1.1 Del procedimiento para muestreo de roca y la elaboración de sus láminas delgadas . . . . .	113
5.2 De las pruebas de campo . . . . .	118
5.2.1 De los recorridos de campo . . . . . (Visual, geológico estructural y geotécnicos).	118

<b>Conclusiones</b> . . . . .	125
-------------------------------	-----

<b>Anexos</b> . . . . .	129
-------------------------	-----

<b>Bibliografía</b> . . . . .	143
-------------------------------	-----

## INTRODUCCIÓN

En los últimos tiempos hemos visto que en la naturaleza se presentan fenómenos que son cada vez de mayor intensidad; estos fenómenos han atraído la atención tanto de los expertos en el tema, como de los organismos encargados de la protección de la población, por ello se han realizado numerosos estudios para tener una idea de cómo podría ser el daño que pueden provocar en la población y de esta manera poder prevenir e incluso corregir el riesgo. En la Ciudad de México y sus áreas conurbadas estos estudios son importantes ya que es una zona bastante desarrollada en cuanto a obra civil se refiere, además de que existe un número elevado de población que vive en puntos de alto riesgo, por lo que el objetivo de estos estudios se enfoca en conocer las condiciones de los terrenos donde se planea realizar construcciones importantes y que ayuden evitar riesgos que vuelvan vulnerable a la población que habita en esos lugares.

En la actualidad es muy común e importante realizar estudios especializados, por ejemplo de Mecánica de Suelos, Mecánica de Rocas, de Geología, Topohidráulicos, etc., antes durante y aún después de construidas ciertas estructuras, que si bien es cierto que son un gran beneficio para la población también pueden representar algún riesgo a la misma. Para esto existen organizaciones e instituciones que se encargan de identificar y localizar puntos de alto riesgo, así como establecer programas de cómo actuar en casos de riesgo o de algún desastre.

En el Estado de México se lleva a cabo un programa realizado por la Facultad de Estudios Superiores Acatlán llamado Atlas Multidisciplinario y de Riesgo Geotécnico de la Zona Conurbada al Norponiente del Valle de México, el cual en conjunto con las respectivas autoridades de cada uno de los municipios implicados, (Naucalpan de Juárez, Atizapán de Zaragoza, Tlalnepantla, Cuautitlán Izcalli y Cuautitlán) se encarga de hacer recorridos a lo largo y ancho de los municipios, buscando e identificando zonas de alto riesgo, haciendo una evaluación de las mismas y si es posible realizando las correcciones pertinentes a cada caso.

Como parte de la realización del Atlas Multidisciplinario y de riesgo Geotécnico, el municipio de Atizapán se ha dividido en 8 áreas para una mejor evaluación de los puntos de riesgo; la correspondiente a la Presa Madín es el área número 5, objeto de estudio de este trabajo. La Presa Madín es la obra civil más importante del municipio, además de que es un punto ideal para identificar zonas de riesgo, puesto que en los alrededores existen desarrollos urbanos extensos y cerca de la cortina.



Es importante también señalar que se ha encontrado una falla y diversas fracturas en los taludes alrededor de la carretera cercana a la cortina, que de igual manera implican cierto riesgo a la población que convive diariamente con esta zona y que también serán analizados para asegurar la protección de los habitantes.

Es importante conocer qué instituciones nos pueden apoyar en caso de emergencias de tipo geológico-geotécnico, por ello en el primer capítulo se hace una descripción de cada una de las instituciones que están capacitadas para implementar acciones para informar, prevenir y auxiliar a la población en caso de que ocurra algún desastre en las zonas de riesgo, se mencionan también los conceptos de peligro, riesgo y prevención para que la población tenga un mejor conocimiento de a qué se refieren cada uno.

De igual manera y para que la población en general pueda conocer un poco más acerca del lenguaje que se emplea en geotecnia, se describen algunos conceptos básicos que nos ayudarán a identificarlos más fácilmente en el campo, como son taludes, fallas, fracturas, derrumbes y hundimientos, mencionando también sus componentes, clasificaciones, etc.

En la segunda parte se hace una descripción general del municipio de Atizapán, mencionando sus condiciones geográficas y geológicas, para conocer un poco más el tipo de roca y suelo en el que se encuentran descansando todas y cada una de las estructuras de las que está conformada la urbanización del municipio. Éste es un punto importante que debemos conocer, ya que de esta manera identificamos si estamos o no en una zona de alto riesgo y así poder tomar las debidas precauciones y estar preparados ante cualquier riesgo o desastre.

En el tercer capítulo se describe con mayor detalle el concepto de presa, sus características, clasificación, partes y los diferentes tipos que existen; este tema se describe así, debido a que la parte fundamental del trabajo es referente a la Presa Madín, ya que además de ser una obra importante para el municipio, la población que habita aguas abajo de la presa, se ha ido acercando cada vez más a la cortina y esto lógicamente representa un riesgo para los habitantes. Se describen también los aspectos generales y particulares de la Presa Madín ya que además de conocerla más a fondo, nos ayuda a saber qué tan confiable es vivir tan cerca de la cortina, y qué tan confiable es el material sobre el cual descansa la misma.

Esta información es útil para los habitantes, ya que así están enterados si están en riesgo en caso de un sismo o algún otro fenómeno natural que pueda llegar a dañar la cortina o provocar derrumbes en los taludes cercanos a la presa.

En la cuarta y quinta parte del presente trabajo, se presentan la metodología y los resultados obtenidos de todos los estudios realizados en el área correspondiente a la Presa, se describen detalladamente cada uno de los procedimientos que se emplean tanto en el laboratorio como en el campo para llegar a las conclusiones pertinentes, se menciona también como usar los equipos y los instrumentos que se emplean para obtener los resultados.

Los resultados se presentan de manera que sean fáciles de comprender, con imágenes y descripciones detalladas de cada uno de los puntos de riesgo que se encontraron, describiendo el tipo de material, sus características mineralógicas, su ubicación exacta y en algunos casos haciendo recomendaciones sobre el riesgo que representan a la población de esa zona.

Este trabajo sólo hace hincapié en las zonas de alto riesgo a las que la población está expuesta, en qué condiciones se encuentran estos puntos y se dan algunos lineamientos para prevenir desastres debido a la falta de información de los habitantes, ya que como ciudadanos es nuestra responsabilidad estar informados, prevenidos y saber cómo actuar en casos de emergencia o desastres naturales, saber a qué instituciones recurrir para pedir ayuda y también conocer por lo menos de manera general sobre qué tipo de material estamos viviendo, y qué riesgo representa para nuestra familia y nuestra comunidad.





# CAPÍTULO I: Marco Teórico

**Objetivo Particular:** Conocer de forma general los conceptos básicos de peligro, riesgo y prevención, los conceptos empleados en geotecnia y las instituciones involucradas en el análisis de riesgos.

## **Capítulo I: Marco teórico**

### **1.1. Conceptos Básicos**

#### **1.1.1. Riesgo**

Riesgo: Una medida de la probabilidad y severidad de un efecto adverso a la vida, a la salud, a la propiedad o al medio ambiente. Usualmente se estima como el producto de la probabilidad de que ocurra un evento, por las consecuencias que se derivan del mismo; dicho de otra forma, es el producto peligro por el valor potencial de pérdidas.

- Riesgo aceptable: un riesgo para el cual, para los fines de vida o trabajo, estamos preparados para aceptar sin preocupación acerca de su manejo.
- Riesgo social: el riesgo a la sociedad como un todo: uno donde la sociedad tendría que soportar la carga de un accidente de deslizamiento, causando un número de muertos, heridos, y pérdidas económicas o ambientales.<sup>1</sup>

#### **1.1.2. Peligro Geológico**

Los peligros de origen geológico son aquellos que se originan en la corteza terrestre, ya sea en la corteza interna, como es el caso de los sismos, o en la superficie terrestre, como los deslizamientos.

Tanto los fenómenos naturales como las estructuras geológicas, contribuyen en la definición de peligro para una zona urbana. Algunos de estos fenómenos son<sup>2</sup>:

- \* Fallas
- \* Fracturas
- \* Sismos
- \* Deslizamientos
- \* Hundimientos

Los fenómenos naturales antes mencionados son un factor muy importante a considerar en la seguridad de una zona urbana, por lo que a continuación se mencionará brevemente en qué consiste cada uno de ellos.

---

<sup>1</sup> CENAPRED, Sistema Nacional de Protección Civil. "Serie Atlas Nacional de Riesgos. Guía Básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos: Fenómenos Geológicos", 1° Edición, México, 2006.

<sup>2</sup> Consejo de Recursos Minerales, SEDESOL, Programa Hábitat. "Guía Metodológica para la elaboración de Atlas de Peligros Naturales a Nivel de Ciudad Identificación y Zonificación", México, 2004.

## **Sismo:**

Un sismo es un movimiento brusco que se genera en las placas tectónicas dentro de la corteza terrestre.

Estos se clasifican en cuanto a su magnitud, a su profundidad y a su intensidad. La profundidad determina si el sismo fue superficial o profundo. La intensidad es la medición del fenómeno de acuerdo a la percepción de la población, y la magnitud es medida de acuerdo a la cantidad de energía liberada y por un sismógrafo en grados en escala Richter.<sup>3</sup>



Figura 1. 1 Formación de un Sismo (<http://dondehabitaelolvido.blogspot.com>)

## **Deslizamiento:**

Movimientos lentos o repentinos de masas de roca o suelo por una pendiente.<sup>4</sup>

Existen tres tipos de deslizamiento:

1. Caídos o derrumbes: son movimientos abruptos del suelo y fragmentos aislados de rocas que se originan en pendientes muy fuertes y acantilados, por lo que el movimiento es prácticamente en caída libre.
2. Deslizamientos: son movimientos de una masa de materiales térreos pendiente abajo, sobre una o varias superficies de falla delimitadas por la masa estable o remanente de una ladera.
3. Flujos: Movimientos de suelos y/o fragmentos de rocas pendiente abajo de una ladera, en donde sus partículas, granos o fragmentos tienen movimientos relativos dentro de la masa que se mueve o desliza sobre una superficie de falla.<sup>5</sup>

<sup>3</sup> Consejo de Recursos Minerales, et. al. Op. Cit., 2004.

<sup>4</sup> <http://www.wikipedia.org>

<sup>5</sup> CENAPRED, et. al. Op. Cit., 2006.



Figura 1. 2 Tipos de Deslizamiento (CENAPRED, et.al. Fenómenos Geológicos, 2006)

### **Hundimiento:**

Es un movimiento vertical descendente de roca, suelo o material no consolidado por acción y efecto de la gravedad. Representa aquellas zonas donde ha ocurrido colapso por gravedad, disolución y derrumbes de techos de cavernas naturales o hechas por el hombre.

También comprende los hundimientos menores debido a compactación del terreno o por reacomodo del suelo por sobre extracción de aguas subterráneas.<sup>6</sup>



Figura 1. 3 Hundimiento (<http://www.geoburgg.com>)

#### **1.1.3. Prevención**

Es la capacidad de poder anticiparse a las causas que puedan producir un daño en la población realizando acciones que eviten dichas causas.

Para poder disponer de un sistema eficiente de prevención contra daños causados por fenómenos hidrometeorológicos extremos, comúnmente llamados catástrofes naturales, es necesario crear, tanto en el gobierno central, como en la población en general, la conciencia de la necesidad de un sistema de predicción y previsión de catástrofes naturales.<sup>7</sup>

<sup>6</sup> Consejo de Recursos Minerales, et. al. Op. Cit., 2004.

<sup>7</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Prevención\\_\(fenómenos\\_naturales\\_extremos\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Prevención_(fenómenos_naturales_extremos))

### 1.1.4 CICLO DE PREVENCIÓN

**Identificación de riesgos:** conocer los peligros y amenazas a los que se está expuesto; estudiar y conocer los fenómenos perturbadores identificando dónde, cuándo y cómo afectan. Identificar y establecer, a distintos niveles de escala y detalle, las características y niveles actuales de riesgo, entendiendo el riesgo como la probabilidad de que ocurra un peligro y estamos conscientes de que ocurra.

**Mitigación y prevención:** consiste en diseñar acciones y programas para mitigar y reducir el impacto de los desastres antes de que estos ocurran.

Incluye la implementación de medidas para reducir la vulnerabilidad o la intensidad con la que impacta un fenómeno: planeación del uso de suelo, aplicación de códigos de construcción, obras de protección, educación y capacitación a la población, elaboración de planes operativos de protección civil y manuales de procedimientos, implementación de sistemas de monitoreo y de alerta temprana y preparación para la atención de emergencias.

**Atención de emergencias:** se refiere a las acciones que deben tomarse inmediatamente durante y después de un desastre con el fin de minimizar la pérdida de vidas humanas, sus bienes y la planta productiva, así como preservar los servicios públicos y el medio ambiente, sin olvidar la atención prioritaria y apoyo a los damnificados.

**Recuperación y reconstrucción:** acciones orientadas al restablecimiento y vuelta a la normalidad del sistema afectado. Esta etapa incluye la reconstrucción y mejoramiento de infraestructura y servicios dañados o destruidos.

**Evaluación del impacto e incorporación de la experiencia:** consiste en valorar el impacto económico y social, incluyendo daños directos e indirectos. Tiene entre otras ventajas: determinar la capacidad del gobierno para enfrentar las tareas de reconstrucción, retroalimentar el diagnóstico de riesgos con información de las regiones más vulnerables y de mayor impacto histórico y calcular la relación costo – beneficio de inversión en acciones de mitigación.

La experiencia adquirida en las etapas anteriores del ciclo de la prevención debe incorporarse para redefinir políticas de planeación, mitigación y reducción de vulnerabilidades, y evitar la reconstrucción del riesgo; es decir, que un mismo fenómeno vuelva a impactar en el futuro de manera semejante.<sup>8</sup>

---

<sup>8</sup> CENAPRED, et. al., Op. Cit., 2006.



## 1.2. Geología y Geotecnia

De acuerdo a los conocimientos adquiridos podemos definir a la Geología como una ciencia que se encarga del estudio de los diferentes componentes físicos del planeta Tierra así como la evolución que ha tenido desde su formación hace millones de años.

En cuanto a la Geotecnia se puede decir que es la rama de la Ingeniería que está compuesta por tres disciplinas: Mecánica de Suelos, Mecánica de Rocas y Geología Aplicada y se encarga de estudiar las propiedades mecánicas tanto de los suelos, como de los diferentes macizos rocosos que existen en nuestro planeta.

### 1.2.1. Estructuras Geológicas

Las estructuras geológicas están relacionadas con todos los accidentes tectónicos de la masa rocosa, éstas son formadas por movimientos verticales y horizontales en las placas tectónicas. La estructura geológica es determinante en el desarrollo del relieve. Las formas topográficas son su manifestación directa de las estructuras geológicas presentes.<sup>9</sup> Aquí mencionaremos las más comunes.

### 1.2.2. Fallas



Son fracturas en las cuales el movimiento de las rocas ha sido por ambos lados de ellas.

Una falla es un rasgo planar. La rotura o fractura se llama plano de falla y su actitud puede ser determinada y registrada en un mapa por medio del rumbo y el echado.

Las fallas se encuentran en cualquier tipo de roca. Las rocas de los bloques de la falla pueden ser desplazadas centímetros o incluso kilómetros.

Figura 1. 4 Falla de San Andrés (<http://viveconmas.wordpress.com>)

---

<sup>9</sup> <http://www.buenastareas.com/ensayos/Estructuras-Geologicas/332331.html>

Dentro de las fallas existen tres tipos: Fallas normales, Fallas inversas y las Fallas por empuje. Los nombres se basan en el desplazamiento relativo de los bloques con respecto al plano de falla.<sup>10</sup>

- **Falla por empuje:** este tipo de falla se da cuando la compresión dominante está en una posición horizontal y la carga vertical es más pequeña; por lo tanto las fracturas formadas por el esfuerzo cortante se intersecan y forman un ángulo que mira hacia el esfuerzo principal máximo.<sup>11</sup>
- **Falla Normal:** es aquella en que el alto de la falla se ha movido hacia abajo con respecto al bajo de la falla.
- **Falla Inversa:** es aquella donde el alto de la falla se ha movido hacia arriba con respecto al bajo de la falla.<sup>12</sup>

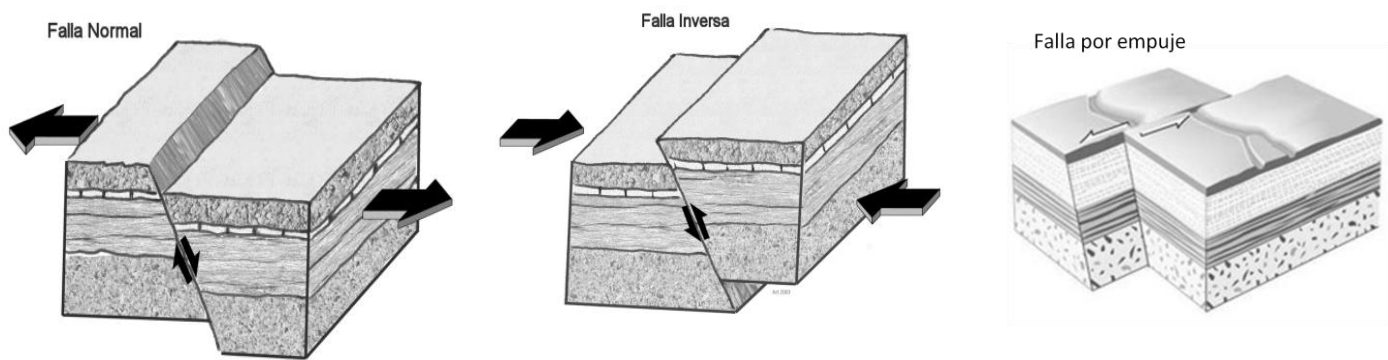


Figura 1. 5 Falla Normal, Falla Inversa y Falla por empuje (<http://elprofedenaturales.wordpress.com>)

### Componentes de una Falla:

Las componentes de una falla son: Deslizamiento lateral, Deslizamiento al rumbo y Salto de Falla.

- El espacio vertical que se genera después de producida la falla se llama salto de falla.<sup>13</sup>

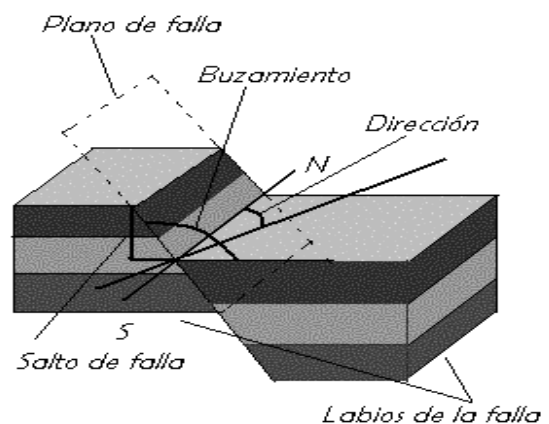


Figura 1. 6 Componentes de una falla (<http://elprofedenaturales.wordpress.com>)

<sup>10</sup> Comunicación Personal con Ing. Luis del Bosque. "Apuntes de Mecánica de Rocas", México, 2010.

<sup>11</sup> Blyth, F. G. H. "Geología para ingenieros", Compañía Editorial Continental, México, Segunda Reimpresión, 1995.

<sup>12</sup> Comunicación Personal con Ing. Luis del Bosque. "Apuntes de Mecánica de Rocas", México, 2010.

<sup>13</sup> Blyth, Op. Cit.

- **Deslizamiento Lateral:** se mide en un plano vertical perpendicular al plano de falla.
- **Deslizamiento al rumbo:** se mide paralelamente al rumbo del plano de falla.<sup>14</sup>

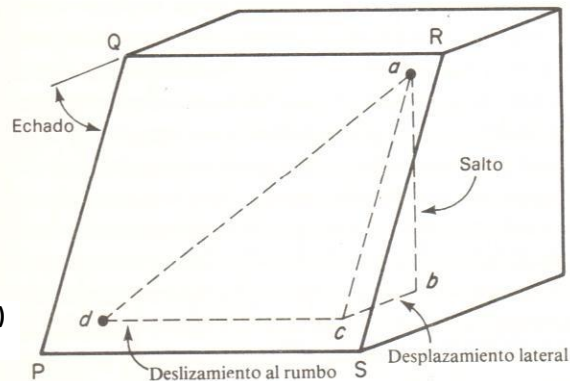


Figura 1. 7 Deslizamientos Lateral y al Rumbo de una Falla (Blyth, 1995.)

### 1.2.3. Fracturas

Las diaclasas son fracturas en las rocas que no van acompañadas de deslizamiento de bloques, debido a esto son más abundantes que las fallas.

#### Características de las fracturas:

**Dirección:** es el ángulo que forma una línea horizontal contenida en el plano de la diaclasa con el eje norte – sur

**Buzamiento (echado):** es el ángulo formado por la diaclasa y un plano horizontal imaginario



Las fracturas no suelen aparecer aisladas, sino asociadas a fallas y a pliegues. Cuando existen dos o más conjuntos de fracturas, se habla de un sistema de fracturas:<sup>15</sup>

Figura 1. 8 Sistema de Fracturas (<http://leandro-geomorfologia.blogspot.com>)

<sup>14</sup> Blyth, Op. Cit.

<sup>15</sup> Comunicación Personal con Ing. Luis del Bosque. "Apuntes de Mecánica de Rocas", México, 2010.

**Sistema de fracturas paralelas:** todas las fracturas tienen igual dirección y buzamiento.

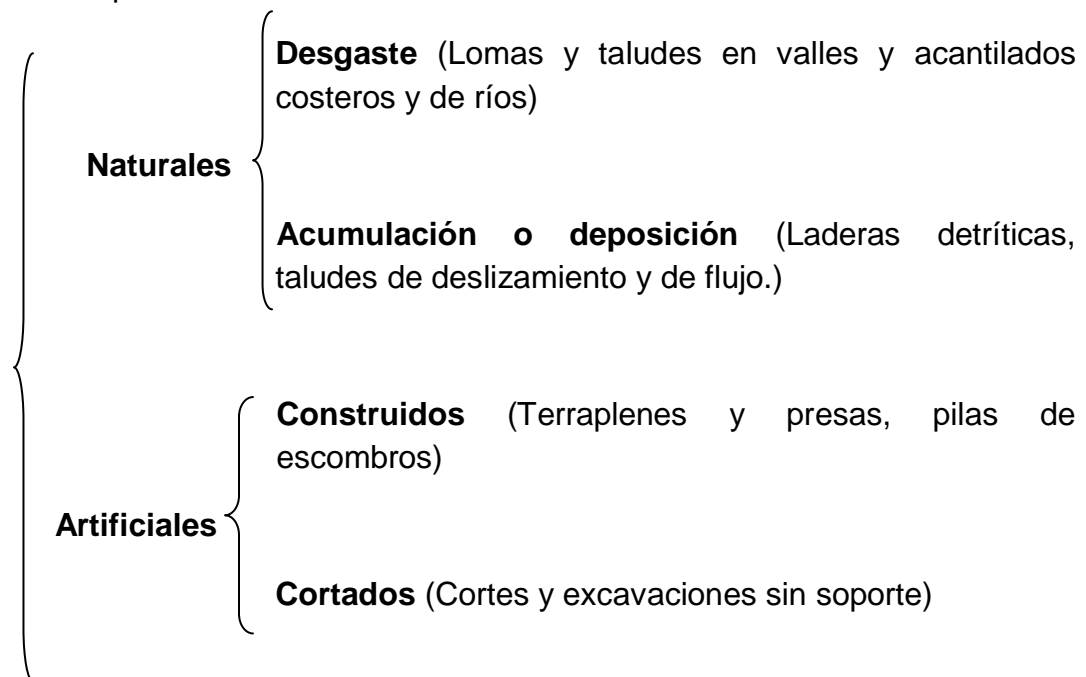
**Sistema de fracturas que se cortan:** las fracturas tienen distintas direcciones y buzamientos y, por lo tanto, se cortan en determinados puntos.<sup>16</sup>

#### 1.2.4. Taludes

Un talud está definido como cualquier superficie inclinada respecto a la horizontal que adopte permanentemente una estructura de tierra, sea natural o consecuencia de la intervención humana en una obra de ingeniería.

Un talud se puede construir con la pendiente más elevada que permite la resistencia del terreno manteniendo condiciones aceptables de estabilidad; por ello es muy importante revisar y analizar la estabilidad de un talud, ya que de ello depende la seguridad de la población que esté en contacto con él.<sup>17</sup>

Los taludes se pueden dividir en:<sup>18</sup>



<sup>16</sup> Comunicación Personal con Ing. Luis del Bosque. "Apuntes de Mecánica de Rocas", México, 2010.

<sup>17</sup> González de Vallejo, Luis I. et.al. "Ingeniería Geotécnica", Pearson, Madrid, 2002.

<sup>18</sup> Whitlow, R. "Fundamentos de Mecánica de Suelos". Compañía Editorial Continental, México, 1994.

Las partes de las que consta un talud son las siguientes:

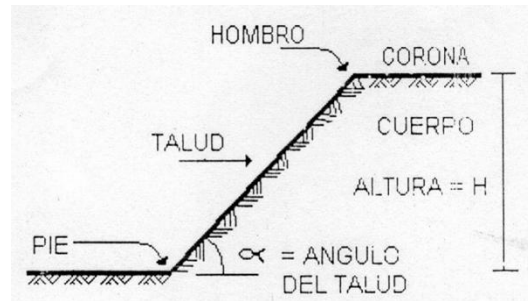


Figura 1. 9 Partes de un Talud (Chávez Aguirre, 2006)

Tipos de Fallas en taludes:

- Fallas por deslizamiento superficial: las fuerzas naturales que existen cerca de la superficie inclinada del talud hacen que las partículas se deslicen en proporciones más grandes de terreno debido a la falta de presión normal confinante.
- Falla por deslizamiento en laderas naturales sobre superficies de falla preexistentes: esta falla se da porque en las laderas naturales existen materiales que se encuentran en movimiento hacia abajo por un proceso de deformación bajo esfuerzo cortante en partes más profundas y que llega en muchas ocasiones a producir una verdadera superficie de falla.
- Falla por movimiento del cuerpo de talud:
  - Falla por rotación; se define una superficie de falla curva o una superficie de deslizamiento a lo largo de la cual ocurre el movimiento del talud.
  - Falla por traslación: son las fallas que ocurren a lo largo de superficies débiles, asimilables a un plano en el cuerpo del talud o en su terreno de cimentación; estos planos débiles suelen ser horizontales o muy poco inclinados respecto a la horizontal.<sup>19</sup>

Existen diversos factores que influyen en la estabilidad de taludes; entre los cuales podemos definir:

- ❖ Factores Geométricos: altura e inclinación
- ❖ Factores Geológicos: condicionan la presencia de discontinuidades, zonas de debilidad y anisotropía en el talud.
- ❖ Factores Hidrogeológicos: presencia de agua.
- ❖ Factores Geotécnicos: resistencia y deformabilidad.

<sup>19</sup> Chávez Aguirre, José María. "Geotecnia", CFE, México, 2006.

Los factores geológicos, hidrogeológicos y geotécnicos se consideran factores condicionantes, y son intrínsecos a los materiales naturales. En los suelos, la litología, estratigrafía, y las condiciones hidrogeológicas determinan las propiedades resistentes y el comportamiento del talud. En el caso de los macizos rocosos competentes, el principal factor condicionante es la estructura geológica, la disposición y frecuencia de las superficies de discontinuidad y el grado de fracturación.

Los factores desencadenantes provocan la rotura una vez que se cumplen una serie de condiciones; son factores externos que actúan sobre los suelos o macizos rocosos, modificando sus características y propiedades y las condiciones de equilibrio del talud.<sup>20</sup>

Es importante poner atención en cada uno de estos factores, ya que ellos nos guiarán al correcto desempeño del talud, así como la prevención y/o corrección de alguna deficiencia que llegase a tener en la estabilidad; además en caso de requerirlo, nos llevará al diseño y las medidas de seguridad que tomaremos para corregir cualquier defecto.

### **1.3 Protección Civil e Instituciones afines**

#### **PROTECCIÓN CIVIL**

##### **DEFINICIÓN:**

Es un conjunto orgánico y articulado de estructuras, relaciones funcionales, métodos y procedimientos que establecen las dependencias y entidades del sector público entre sí, con las organizaciones de los diversos grupos voluntarios, sociales, privados y con las autoridades de los estados, el Distrito Federal y los municipios, a fin de efectuar acciones coordinadas, destinadas a la protección contra los peligros que se presenten y a la recuperación de la población, en la eventualidad de un desastre.

En una situación de emergencia, el auxilio a la población debe constituirse en una función prioritaria de la protección civil, por lo que las instancias de coordinación deberán actuar en forma conjunta y ordenada.

---

<sup>20</sup> González de Vallejo, et.al. Op. Cit. 2002.

Con la finalidad de iniciar las actividades de auxilio en caso de emergencia, la primera autoridad que tome conocimiento de ésta, deberá proceder a la inmediata prestación de ayuda e informar tan pronto como sea posible a las instancias especializadas.

La primera instancia de actuación especializada, corresponde a la autoridad municipal o delegacional que conozca de la situación de emergencia. En caso de que ésta supere su capacidad de respuesta, acudirá a la instancia estatal correspondiente.

Si ésta resulta insuficiente, se procederá a informar a las instancias federales correspondientes, quienes actuarán de acuerdo con los programas establecidos al efecto.<sup>21</sup>

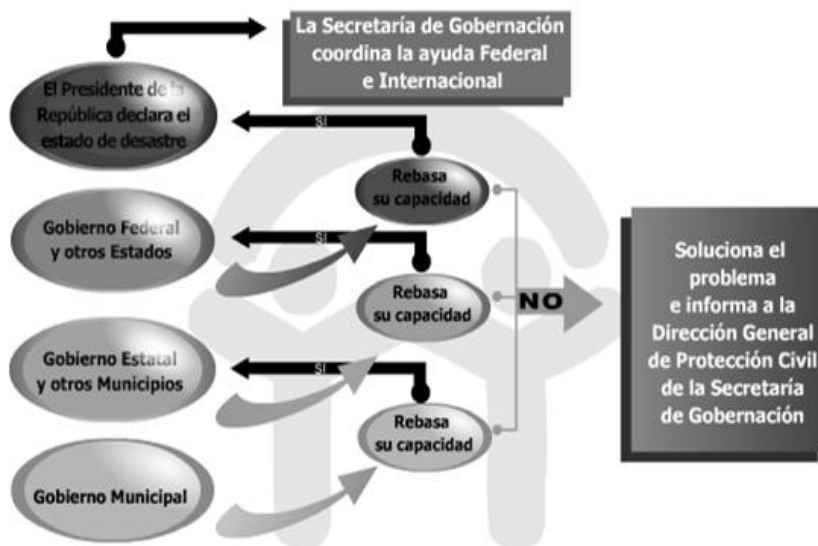


Figura 1.10 Funcionamiento del Sistema Nacional de Protección Civil (<http://www.proteccioncivil.gob.mx>)

<sup>21</sup> <http://www.proteccioncivil.gob.mx>

### 1.3.1 INEGI

El 25 de enero de 1983 se creó, por decreto presidencial, el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), que integró en su estructura a:

- La Dirección General de Estadística, en funciones desde 1882, cuando pertenecía a la Secretaría de Fomento, Colonización, Industria y Comercio.
- La Dirección General de Geografía, establecida en 1968 y que estaba adscrita a la Secretaría de la Presidencia.
- La Dirección General de Política Informática.
- La Dirección General de Integración y Análisis de la Información.

Con su creación, el INEGI modernizó la valiosa tradición que tenía nuestro país en materia de captación, procesamiento y difusión de información acerca del territorio, la población y la economía. Conjuntó en una sola institución la responsabilidad de generar la información estadística y geográfica.

El objetivo prioritario del INEGI es lograr que el Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica (SNIEG) suministre a la sociedad y al Estado información de calidad, pertinente, veraz y oportuna, a efecto de coadyuvar al desarrollo nacional, bajo los principios de accesibilidad, transparencia, objetividad e independencia.<sup>22</sup>

#### **Generador de información geográfica**

Para conocer nuestro territorio, el Instituto elabora información geográfica del relieve, la vegetación, clima, suelo, agua y localidades, entre otros temas. Ésta la presenta mediante cartas impresas y cartografía digital. La información sobre las características del territorio y medio ambiente que ofrece en cartas impresas y archivos digitales son:

**1. Geodesia.** Conjunto de datos obtenidos en todo el territorio nacional que permiten relacionarlo a un sistema de referencia con el fin de determinar la forma, extensión y dimensiones nacionales. Sirve de marco de referencia de los productos cartográficos del país y es la base que permite a la fotogrametría escalar, orientar y referenciar los rasgos plasmados en las fotografías aéreas.

---

<sup>22</sup> <http://www.inegi.gob.mx>



**2. Topografía.** Información sobre la ubicación, forma y dimensiones de los rasgos naturales y las obras hechas por el hombre, esto es, del relieve, corrientes y cuerpos de agua, localidades y vías de comunicación, entre otros.

**3. Toponimia** Son los nombres geográficos del país que permiten ubicar administrativa y geográficamente los lugares; tienen referencia en la cartografía topográfica.

**4. Recursos Naturales.** Datos sobre la distribución y características de la vegetación, los tipos de suelos, el agua superficial y subterránea, las rocas y el clima.

**5. Cartografía urbana.** Es la representación gráfica de todas las localidades con más de 2 500 habitantes, además de las cabeceras municipales existentes en el país, al momento de la realización de los diferentes eventos censales. Contiene nombres de calles y ubicación de los principales servicios. Se cuenta con información desde 1990.

**6. Marco Geoestadístico.** Se utiliza para referenciar geográficamente la información estadística de los censos. Asimismo, proporciona la ubicación de localidades, municipios y entidades del país, utilizando coordenadas geográficas.

**7. Catastro.** Registro de las características de los predios a través de datos homogéneos, estructurados, organizados y relacionados, cuyo propósito final es la integración de una base cartográfica catastral nacional. El Instituto apoya la organización de los catastros del país en los distintos órdenes de gobierno y colabora en la expedición de las normas técnicas en esta materia.

- **Fotografía aérea.** El INEGI cuenta con un acervo de fotografías analógicas a diferentes escalas de vuelos regulares, y especiales en áreas de desastres, del cual ofrece el servicio de reproducción. Se tiene disponible un acervo de imágenes de todo el país de 1970 a la fecha.
- **Ortofotos digitales.** Imágenes derivadas de las fotografías aéreas a las que se eliminan las deformaciones causadas por la óptica de la cámara y el desplazamiento del relieve; cuenta, además, con referencia geográfica. Estas dos características hacen posible ubicar posiciones y áreas de los rasgos geográficos y determinar distancias.

- **Derivados de vuelos LIDAR (*Light Detection and Ranging*).** Sistema de detección y medición a través de luz láser. El INEGI ofrece la nube de puntos, malla con 5 y 15 metros de resolución de los modelos de superficie y de terreno.
- **Imágenes de satélite.** El INEGI procesa estas imágenes, las cuales, de acuerdo a la normatividad vigente, sólo se distribuyen a instituciones del sector público.<sup>23</sup>

### 1.3.2 INSTITUTO DE GEOLOGÍA

En el Departamento de Geología Regional, del Instituto de Geología, UNAM, las actividades de investigación están, principalmente, dirigidas al estudio de la geología de México y los procesos endógenos y exógenos que le dieron origen, sus peculiaridades y sus recursos geológico-económicos, así como aspectos relacionados con las aguas subterráneas, los recursos energéticos y el medio ambiente.

Con estas investigaciones se pretende reconstruir la historia natural del territorio nacional, desde su formación en el Precámbrico hasta el presente, con el fin de explicar el comportamiento actual de sus sistemas geológicos, y guiar científicamente la búsqueda de las riquezas del subsuelo y las medidas de protección contra los fenómenos geológicos destructivos.<sup>24</sup>

### 1.3.3 CENAPRED

La responsabilidad principal del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) consiste en apoyar al Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC) en los requerimientos técnicos que su operación demanda.

Realiza actividades de investigación, capacitación, instrumentación y difusión acerca de fenómenos naturales y antropogénicos que pueden originar situaciones de desastre, así como acciones para reducir y mitigar los efectos negativos de tales fenómenos, para coadyuvar a una mejor preparación de la población para enfrentarlos.

---

<sup>23</sup> <http://www.inegi.gob.mx>

<sup>24</sup> <http://www.geologia.unam.mx>

## **Misión**

Prevenir, alertar y fomentar la cultura de autoprotección para reducir el riesgo de la población ante fenómenos naturales y antropogénicos que amenacen sus vidas, bienes y entorno a través de la investigación, monitoreo, capacitación y difusión.

## **Visión**

Ser un centro de excelencia en la prevención de desastres, que contribuya al desarrollo sustentable, orientando sus esfuerzos hacia una sociedad menos vulnerable y un país más seguro frente a fenómenos naturales y antropogénicos.

## **Actividades**

- La mejor comprensión de manifestaciones tales como terremotos, huracanes, erupciones volcánicas o accidentes industriales, que pueden afectar a grandes sectores de la sociedad, permite diseñar mecanismos y metodologías para minimizar su impacto.
- Estos mecanismos y metodologías pueden condensarse en dos grandes categorías: la previsión del fenómeno y la reducción de sus efectos.
- En los programas de investigación de la Dirección se analizan los principales factores del riesgo: la amenaza que representa cada fenómeno, la probabilidad de su ocurrencia, la vulnerabilidad de la sociedad ante aquél y el grado de exposición ante los fenómenos.
- Durante el año 2002 se iniciaron algunos proyectos y procesos de investigación y desarrollo tecnológico incluidos en el Programa Especial de Prevención y Mitigación del Riesgo de Desastres en México 2001-2006 (PEPyM). En este año, la participación de la Dirección de Investigación fue como ejecutor de proyectos. En la medida en que los recursos fiscales para la prevención sean mayores, se podrán iniciar aquellos proyectos en los cuales el CENAPRED funge como asesor o coordinador.<sup>25</sup>

---

<sup>25</sup> <http://www.cenapred.gob.mx>

# CAPÍTULO II: Antecedentes en Atizapán de Zaragoza

**Objetivo Particular:** Conocer cuáles son las condiciones generales y actuales del Municipio de Atizapán, así como sus zonas de mayor riesgo.

## Capítulo II. Antecedentes en Atizapán de Zaragoza

### 2.1 Localización del Municipio

El municipio de Atizapán de Zaragoza está ubicado al Norponiente de la Ciudad de México; es uno de los 125 municipios que conforman el Estado de México y representa el 0.4 % del mismo.

Su nombre oficial es Atizapán de Zaragoza y su cabecera municipal es Ciudad Adolfo López Mateos, cuenta con una superficie de 97.64 km<sup>2</sup>. En lo que respecta a la superficie urbana del municipio de Atizapán, hacia el año 2000, ésta comprendía una superficie total de 5,284.14 hectáreas y una altitud de 2,280 msnm.

Atizapán de Zaragoza se localiza al noreste de Toluca, la capital del estado, entre los paralelos 19° 30' 55" y 19° 36' 43" de latitud norte y los meridianos 99° 12' 32" y 99° 21' 15" de longitud oeste respecto del Meridiano de Greenwich. Limita al Norte con los municipios de Nicolás Romero y Cuautitlán Izcalli; al Sur con Jilotzingo y Naucalpan; al Oeste con Isidro Fabela y al Este con Tlalnepantla de Baz.<sup>26</sup>

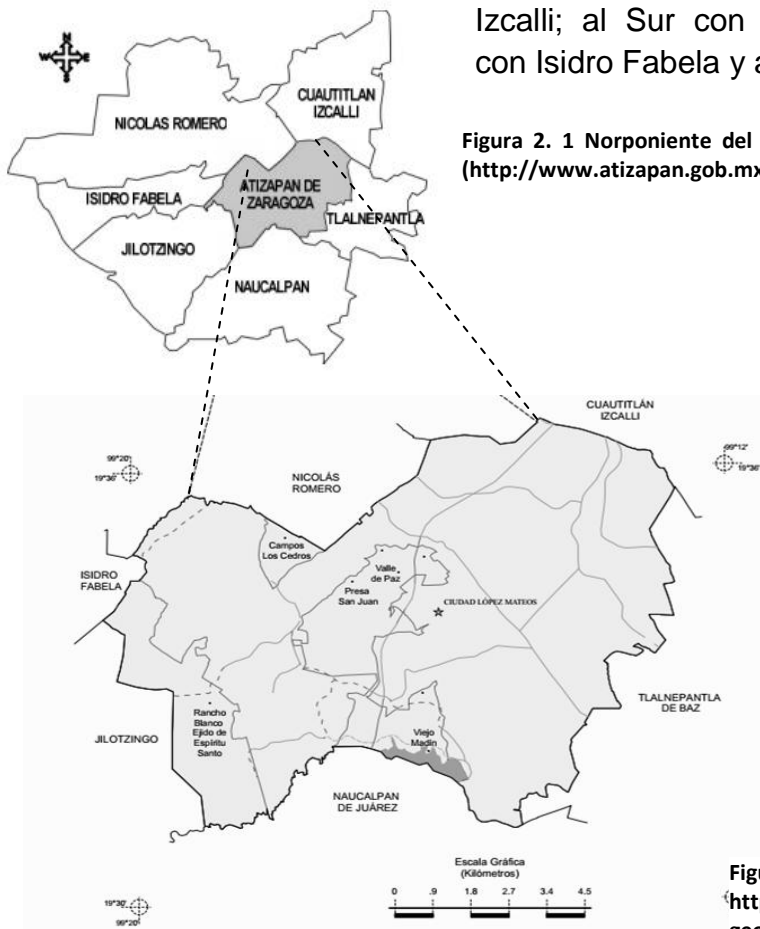


Figura 2. 1 Norponiente del Estado de México. (<http://www.atizapan.gob.mx/historia.htm>)

Figura 2. 2 Municipio de Atizapán de Zaragoza. (Modificado de <http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/15/15013>)

<sup>26</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Atizapan\\_de\\_Zaragoza](http://es.wikipedia.org/wiki/Atizapan_de_Zaragoza)

## 2.2 Condiciones Geográficas del municipio de Atizapán de Zaragoza

Dentro del Municipio de Atizapán de Zaragoza predomina el clima templado – subhúmedo, cuenta con una temperatura promedio que oscila entre 12 °C alcanzada en el período de invierno y una máxima de 18 °C alcanzada en verano.

En cuanto a la precipitación promedio, ésta se establece entre 600 y 800 mm anuales.

La distribución de la precipitación, que se muestra en la siguiente gráfica, se observa que las lluvias significativas se concentran entre los meses de junio a septiembre; que por el volumen de precipitación presentado, existe el riesgo de posibles inundaciones en las partes bajas del municipio.<sup>27</sup>

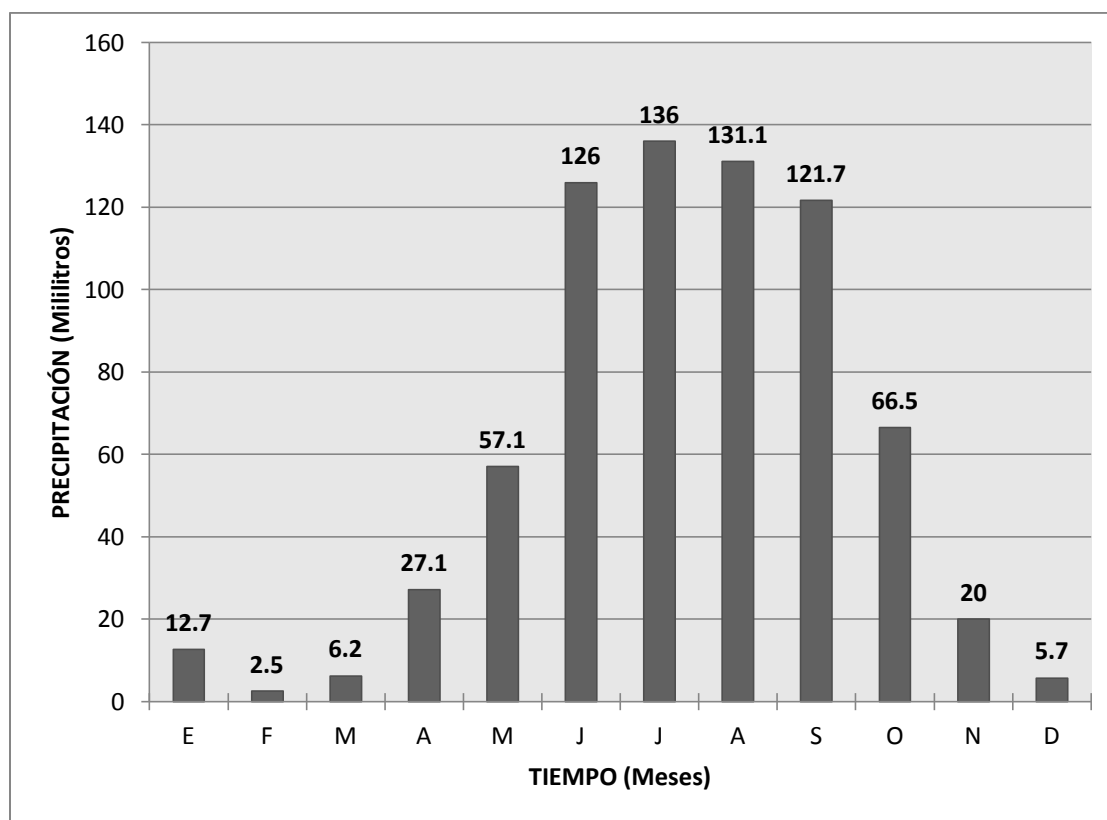


Figura 2. 3 Precipitación total promedio en el municipio. (seduv.edomexico.gob.mx, 2006)

<sup>27</sup> H. Ayuntamiento de Atizapán de Zaragoza, "Plan de desarrollo Urbano de Atizapán de Zaragoza", (seduv.edomexico.gob.mx) 2006

Su población según datos del INEGI del año 2005 es de 472,526 habitantes. El municipio forma parte de la Región Hidrológica número 26 denominada Alto Panuco, en la subregión del río Moctezuma, dentro de las subcuencas de los lagos de Texcoco y Zumpango, así como en la subregión del río Cuautitlán.

- Subcuenca río Cuautitlán: Se localiza parcialmente al oeste de la cabecera municipal, en la zona colindante con Jilotzingo e Isidro Fabela, mientras que otra parte se localiza en la porción norte del municipio, en los límites con Cuautitlán Izcalli.

El porcentaje de escurrimiento es del orden del 5% del volumen total precipitado en el municipio.

Los arroyos más importantes de esta subcuenca son en la porción oeste el Xhinté y La Bolsa; mientras que en el norte se localizan los arroyos el Hueso, el Tejocote y el Jarillal.

- Subcuenca río de los Remedios (DP): Comprende la cabecera municipal, así como la parte sur, norte y parte del lado oeste del municipio. El porcentaje de escurrimiento captado comprende aproximadamente el 15%. Los principales ríos que la cruzan son San Javier y Tlalnepantla, así como los arroyos La Frontera, La Herradura y los Burros. Al sur del municipio se ubican los arroyos San Juan, la Colmena y el Sifón, mismos que descargan en la presa Madín.

En cuanto a los cuerpos de agua, en el municipio existen dos embalses, el primero es la presa Madín, con una capacidad de almacenamiento de 16.6 millones de metros cúbicos. El segundo es la presa San Juan, misma que no almacena agua aunque funciona como reguladora de los escurrimientos de la zona.<sup>28</sup>

---

<sup>28</sup> H. Ayuntamiento de Atizapán de Zaragoza, "Plan de desarrollo Urbano de Atizapán de Zaragoza", (seduv.edomexico.gob.mx) 2006.

### 2.3 Condiciones Geológicas del municipio de Atizapán de Zaragoza

En este subtema mencionaremos las condiciones Geológicas tanto del Norponiente del Valle de México como las condiciones específicas del Municipio de Atizapán de Zaragoza.

En una descripción de la Geología de la Cuenca de México se mencionan las unidades litológicas que afloran al norponiente del Valle de México, compuestas principalmente por rocas volcánicas y piroclásticas. La secuencia inicia con rocas extrusivas del Mioceno Medio y Tardío (Tmv).

En el Norponiente afloran en las bases de las sierras de Guadalupe y Las Cruces y se encuentran ampliamente distribuidas más al norte, en la base de la Sierra Tepetzotlán. Estas rocas están constituidas por secuencias de tobas, brechas volcánicas y lavas. Estas últimas son andesitas de lamprobolita o de augita, andesitas de hiperstena y dacitas; las tobas son cristalinas andesíticas.

Sobre la secuencia del Tmv, descansa un conjunto de rocas extrusivas que representan un segundo periodo magmático del Cinturón Volcánico Transmexicano al cual se ha denominado Depósito Volcánico del Plioceno Temprano (Tpv). Estas rocas localmente afloran en los flancos de la Sierra Las Cruces, Zempoala y Río Frío, y en cerros aislados en el resto de la Cuenca; también coronan las Sierras de Guadalupe y Tepetzotlán. Los afloramientos exponen espesores de 650 m.

La Formación las Cruces fue interpretada como Formación Tarango. En el Norponiente del Valle de México se encuentran sus afloramientos a lo largo de la carretera Naucalpan-Jiquipilco, en las afueras de San Mateo Nopala y en la carretera Naucalpan-Cuajimalpa. Está constituida por depósitos piroclásticos como pómez y pliniana y secuencias de “surges”, planares o masivos, cristalinos, vítreos y en ocasiones con pómez. Estos flujos piroclásticos están cubiertos a su vez por cenizas vítreas. Existen lavas andesíticas y dacíticas intercaladas con brechas en las partes altas de la Sierra de las Cruces. El espesor de esta formación se estima en 990m.

Los abanicos aluviales de la Sierra de las Cruces están compuestos por la acumulación de los materiales piroclásticos que se depositaron a los pies de los distintos aparatos volcánicos durante la vida explosiva de estos, entre 5 y 10 millones de años antes del presente.<sup>29</sup>

---

<sup>29</sup> Chávez Aguirre José María. “Atlas Multidisciplinario y de Riesgo geotécnico de la Zona Conurbada al Norponiente del valle de México”, Academia de Ingeniería, 2008.



La Formación Tarango representa un conjunto estratificado a veces regular, a veces irregular y hasta lenticular, ligeramente inclinado 4°, compuesto de los seis elementos litológicos siguientes:

- ❖ Tobas resultado de horizontes de cenizas volcánicas de muy distintas granulometrías.
- ❖ Capas de erupciones pumíticas
- ❖ Lahares
- ❖ Ignimbritas
- ❖ Depósitos fluviales
- ❖ Suelo Vegetal.

Todos los elementos son producto de erupciones por lo general violentas, emitidas por las chimeneas de grandes volcanes andesíticos estratificados.<sup>30</sup>

La Formación Tarango se compone de la superposición de varios abanicos volcánicos, que alcanzan espesores de 300 a 400m. Por lo general cada abanico corresponde a la vida activa de un volcán.

Los depósitos de la Formación Tarango se generaron en el Plioceno y hacia fines de éste se formaron en las barrancas de las Lomas, gruesos depósitos fluviales correlacionables con la Formación Clástica Aluvial del relleno de la Cuenca de México.

Las formaciones de la Zona de Lomas del Valle de México son de origen fluvial y volcánico, se encuentran dispuestas según una secuencia ordenada de acuerdo a su edad:

En la superficie se encuentran los suelos orgánicos Totolsingo, que en general son de espesor reducido de 1 a 2 m; enseguida se presentan los suelos Becerra y Tacubaya, estratificados y con vetas de caliche en la parte superior; subyacen boleos y gravas de forma redondeada a subredondeada, embebidos en una matriz arenosa, comúnmente denominada Serie Clástica Fluvial y Aluvial del Pleistoceno, por último aparecen las tobas y depósitos piroclásticos de la Formación Tarango, intercaladas con capas de pómez producto de erupciones violentas, con distintos grados de intemperismo y zeolitización.

Las lluvias frecuentes intensas en el Cuaternario, erosionaron en forma notable los suelos superiores (Tacubaya y Becerra) y de la Serie Clástica Fluvial y Aluvial, llegando incluso a su total eliminación en amplias áreas.

---

<sup>30</sup> Chávez Aguirre (2008) Op. Cit.

La estratigrafía identificada y clasificada según los depósitos granulares susceptibles de explotación minera, tiene una gran utilidad, toda vez que las cavidades o laboreos mineros están restringidos a tales depósitos, además de que las fuentes de materiales con propiedades puzolánicas también se ubican dentro de estos horizontes, mismos que se pueden diferenciar y agrupar de la siguiente manera:

- ❖ Horizonte Granular Superior: El correspondiente a las gravas y boleos de la Serie Clástica Fluvial, que en áreas reducidas de algunos coronamientos de los lomeríos se detectan con espesores de 3 a 5 metros.
- ❖ Horizonte Granular Intermedio: corresponde a los mantos pumíticos de pequeño espesor, en general no mayor de 1 a 2 metros, que en número de hasta 3 se intercalan con notable continuidad en las tobas. En este horizonte se encuentran los principales bancos de tobas, materiales con características puzolánicas, sobre todo si han sido zeolitizados. Estos horizontes son el resultado de las erupciones violentas del Plioceno.
- ❖ Horizonte Granular Inferior: Corresponde a las gravas y arenas andesíticas, rojizas y azules, dispuestas en depósitos de gran espesor y continuidad, que comúnmente afloran en el fondo de las barrancas. Estos horizontes son el resultado de los grandes lahares del Plioceno.<sup>31</sup>

En la siguiente imagen se muestra la geología superficial del Municipio de Atizapán de Zaragoza:

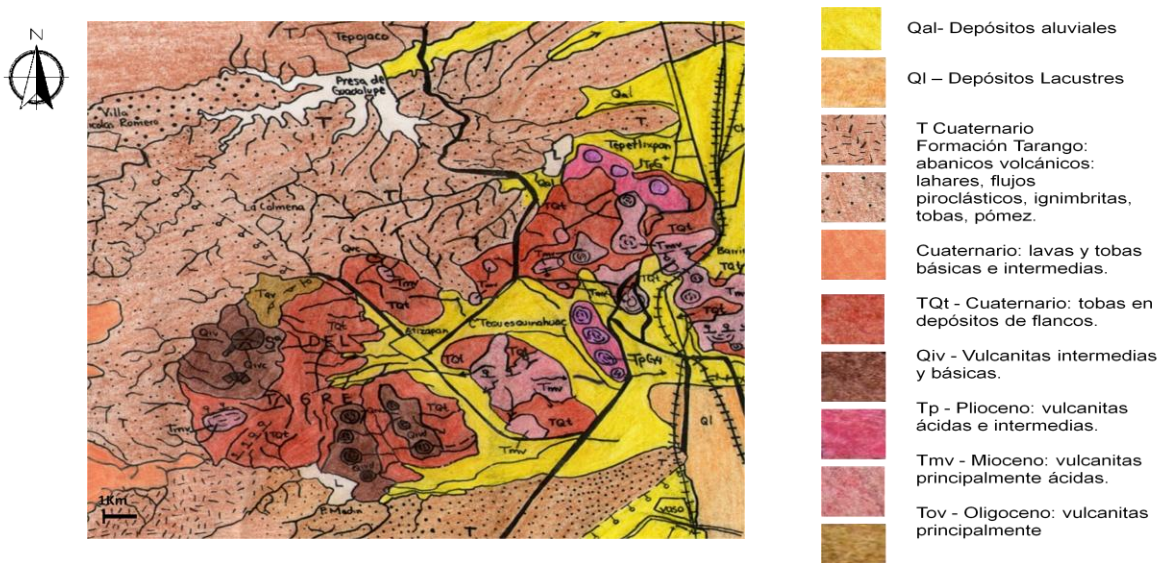


Figura 2. 4 Geología del Municipio de Atizapán de Zaragoza y sus alrededores. (Modificado de: Moser, et. al., 1996)

<sup>31</sup> Chávez Aguirre (2008) Op. Cit.

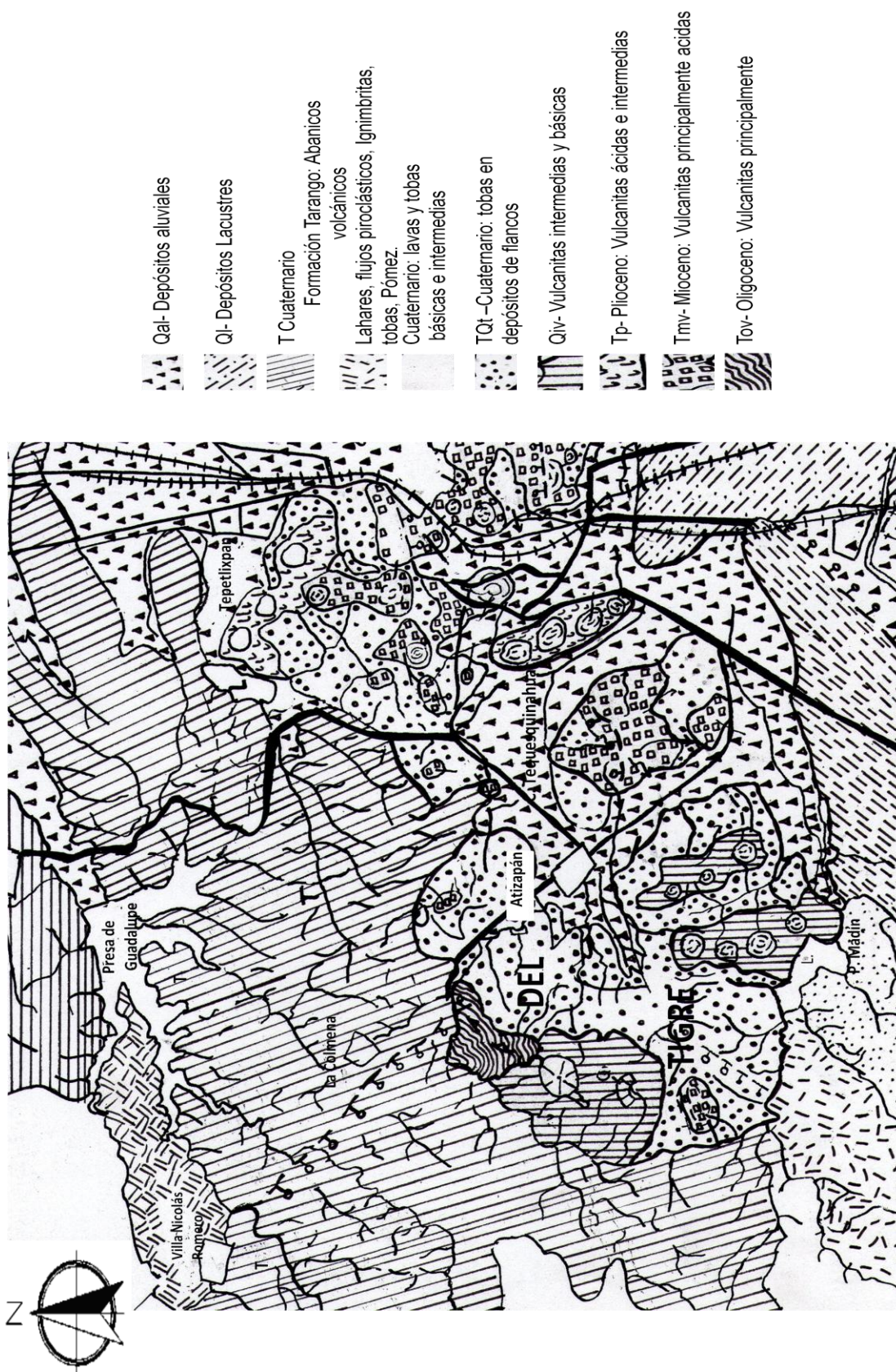


Figura 2. 5 Geología del Municipio de Atizapán de Zaragoza y sus alrededores. (Modificado de: Moser, et. al., 1996)

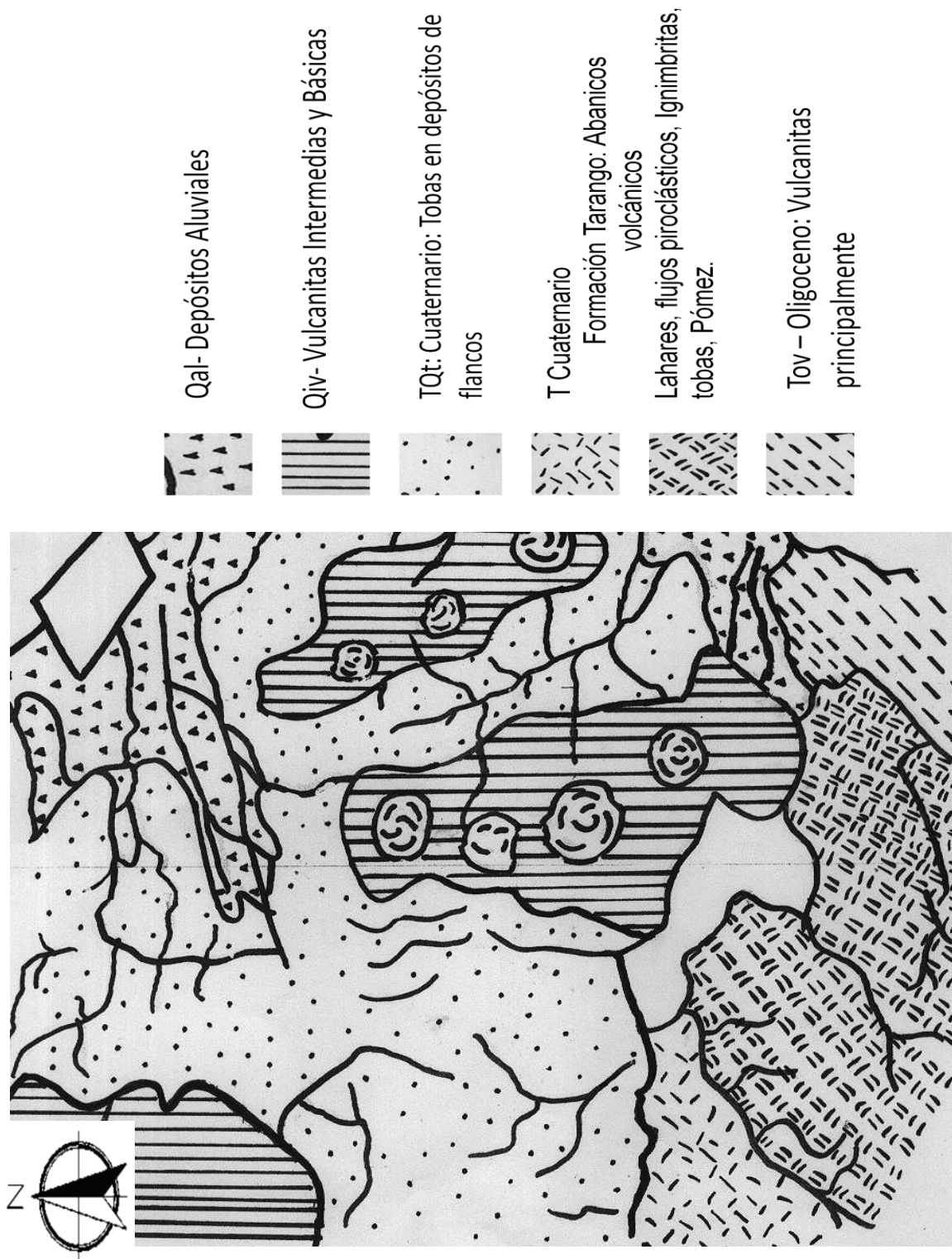


Figura 2. 6 Geología del área de la Presa Madín. (Modificado de: Moser, et. al., 1996)

## 2.4 Riesgos en el Municipio de Atizapán de Zaragoza

Este municipio está expuesto a los fenómenos de tipo geológico (minas, sismicidad, agrietamiento de suelos, colapsos, inestabilidad de suelos), hidrometeorológicos (inundaciones pluviales, granizadas, heladas), químico-tecnológicos (incendios de todo tipo, explosiones, fugas y derrames de sustancias peligrosas) y sanitario-ecológicos (residuos sólidos). Las áreas verdes y los baldíos ocupan una superficie relativamente pequeña.<sup>32</sup>

En el municipio existen varias zonas de riesgo, las cuáles se clasifican según la dirección general de Protección Civil del Gobierno del Estado de México en cinco categorías, las cuales son:<sup>33</sup>

- ❖ **Riesgos socio-organizativos:** Estos son los que se generan por una inadecuada organización, pero que debido a la falta de señalamientos y restricciones generan problemas tanto para los habitantes, como para las autoridades, representando un riesgo para el bienestar de la población.

Los riesgos que podemos encontrar en el municipio de este tipo son: las reducidas secciones de las vialidades principales del municipio, que son utilizados para estacionamientos y por los establecimientos comerciales ubicados a orillas de la carretera, provocando accidentes viales.

Además, este riesgo se genera por la invasión de derechos de vía de las líneas de alta tensión, los cuales no son respetados por los habitantes de las áreas colindantes de las torres de conducción. Esta situación se observa en por lo menos 12 colonias del municipio.

- ❖ **Riesgos Hidrometeorológicos:** Son ocasionados por eventos climatológicos no comunes e inesperados, en el municipio los más frecuentes son:

Las zonas de inundación surgen por dos causas, la primera corresponde al establecimiento de asentamientos humanos en las partes planas con pendientes de 0 a 2%; situación que lleva al drenado lento que en caso de lluvias extraordinarias no tiene capacidad para dar salida al escurrimiento.

En la parte alta y media del municipio se manifiesta una reducción de los cauces por rellenos como cascajo y tierra para emparejar y ampliar terrenos cercanos a cauces, así como también por la basura que es depositada en los arroyos y escurrimientos. En general, en el municipio 29 colonias presentan riesgo de inundación.

---

<sup>32</sup> Chávez Aguirre, José María. "Atlas Multidisciplinario y de Riesgo Geotécnico de la Zona Conurbada al Norponiente del Valle de México", Academia de Ingeniería, México, 2008.

<sup>33</sup> H. Ayuntamiento de Atizapán de Zaragoza, "Plan de desarrollo Urbano de Atizapán de Zaragoza", (seduv.edomexico.gob.mx) 2006.

Este riesgo también tiene posibilidades principalmente en la presa Madín, misma que almacena 16 millones de m<sup>3</sup>, debido a que cerca de ésta se han establecido algunos asentamientos humanos; por su parte en la presa San Juan sólo regula los escurrimientos pluviales, por lo cual no se presentaría este problema.

- ❖ **Riesgos Sanitarios:** Son originados por áreas o focos de contaminación. Los más representativos en el municipio son la descarga de aguas residuales sin previo tratamiento a los escurrimientos y colectores de drenaje del municipio.

Los principales ríos, canales y escurrimientos que presentan niveles de contaminación son: río San Javier, Moritas, San Mateo, Peñitas, San Miguel Chalma, El Capulín, Lomas de San miguel, Hacienda de la Luz, El Jaral, el canal de Atizapán, el Sifón, los Cajones y la presa Madín.

- ❖ **Riesgos Químicos:** Se originan por el paso sobre el territorio municipal de conductos de gas, petroleros, gasolineras, substancias químicas, industria de riesgo, etc. En el municipio estos riesgos se encuentran referidos a la ubicación de industria de riesgo, como por ejemplo gaseras y gasolineras, así como también por el cruce de ductos de Pemex.

Entre las áreas más representativas se encuentran las líneas de alta tensión que se ubican a un costado de la autopista Chamapa-Lechería, las líneas que cruzan la denominada Zona Esmeralda (Sayavedra, Chiluca, entre otras), así como las líneas ubicadas al oriente, en los límites con los municipios de Tlalnepantla y Naucalpan.

- ❖ **Riesgos Geológicos:** Son provocados por las alteraciones en el subsuelo como fallas, grietas y fracturas, entre otros. Este fenómeno se ha dado por el asentamiento del subsuelo, así como también por la extracción de materiales como arena, grava y tepojal que anteriormente se realizó en el municipio, y en la que se labraban cuevas o cavernas para llegar a la zona donde se encontraban estos materiales.

Actualmente se tiene detectado este riesgo en 30 zonas del municipio, las cuales cubren una superficie estimada de 61.84 Ha.<sup>34</sup>

También se presentan deslizamientos de tierras en los asentamientos humanos ubicados en las partes altas y medias de los cerros de Calacoaya,

---

<sup>34</sup> H. Ayuntamiento de Atizapán de Zaragoza, "Plan de desarrollo Urbano de Atizapán de Zaragoza", (seduv.edomexico.gob.mx) 2006.

Madín y Biznaga, debido a que su sustrato está constituido a base de tobas, que al saturarse de agua pueden provocar el deslizamiento de la tierra por las pendientes pronunciadas del terreno. Este problema se presenta en cinco colonias del municipio.

ZONAS DE MINAS		SUPERFICIE (M <sup>2</sup> )	PREDIOS (NUMERO)	POBLACIÓN (HABITANTES)
1	LOMAS LINDAS	92000	200	2500
2	AHUEHUETES	12000	30	300
3	REAL DE ATIZAPÁN	11000	50	6000
4	CRISTOBAL HIGUERA	11500	40	250
5	MÉXICO NUEVO	7000	10	175
6	LOS OLIVOS	10500	80	450
7 Y 8	LOMAS DE GUADALUPE	60000	70	500
9	5 DE MAYO	58000	50	1200
10	1° DE SEPTIEMBRE	45000	60	1200
11	MEXICO 86	N/D	N/D	N/D
12	SAN MARTIN DE PORRES	N/D	N/D	N/D
13	HOGARES DE ATIZAPÁN	N/D	N/D	N/D
14	LAS ALAMEDAS CAV. HALCONES	6600	15	80
15	LAS ALAMEDAS CAV. PINZÓN	9992	9	403
16	TIERRA DE EN MEDIO	45000	130	450
17	LA CAÑADA	12000	60	100
18	SAN JUAN IXTACALA	36000	60	250
19	CERRO DE LA CRUZ	36000	75	250
20	LOMAS DE SAN LORENZO	27500	40	375
21	ALFREDO V. BONFIL	3906	40	200
22	AMPLIACIÓN LÓPEZ MATEOS	36000	60	375
23	EXHACIENDA DEL PEDREGAL	30000	50	335
24	EJIDO DE TEPALCAPA	30000	45	335
25	MORELOS	23500	20	250
26	TEMPLO CALACOAYA	5000	1	1000
27	CASA DE LA JUVENTUD	N/D	N/D	N/D
28	MONTE MARÍA	10000	N/D	500
29	CONDADO DE SAYAVEDRA	N/D	N/D	N/D
S/N	SAN JOSE PROVI	N/D	N/D	N/D
<b>ATIZAPÁN DE ZARAGOZA</b>		<b>618498</b>	<b>1195</b>	<b>17478</b>

Figura 2. 7 Zonas Minadas hasta el 2002 (seduv.edomexico.gob.mx) 2006.

### **2.4.1 Zonas Minadas**

Este problema es común al Distrito Federal y al Estado de México; lo constituye la inestabilidad real o potencial de terrenos que se encontraban en las afueras de la ciudad y que actualmente han sido alcanzados por la mancha urbana. Se encuentran localizados principalmente en los lomeríos del poniente del área metropolitana. El problema se originó con el crecimiento de la ciudad, primero con la obtención de materiales para construcción tipo arena, grava, tepetate, los cuales eran explotados de manera subterránea. Así se formaron los túneles, galerías y salones en un enjambre subterráneo. Con el crecimiento de la ciudad estas áreas han sido ocupadas tanto por fraccionamientos residenciales como por asentamientos humanos irregulares, para los cuales los peligros potenciales pasaron inadvertidos. Las consecuencias: colapso de techos de minas causando daños materiales y pérdidas de vidas.

La Zona de Lomas del poniente del Valle de México es conocida por estar afectada por cavidades subterráneas de origen artificial, resultado de explotaciones mineras realizadas sin control en el pasado. Dicho problema afecta a un gran número de predios donde se encuentran asentamientos humanos que están en situación de riesgo.

Para reducir los efectos de dicha situación, a lo largo de los años se han empleado distintos procedimientos tales como la colocación de revestimientos, concreto lanzado, colocación de costales rellenos de arena, inyección de lechadas cementantes basadas en cemento portland, etc.

La presencia de las cavidades afecta a un gran número de personas que habitan al pie de la Sierra de Las Cruces, en la zona de lomas, conformada por depósitos de materiales de origen volcánico.

Actualmente, la Dirección de Protección Civil del Municipio de Atizapán de Zaragoza utiliza la mezcla de hidróxido de calcio con el desecho del mineral de perlita expandida (carlita) para rehabilitar las minas que fueron excavadas con fines de extracción de materiales para construcción y que se encuentran en prácticamente toda la extensión del municipio.

A partir de 1998 ha sido rellenado el diez por ciento de las zonas minadas por medio de la inyección de este cementante, reduciendo costos en comparación con otros métodos y con una eficiencia mayor, debido a que el hidróxido de calcio y la



perlita se obtienen en forma gratuita como subproducto o desecho de industrias de la zona.<sup>35</sup>

#### **2.4.2 Zonas de Discontinuidades**

Debido al crecimiento acelerado de la mancha urbana, nos vemos en la necesidad de hacer estudios especializados para garantizar la seguridad de la población y en lo que respecta a las zonas de fallas, fracturas, contactos litológicos y otras discontinuidades es muy escasa la información que se tiene, ya que la única identificación de estas zonas las ha realizado el INEGI en la elaboración de mapas, ubicando y estudiando solamente los puntos de mayor importancia, por ello es que se está realizando el Atlas Multidisciplinario y de Riesgo Geotécnico de la Zona Conurbada al Norponiente del Valle de México, para conocer mejor el área del Municipio por medio de recorridos de campo y así contar con información exacta acerca del tema. Por consiguiente el presente trabajo contribuirá a establecer la ubicación de éstas estructuras lo que ayudará a las autoridades correspondientes a diseñar un control de riesgo y prevención adecuado ya con los puntos debidamente identificados.

---

<sup>35</sup> Chávez Aguirre (2008). Op. Cit.

# CAPÍTULO III: Presa Madín

**Objetivo Particular:** Tener un conocimiento a fondo de cómo es la Presa Madín, para que el lector tenga una idea de sus aspectos generales así como la función que tiene en el municipio.

## Capítulo III: Presa Madín

### 3.1 Definición de presa y clasificación

- Definición:

Una Presa es una obra hidráulica que se construye sobre el paso de una corriente de agua y sirve para almacenarla y darle los usos que más convenga. Una presa está compuesta de las siguientes estructuras: obra de contención, obra de toma, vertedor de excedencias, caminos de acceso, túneles de desvío y obras auxiliares.<sup>36</sup>

- Clasificación:

Las presas se pueden clasificar según su uso, el proyecto hidráulico o los materiales que forman la estructura.

Según su uso:

- ✓ **Presas de Almacenamiento:** se construyen para embalsar el agua en los periodos en que sobra, para utilizarla cuando escasea. Estas presas se pueden a su vez clasificar con el objeto del almacenamiento, como para abastecimiento de agua, para recreo, para la cría de peces y animales, para la generación de energía hidroeléctrica, irrigación, etc.
- ✓ **Presas de Derivación:** se construyen ordinariamente para desviar el agua hacia zanjas, canales, u otros sistemas de conducción al lugar en que se van a usar. Se utilizan en los sistemas de riego, para la derivación de corriente natural hacia un vaso de almacenamiento fuera del cauce natural de la corriente, para usos municipales e industriales, o para una combinación de los mismos.
- ✓ **Presas Regulatoras:** se construyen para retardar el escurrimiento de las avenidas y disminuir el efecto de las ocasionales. Las presas reguladoras se dividen en dos tipos. En uno de ellos, el agua se almacena temporalmente, y se deja salir por una obra de toma con un gasto que no exceda el de la capacidad del cauce de aguas abajo. En el otro tipo, el agua se almacena tanto tiempo como sea posible y se deja infiltrar en las laderas del valle o por los estratos de grava de la cimentación. A este último se le llama de recarga o dique, porque su principal objeto es recargar los acuíferos.<sup>37</sup>

---

<sup>36</sup> Comunicación personal con Ing. Jorge Flores Núñez. "Apuntes de Presas de Tierra y Enrocamiento", México, 2010.

<sup>37</sup> Lepe, José Luis. (Trad.) "Diseño de Presas Pequeñas", Compañía Editorial Continental, México, 1976.

Según su proyecto hidráulico:

- ✓ **Presas vertedoras:** se proyectan para descargar sobre sus coronas. Deben estar hechas de materiales que no se erosionen con tales descargas. Es necesario emplear concreto, mampostería, acero y madera, excepto en las estructuras vertedoras muy bajas de unos cuantos pies de altura.
- ✓ **Presas no vertedoras:** son las que se proyectan para que no rebase el agua por su corona. Este tipo de proyecto permite ampliar la elección de materiales, incluyendo las presas de tierra y las de enrocamiento.

Según los materiales:

- ✓ **Presas de tierra:** constituyen el tipo de presa más común, principalmente porque en su construcción intervienen materiales en su estado natural que requieren el mínimo de tratamiento y son fáciles de disponer de ellos. Además los requisitos para sus cimentaciones son menos exigentes que para otros tipos. Las presas de tierra compactada se subdividen en presas de un solo material, de varios o con diafragma. Este tipo de presas requieren estructuras complementarias que sirvan de vertedores de demasías. A menos de que el emplazamiento de la presa quede fuera del cauce de la corriente, se deben tomar medidas para desviar la corriente durante la construcción a través del emplazamiento por medio de un conducto, o alrededor del mismo por medio de un túnel. De otra manera, se deben incorporar en el proyecto las medidas especiales que permitan que el agua pase sobre el terraplén durante la construcción.
- ✓ **Presas de Enrocamiento con cara de concreto:** en estas presas se utiliza roca de todos los tamaños para dar estabilidad a una membrana impermeable. La membrana puede ser una capa de material impermeable del lado del talud mojado, una losa de concreto, un recubrimiento de concreto asfáltico, placas de acero, o cualquier otro dispositivo semejante; o puede ser un núcleo interior de poco espesor de suelo impermeable. Como los terraplenes de tierra, los de roca están sujetos a daños y destrucción si los rebasa el agua y, por lo tanto, deben tener un vertedor de demasías de la capacidad adecuada para evitar que esto suceda. Las presas de Enrocamiento requieren de cimentaciones que no estén sujetas a asentamientos de magnitudes suficientes para romper la membrana impermeable. Las únicas cimentaciones adecuadas, son por lo general de roca o la arena compacta y la grava.<sup>38</sup>

---

<sup>38</sup> Lepe, José Luis. (Trad.) "Diseño de Presas Pequeñas", Compañía Editorial Continental, México, 1976.

### 3.2 Partes de una presa

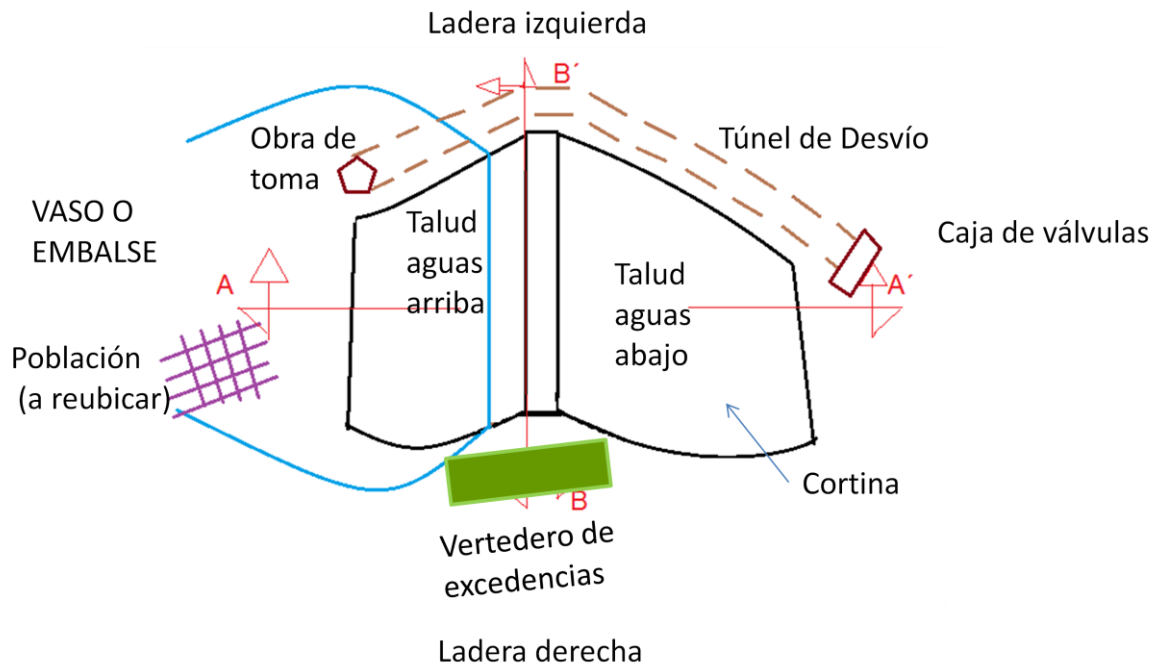


Figura 3. 1 Vista en Planta de una Presa (Comunicación personal con Ing. Jorge Flores Núñez. "Apuntes de Presas de Tierra y Enrocamiento", 2010)

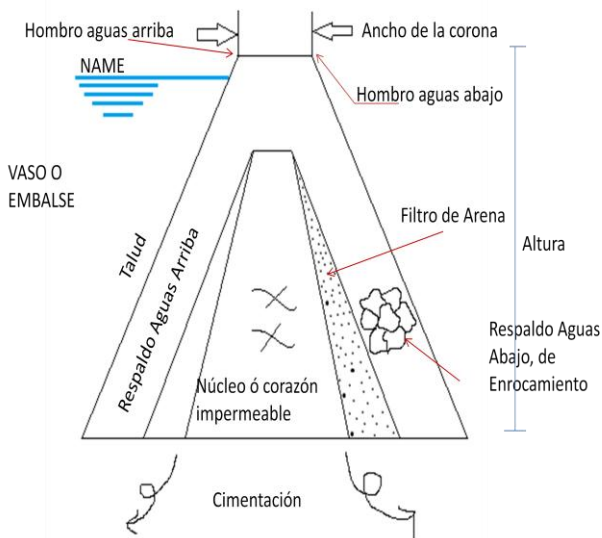


Figura 3. 2 Corte A-A' Sección Máxima Transversal (Comunicación personal con Ing. Jorge Flores Núñez. "Apuntes de Presas de Tierra y Enrocamiento", 2010)

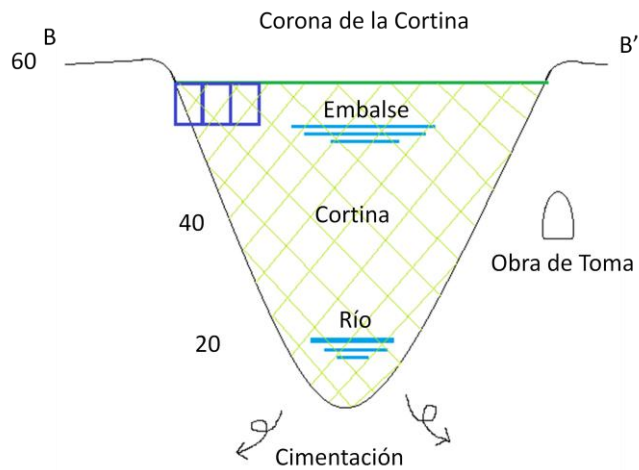


Figura 3. 3 Corte B-B' Sección Longitudinal (Comunicación personal con Ing. Jorge Flores Núñez. "Apuntes de Presas de Tierra y Enrocamiento", 2010)

## Definición de términos de una Presa:

- ❖ Cortina: Es la estructura contenedora que se construye sobre el río.<sup>39</sup>
- ❖ Boquilla: Lugar escogido para construir la cortina.
- ❖ Altura de la cortina: Se define como la distancia vertical máxima entre la corona y la cimentación, la cual no necesariamente coincide con la medida desde el cauce del río, por la presencia de depósitos aluviales.
- ❖ Corona: Es la superficie superior de la cortina que, en ciertos casos, puede alojar una carretera o vía de ferrocarril.
- ❖ Talud: Es un plano que tiene un ángulo de inclinación respecto a la horizontal. Se medirá por la relación de longitudes entre el cateto horizontal y el vertical.
- ❖ Corazón impermeable: También llamado núcleo de tierra, es el elemento de la presa que cierra el valle al paso del agua contenida en el embalse o vaso.
- ❖ Respaldo Permeables: Son las masas granulares que integran, con el corazón impermeable, la sección de la cortina.
- ❖ NAME: Abreviación del Nivel de Aguas Máximo Extraordinario; es la elevación del agua en el vaso cuando la presa está llena y además funciona el vertedor a su máxima capacidad.<sup>40</sup>

Existen también algunas estructuras auxiliares en la construcción de Presas, entre las cuales se pueden mencionar:

- ❖ Ataguías: Son construcciones a modo de diques de altura reducida, que permiten la desviación temporal del río durante la construcción de la presa. Estas construcciones se adecúan a una utilización posterior para desagüe o alimentación en carga de una central hidroeléctrica.
- ❖ Aliviaderos: son las estructuras que permiten el vaciado del embalse a través de la propia presa o por medio de estructuras independientes.
- ❖ Desagües de fondo: se utilizan para vaciar el embalse desde los niveles que no alcanzan las tomas, con el fin de eliminar en parte los sedimentos que hayan podido producirse, reforzar la capacidad de desagüe o realizar inspecciones y corregir filtraciones.<sup>41</sup>

---

<sup>39</sup> Comunicación personal con Ing. Jorge Flores Núñez. "Apuntes de Presas de Tierra y Enrocamiento", 2010.

<sup>40</sup> Marsal J., Raúl. et.al. "Presas de Tierra y Enrocamiento", Edit. Limusa, México, 1979.

<sup>41</sup> González de Vallejo, Luis I. et.al. "Ingeniería Geotécnica", Pearson, Madrid, 2002.

- ❖ Tomas de agua: consisten en estructuras que permiten desaguar el embalse a distintas alturas, su número y capacidad dependen del volumen embalsado, de los servicios que haya que abastecer y de la profundidad del agua.
- ❖ Cierres de desagües: son los sistemas que permiten regular el funcionamiento de tomas y desagües de fondo.
- ❖ Compuertas de aliviadero: son instalaciones mecánicas para el control del caudal de salida sobre el aliviadero. Son desaconsejables en presas de materiales sueltos.<sup>42</sup>

### 3.3 Tipos de Presa más comunes

- **Presa homogénea**: Construida casi exclusivamente con tierra compactada, tiene por lo menos una protección contra el oleaje en el talud de aguas arriba.

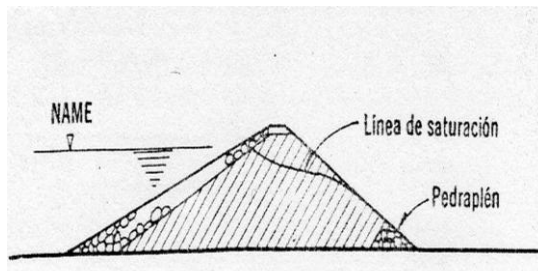


Figura 3. 4 Presa Homogénea (Marsal, et.al. 1979)

- **Presa homogénea con filtros**: Con objeto de que el flujo de agua a través de la masa de tierra no intercepte el talud de aguas abajo se coloca un filtro con arena bien graduada; el espesor y la longitud de este elemento son susceptibles de diseño mediante flujo en la masa de tierra.<sup>43</sup>

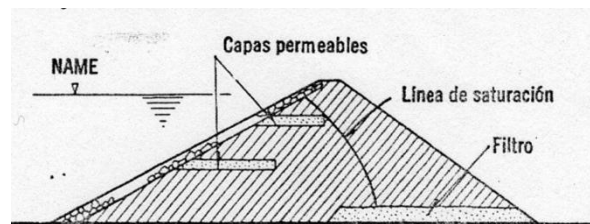
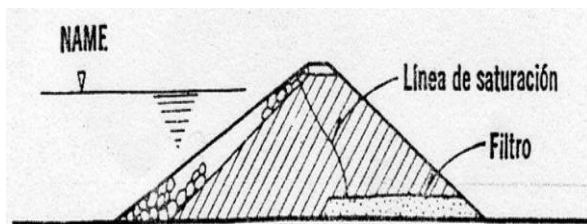


Figura 3. 5 Presa Homogénea con Filtro Horizontal y con Filtros Aguas arriba y Aguas abajo respectivamente. (Marsal, et.al. 1979)

<sup>42</sup> González de Vallejo, Luis I. Op. Cit.

<sup>43</sup> Marsal J., Raúl. et.al. Op. Cit.

- **Presas de materiales graduados:** Se ha dado este nombre a las presas en que los materiales se distribuyen en forma gradual, de los suelos finos en el corazón, pasando por los filtros y transiciones a los enrocamientos, en los que también se trata de colocar el material en forma gradual. Esto no siempre puede lograrse, pues depende de que se tenga en el sitio la serie de materiales antes enumerados.

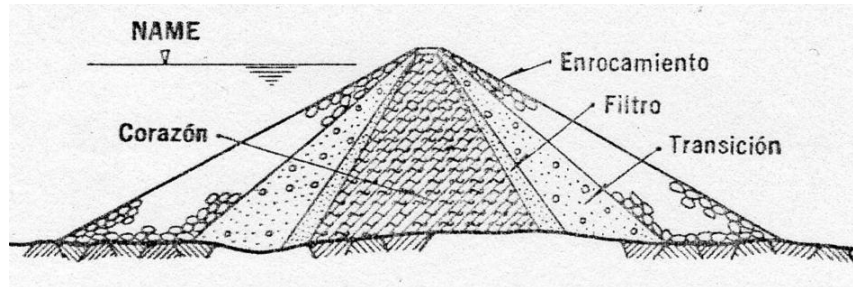


Figura 3. 6 Presa de Materiales Graduados (Marsal, et.al. 1979)

- **Presas de Enrocamiento:** Las masas de roca en estas presas son voluminosas comparadas con el corazón impermeable. Este puede ocupar la parte central o bien ser inclinado hacia aguas abajo.<sup>44</sup>

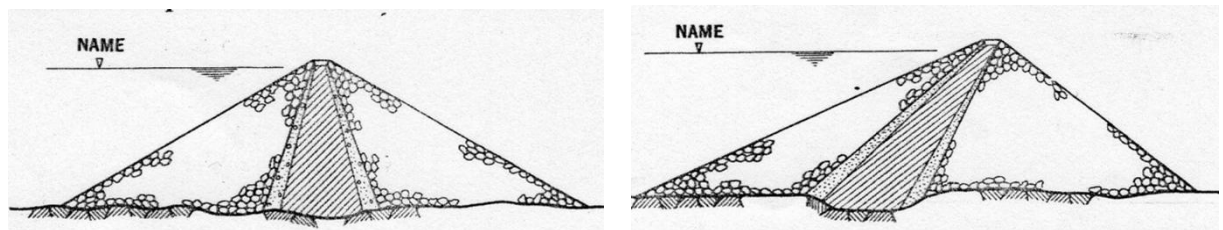


Figura 3. 7 Presas de Enrocamiento con corazón vertical e inclinado respectivamente. (Marsal, et.al. 1979)

- **Presas con pantalla:** el elemento impermeable consiste en una pantalla relativamente delgada. Los materiales más empleados para pantallas son concretos asfálticos, hidráulicos, entre otros.<sup>45</sup>

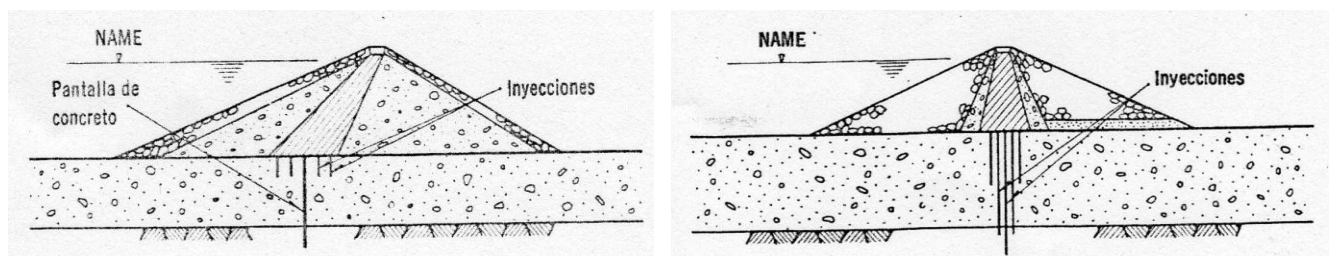


Figura 3. 8 Presa con Pantalla de pilotes o muros de concreto simple y Presa con Pantalla de Inyecciones respectivamente. (Marsal, et.al. 1979).

<sup>44</sup> Marsal J., Raúl. et.al. Op. Cit.

<sup>45</sup> González de Vallejo, Luis I. Op. Cit.



- **Presas de Cortina de Concreto:** Su sección transversal es resistente por sí sola sin colaboración mecánica de los estribos del valle. Requieren en general mayor volumen de concreto en comparación con otras. Precisan un terreno de cimentación resistente, formado por un estrato rocoso a poca profundidad.



Figura 3. 9 Presa de Gravedad, Porma España. ([www.chduero.es](http://www.chduero.es))

- **Presa de Contrafuertes:** Son presas de gravedad aligeradas formadas por elementos estructurales transversales a la sección, o contrafuertes, con objeto de reducir volumen de obra de fábrica y disminuir subpresiones, entre otros fines. Requieren terrenos de cimentación muy fuertes, concentrándose las cargas en los apoyos de los citados contrafuertes.<sup>46</sup>

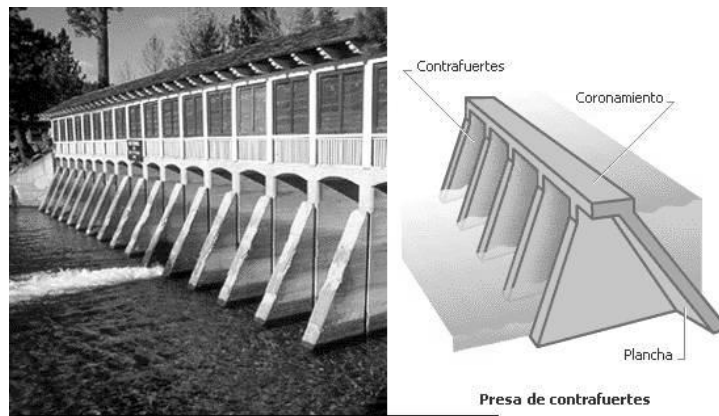


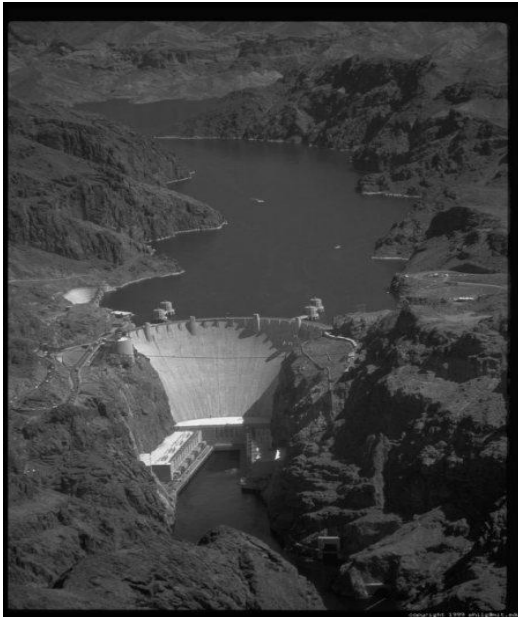
Figura 3. 10 Ejemplo de Presa de Contrafuertes ([descubrimientosfamosos.blogspot.com/2010](http://descubrimientosfamosos.blogspot.com/2010))

<sup>46</sup> González de Vallejo, Luis I. Op. Cit.



➤ **Presas arco-gravedad:** Para reducir la sección de las presas de gravedad se dispone su planta en arco con objeto de transmitir parte de las cargas a los estribos (apoyos laterales de la presa sobre los márgenes de la cerrada).

Figura 3. 11 Presa de Arco-Gravedad Aldeadávila.  
(<http://ingenieriycomputacion.blogspot.com/2010>).



➤ **Presa arco-bóveda:** constituyen las de mayor complejidad de diseño, análisis y construcción, pues se trata de estructuras muy esbeltas de planta y sección curvas, en que se aprovecha la alta resistencia del terreno de cimentación para disminuir notablemente el volumen de concreto.<sup>47</sup>

Figura 3. 12 Presa Arco-Bóveda Hoover, E.U.  
([tectonic.wordpress.com](http://tectonic.wordpress.com))

---

<sup>47</sup> González de Vallejo, Luis I. Op. Cit.

### 3.4 Criterios de Diseño para presas de Tierra y Enrocamiento<sup>48</sup>

#### 3.4.1 Clasificación de presas para fines de análisis sísmico

Para fines de su análisis y diseño las presas se clasificarán por cuatro conceptos: potencial de pérdida de resistencia al corte de los materiales, daño potencial a la zona aguas abajo, altura y sismicidad del sitio.

Material	Descripción
Sin pérdida de resistencia	Los materiales que están saturados y sujetos a acciones cíclicas, sufren reducción insignificante en la resistencia al corte, con baja generación del exceso de presión de poro o acumulación de deformaciones residuales.
Con pérdida de resistencia	Los materiales que están saturados y sujetos a acciones cíclicas sufren reducción desde pequeña hasta significativa en la resistencia al corte, con importante generación del exceso de presión de poro o acumulación de deformaciones residuales.

Figura 3. 13 Clasificación de los materiales de la cimentación y de las cortinas de tierra y enrocamiento, según su potencial de pérdida de resistencia al corte. (CFE, "Manual de Diseño de Obras Civiles. Diseño por Sismo". 2008).

Daño Potencial	Pérdida de vidas humanas	Daños materiales
Alto	Considerables	Pérdidas económicas altas que corresponden a daños en zonas residenciales, comerciales o industriales, caminos y vías de ferrocarril principales e instalaciones públicas importantes, así como daños importantes en los recursos naturales.
Medio	Posibles pero escasas	Pérdidas económicas medianas que corresponden a daños en casas aisladas, caminos y vías de ferrocarril secundarios, interrupción de servicios públicos, así como daños moderados en los recursos naturales.
Bajo	Ninguna	Pérdidas económicas mínimas que corresponden a daños moderados en la agricultura y caminos vecinales, así como daños mínimos en los recursos naturales.

Figura 3. 14 Clasificación de presas según el daño potencial a la zona aguas abajo. (CFE, 2008).

Sismicidad	Aceleración máxima del terreno ( $a_0$ ) en g
Baja	$< 0.1$
Media	$0.1 \leq a_0 \leq 0.4$
Alta	$> 0.4$

Figura 3. 15 Clasificación de sitios para presas según la sismicidad. (CFE, 2008).

Altura	Altura de la cortina (m)
Baja	$< 15$
Media	$15 \leq \text{altura} \leq 30$
Alta	$> 30$

Figura 3. 16 Clasificación de presas según su altura. (CFE, 2008).

<sup>48</sup> Comisión Federal de Electricidad. "Manual de Diseño de Obras Civiles. Diseño por Sismo". México, 2008.

### 3.4.2 Criterios de Diseño

Los materiales con pérdida de resistencia al corte no se deberán usar para la construcción de presas. Los depósitos de cauce que tengan características similares deberán descartarse como sitios de cimentación. Si en las presas existentes se detecta la presencia de dichos materiales se deberá estudiar la posibilidad de su reemplazo o mejoramiento para reducir su potencial de pérdida de resistencia al corte.

Para presas de tierra y enrocamiento se deberán examinar los siguientes aspectos:

- ♦ **Respuesta dinámica:** En el análisis, se determinarán historias de aceleración, deformación y esfuerzo y periodos de vibración, así como valores de amortiguamiento de la presa. Deberán especificarse en cada análisis, las condiciones iniciales a las que está sujeta la presa antes del comienzo del sismo. Estas condiciones podrán obtenerse al final de la construcción, a largo plazo o en el proceso de consolidación. A fin de estimar dichas condiciones se deberá realizar un estudio del comportamiento estático de la presa.
- ♦ **Estabilidad sísmica.** Se evaluará la seguridad contra fallas por cortante de los taludes del cuerpo de la cortina y taludes naturales en el vaso, que estarán sujetos a las cargas sísmicas. La falla por cortante de la cimentación también será objeto de investigación. El factor de seguridad se definirá como el cociente mínimo entre la resistencia al esfuerzo cortante resistente y los esfuerzos cortantes desarrollados por los mecanismos de falla previamente identificados a lo largo de la superficie de falla más desfavorable. La condición de aceptación de la estabilidad sísmica estará en función de la definición de los coeficientes sísmicos para el análisis de la estabilidad, la reducción en la resistencia al corte de los materiales, el factor de seguridad y los desplazamientos inducidos tolerables. el factor de seguridad aceptable es 1.2 para los sismos de servicio y 1.0 para los sismos de prevención de colapso.
- ♦ **Deformación permanente sísmica.** Es la acumulación de deformaciones y desplazamientos plásticos generados por efectos de inercia de las fuerzas sísmicas y la compactación dinámica del material. La deformación permanente deberá estimarse suponiendo que los materiales de la cortina son de bajo potencial de pérdida de resistencia.

- ♦ **Estabilidad pos sísmica.** Cuando parte de los materiales de la presa tiene potencial de pérdida de resistencia, se deberá evaluar y estimar la estabilidad de la presa bajo las cargas estáticas. La causa principal de los cambios en la resistencia es el fenómeno de licuación o pérdida de resistencia, cuya susceptibilidad e iniciación deberán conocerse previo al estudio de estabilidad pos sísmica. Si dicha estabilidad se evalúa por medio de los métodos tradicionales de estabilidad de taludes y se hace una estimación de reducciones en la resistencia al corte de los materiales, los factores de seguridad mínimos deberán ser 1.2 y 1.0, para los sismos de servicio y de prevención de colapso, respectivamente.
- ♦ **Deformación permanente pos sísmica.** Se producirá por las reducciones en las resistencias al corte de los materiales con potencial de pérdida de resistencia. Se evaluará en un análisis estático considerando los cambios en las propiedades de los materiales.

Se deberá estudiar la posibilidad de la ocurrencia de aquellos daños sísmicos que no se han mencionado, como son agrietamientos, daños en elementos estructurales y filtraciones, entre otros aspectos.

### 3.4.3 Selección del método de análisis

Los métodos de análisis se catalogan en 3 tipos de acuerdo a su complejidad: Simplificado, Detallado y Completo.

	Análisis Simplificado	Análisis detallado	Análisis completo
Datos sísmicos	Espectro de diseño, magnitud de sismo, aceleración máxima.	Adicionalmente acelerogramas	
Datos de material	Resistencia al corte, estática, variación de rigidez dinámica y amortiguamiento, relación de Poisson.	Adicionalmente, resistencia al corte cíclico, generación en exceso de presión de poro.	Adicionalmente, resistencia residual, modelo constitutivo no lineal.
Alcances de análisis	Respuesta dinámica, estabilidad sísmica, deformación permanente sísmica.	Adicionalmente, estabilidad pos sísmica, deformación permanente por sísmica, otros daños pos sísmicos.	

Figura3. 17 Requerimientos y alcances para el análisis de presas de tierra y enrocamiento. (CFE, 2008).

	Análisis Simplificado	Análisis detallado		Análisis Completo	
		Material sin pérdida de resistencia	Material con pérdida de resistencia	Material sin pérdida de resistencia	Material con pérdida de resistencia
<b>Respuesta dinámica</b>	Espectro de respuesta	Dominio de la frecuencia con modelo lineal equivalente		Paso a paso con modelo elastoplástico	Paso a paso con modelo no lineal directo o elastoplástico avanzado
<b>Estabilidad sísmica</b>	Cartas de diseño	Estabilidad pseudoestática sin cambio de propiedades			
<b>Deformación permanente sísmica</b>	Ecuaciones empíricas	Método de Newmark sin cambio de propiedades.			
<b>Estabilidad pos sísmica</b>	-	-	Estabilidad estática con cambio de propiedades		
<b>Deformación permanente pos sísmica</b>	-	-	Análisis esfuerzo-deformación estático con cambio de propiedades		

Figura3. 18 Características de los análisis en presas de tierra y enrocamiento. (CFE, 2008).

La selección de los métodos de análisis para un determinado proyecto dependerá de cuatro factores mencionados al principio: potencial de pérdida de resistencia de los materiales, daño potencial, sismicidad del sitio y altura de la presa. Dependiendo de la combinación de estos factores, se seleccionará el tipo de análisis de acuerdo con la siguiente tabla.

		Material							
		Sin pérdida de resistencia			Con pérdida de resistencia				
		Altura							
		Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta		
Sismicidad	Baja	Daño Potencial	Bajo	S	S	S	D	D	D
			Medio	S	S	D	D	D	C
			Alto	S	D	D	D	C	C
	Media		Bajo	S	S	D	D	D	C
			Medio	S	D	D	D	C	C
			Alto	D	D	C	C	C	C
	Alta		Bajo	S	D	D	D	C	C
			Medio	D	D	C	C	C	C
			Alto	D	C	C	C	C	C

Figura 3. 19 Selección del método de análisis. (CFE, 2008).

S= Análisis simplificado, D= Análisis detallado, C= Análisis completo.

### 3.5 Presa Madín

#### 3.5.1 Aspectos generales

La Presa Madín está ubicada en el municipio de Atizapán de Zaragoza sobre el Río Tlalnepantla y es la obra civil más importante del municipio ya que cuenta con una capacidad de almacenamiento de 24.7 millones de metros cúbicos, sobre una superficie de 190 hectáreas y además es fuente de abastecimiento de agua de los municipios de Naucalpan, Tlalnepantla y Atizapán.<sup>49</sup>

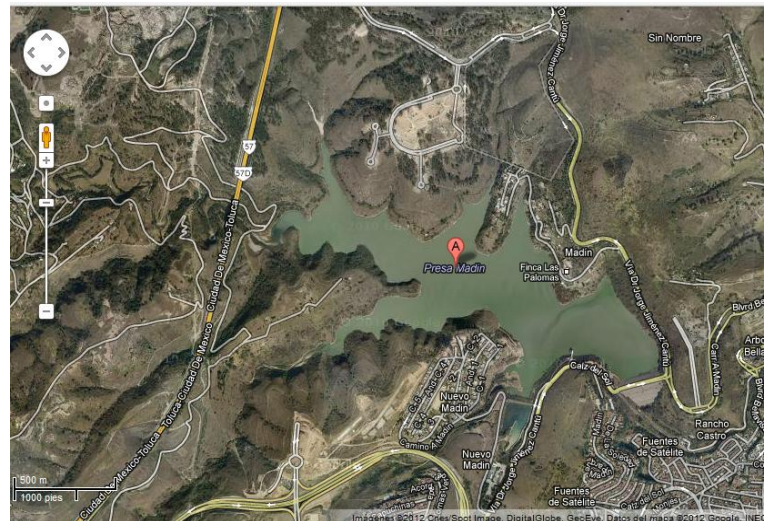
Es una presa relativamente pequeña comparada con algunas otras que existen en nuestro país<sup>50</sup>:

PRESA	UBICACIÓN	ALTURA (m)	RELACIÓN (%)
Madín	Atizapán	77	1.0
Malpaso	Chiapas	138	1.8
El Caracol	Guerrero	126	1.6
Angostura	Chiapas	143	1.9
Peñitas	Chiapas	58	0.8
Aguamilpa	Nayarit	186	2.4
El Cajón	Nayarit	178	2.3
La Yesca	Nayarit	208	2.7

Es una presa de materiales graduados con una altura de 77m y una longitud de corona de 250m; fue construida por la Secretaria de Recursos Hidráulicos y su construcción finalizó en el año de 1976.

La finalidad de la Presa es el control de avenidas; es decir controlar el flujo de las avenidas causadas por las fuertes lluvias y evitar que estas causen daños o inundaciones a la población que se encuentra hacia aguas abajo de la Presa.<sup>51</sup>

Figura 3. 20 Presa Madín. (maps.google.com.mx)



<sup>49</sup> <http://www.atizapan.gob.mx/historia.htm>

<sup>50</sup> <http://www.wikipedia.org>

<sup>51</sup> Comunicación Personal con el Ingeniero Jorge Flores Núñez, México, 2012.

### 3.5.2 Aspectos constructivos

#### ❖ Geología:

En los estudios previos a la construcción de la Presa se analizó a detalle la geología del área donde se construyó la cortina, llegando a la siguiente conclusión:

- 1) El contrafuerte de la margen izquierda es roca de tipo andesita basáltica de colores gris y rosa de la Formación Iztaccihuatl, la cual presenta un sistema de fracturamiento vertical en dos direcciones y presenta cierto grado de permeabilidad.
- 2) El contrafuerte de la margen derecha corresponde a un aglomerado con fragmentos de roca, de la Formación Tarango.<sup>52</sup>

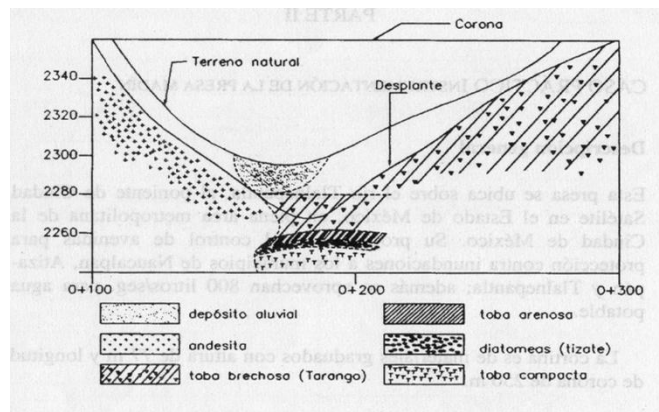


Figura 3.21 Perfil Geológico de la boquilla de la Presa Madín (Flores Núñez, Jorge. "Aspectos prácticos de la instrumentación geotécnica en presas de tierra y Enrocamiento", UNAM, México, 2000.)

Así mismo, durante la construcción de la cortina se realizaron diferentes estudios Geológico- Geotécnicos para observar el comportamiento tanto de los materiales como del terreno de construcción, llegando así a implementar un amplio sistema de inyección a lo largo de la cimentación, ya que como se mencionó anteriormente el contrafuerte izquierdo tenía cierto grado de permeabilidad; con el sistema se mejoró notablemente la calidad del terreno. Se construyeron 3 galerías de inspección sobre la cortina, en las cuales se realizaron pruebas de permeabilidad y de igual manera se implementó un sistema de inyección para impermeabilizar y mejorar la calidad de la margen derecha. Se realizaron también pruebas de absorción y se colocó instrumentación en la cortina.<sup>53</sup>

<sup>52</sup> Flores Núñez, Jorge. "Aspectos prácticos de la instrumentación geotécnica en presas de tierra y Enrocamiento", UNAM, México, 2000.

<sup>53</sup> Comunicación Personal con el Ingeniero Jorge Flores Núñez, México, 2012.



### ❖ Materiales:

La cortina de la Presa Madín está construida con materiales graduados cuyo acomodo se encuentra de la siguiente manera:<sup>54</sup>

- Núcleo impermeable compuesto de arcilla plástica con arena fina.
- Zona de Transición hacia ambos lados del núcleo formado por arena con 10 % máximo de finos con alto peso volumétrico ( $\pm 1900 \text{ Kg}/\text{m}^3$ ).
- Respaldos permeables conformados por rezaga producto de la explotación de la roca con  $\gamma = \pm 2000 \text{ Kg}/\text{m}^3$
- Protecciones de roca en ambos taludes por un Enrocamiento con andesita de diversos tamaños.

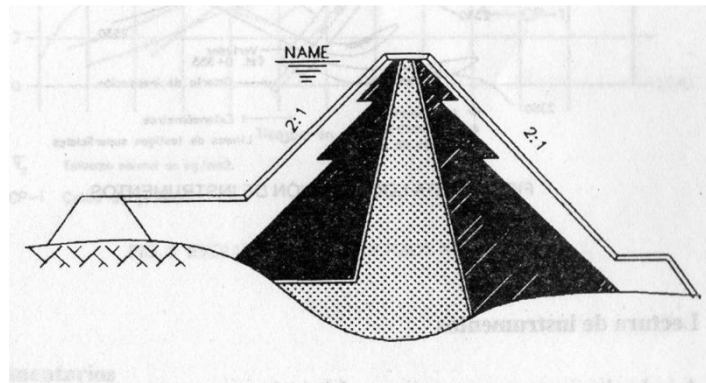


Figura 3.22 Acomodo de materiales en la cortina de la Presa Madín. (Flores Núñez, Jorge. 2000, Op. Cit).

### ❖ Obras auxiliares:

Todas las presas requieren de obras auxiliares para tener un mejor funcionamiento; en el caso de la Presa Madín estas obras son las siguientes:<sup>55</sup>

- Vertedor de excedencias para una descarga de  $161 \text{ m}^3/\text{seg}$  localizado en el lado derecho de la cortina.
- Una obra de toma con capacidad de  $16.1 \text{ m}^3/\text{seg}$ .
- Una toma para la planta potabilizadora con capacidad máxima de  $1.1 \text{ m}^3/\text{seg}$ , aunque normalmente opera a  $0.8 \text{ m}^3/\text{seg}$ .
- Vialidad importante sobre la corona, la cual tiene dos sentidos.

<sup>54</sup> Comunicación Personal con el Ingeniero Jorge Flores Núñez, México, 2012.

<sup>55</sup> Comunicación Personal con el Ingeniero Jorge Flores Núñez, México, 2012.

### 3.5.3 Instrumentación en la presa

Las estructuras terreas se instrumentan primordialmente para detectar los problemas específicos que se sospeche puedan ocurrir dadas las características de la cimentación, de las laderas del sitio y de los materiales que constituyen una presa, y conocer así su comportamiento durante el proceso constructivo, primer llenado y posteriormente en su operación, teniendo como objetivos principales los siguientes:<sup>56</sup>

- a) Conocer el comportamiento de la cimentación y de los materiales que integran la cortina.
- b) Observar el flujo de agua que ocurra a través de la cortina y su cimentación.
- c) Medir esfuerzos y deformaciones durante y después de la construcción.
- d) Estar en condiciones de controlar la rapidez de colocación de material impermeable de la cortina.
- e) Monitorear el comportamiento de los taludes en el vaso al cambiar sus condiciones de contenido de agua.
- f) Obtener información para verificar el criterio de diseño y en caso necesario hacer las modificaciones pertinentes, así como retroalimentación de datos al proyectista para futuras obras y balanceo de diseños.
- g) Observar la magnitud e importancia de los movimientos registrados durante el primer llenado de la presa y definir así el criterio de su operación.
- h) Obtener datos para determinar si el comportamiento general de la presa se ajusta al esperado.

Los instrumentos pueden por conveniencia, clasificarse de acuerdo con la función principal de la instalación.<sup>57</sup>

- Control de la construcción: verificación de los parámetros críticos de diseño con retroalimentación inmediata al diseño y a la construcción.
- Desempeño después de la construcción: validación del diseño; determinación del patrón de comportamiento inicial o de referencia.
- Funcionamiento y vigilancia del servicio: confirmación de la idoneidad estructural; detección de cambios regresivos en el patrón de comportamiento establecido; investigación de problemas identificados o que se sospechan.
- Investigación/ desarrollo: investigación académica; pruebas y desarrollo de los equipos.

---

<sup>56</sup> Flores Núñez, Jorge. 2000, Op. Cit.

<sup>57</sup> Novak, P. et.al. "estructuras Hidráulicas", Mc Graw Hill, 2° Edición, Colombia, 2001.

Para estudiar cualquiera de los problemas anteriores, se requiere hacer un planteamiento racional de la instrumentación, cuya elaboración se basa en la información del proyecto de la presa, consiste en:<sup>58</sup>

- ✓ Levantamiento topográfico de la boquilla.
- ✓ Geología del vaso y la boquilla.
- ✓ Propiedades índice y mecánicas de la cimentación y de los materiales disponibles para la construcción de la cortina.
- ✓ Sismicidad en la zona.
- ✓ Programa de tratamiento de la cimentación y laderas.
- ✓ Hipótesis de diseño empleadas en el proyecto de la cortina.

Con objeto de tener seguridad en el comportamiento de la presa, será necesario instrumentar convenientemente las estructuras, para lo cual se procede al diseño, fabricación, calibración e instalación de los instrumentos que nos garanticen un buen sistema de medición, cuidando siempre que el costo de la instrumentación sea compatible con la información que se pretende y con la inversión total de la obra.

Hacer la planeación de la instrumentación significa desarrollar un proceso que dé como resultado la redacción del proyecto de instrumentación que incluya los siguientes apartados:<sup>59</sup>

- Características del proyecto.
- Objetivos de la instrumentación.
- Variables para medir.
- Predicción de los valores para los parámetros a medir.
- Selección de los instrumentos.
- Especificaciones de instalación.
- Programa de instalación y de mediciones.
- Procedimientos para garantizar la confiabilidad de los datos medidos.
- Localización, número y distribución de instrumentos.
- Planos y croquis.
- Datos completos del proveedor de los instrumentos.

---

<sup>58</sup> Flores Núñez, Jorge. 2000, Op. Cit.

<sup>59</sup> Flores Núñez, Jorge. 2000, Op. Cit.

Con base en lo anterior, en la Presa Madín se colocó la instrumentación que los estudios pertinentes determinaron; a continuación se mencionan únicamente los instrumentos instalados en la Presa y se explica brevemente el funcionamiento de cada uno de ellos:

- ✓ **Inclinómetro:** es el instrumento utilizado para la obtención de la distribución de desplazamientos horizontales dentro de la masa de un suelo. Consiste en una tubería especial de aluminio o plástico con dos pares de ranuras longitudinales por donde se introduce un dispositivo medidor de inclinaciones. Esta tubería queda instalada en el cuerpo y cimentación de la presa y el dispositivo conocido como torpedo de inclinación se guía dentro de la tubería por ruedas que se deslizan en las ranuras y se suspende desde el brocal por medio de un cable acotado. La precisión de este aparato es de 25mm en profundidades mayores a los 300m.

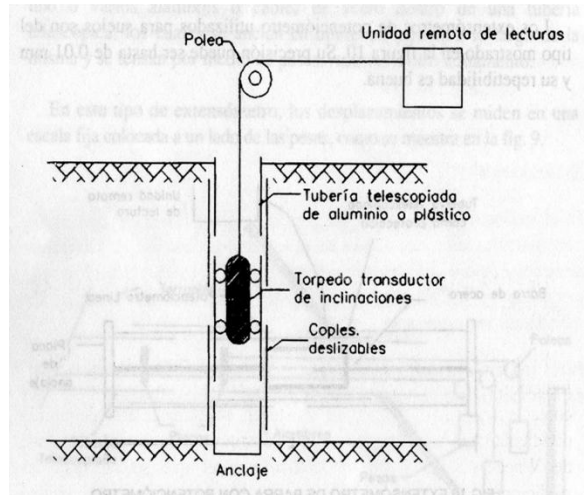


Figura 3. 23 Inclinómetro (Flores Núñez, Jorge. 2000, Op. Cit).

- ✓ **Piezómetro tipo abierto:** Consiste en una celda porosa colocada en el fondo de un barreno y formada por dos tubos concéntricos en diámetros de 2'' y 3/4'', que pueden ser de hierro galvanizado o de PVC. Ambos tubos se perforan en todo su perímetro en una longitud aproximada de 30cm con el fin de que fluya el agua dentro de ellos. Entre estos tubos se coloca un filtro de arena que impida el arrastre de material. Estos piezómetros se utilizan para conocer la presión puntual que genera una columna de agua en el subsuelo.<sup>60</sup>

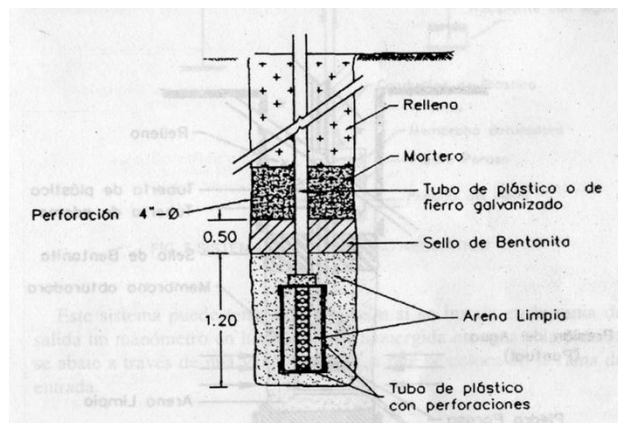


Figura 3. 24 Piezómetro tipo abierto (Flores Núñez, Jorge. 2000, Op. Cit).

<sup>60</sup> Flores Núñez, Jorge. 2000, Op. Cit

- ✓ **Piezómetro tipo neumático:** consiste en un dispositivo formado por un sistema de membrana obturadora y un filtro de arena con una piedra porosa. Existen varios sistemas para determinar la presión de equilibrio, uno de ellos consiste en inyectar aire a presión por una de las ramas hasta lograr abrir la membrana obturadora, lo cual se detecta observando el burbujeo en el extremo de la otra rama sumergida en el agua; cuando esto sucede se disminuye la presión de inyección hasta observar que el burbujeo se reduce a una pequeña cantidad constante de burbujas, registrándose en ese momento la presión de equilibrio en el manómetro de Bourdon.

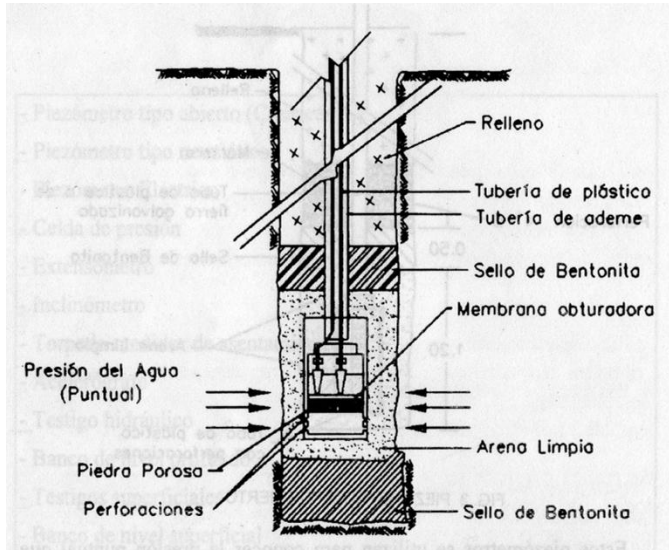


Figura 3. 25 Piezómetro tipo Neumático (Flores Núñez, Jorge. 2000, Op. Cit).

- ✓ **Extensómetro:** es el instrumento que se emplea para determinar los desplazamientos longitudinales entre los dos puntos de observación colocados en cualquier dirección, dentro de la masa de un suelo. Se pueden clasificar en mecánico y eléctricos, los cuales se subdividen de acuerdo al transductor que contengan.<sup>61</sup>

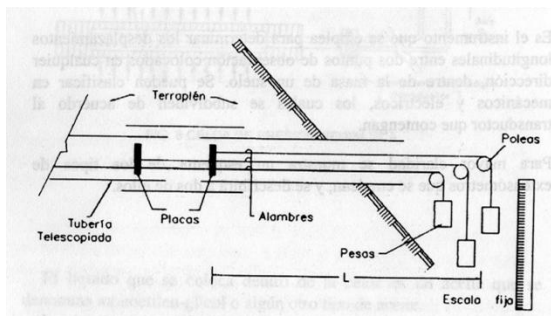


Figura 3. 26 Extensómetro mecánico de alambre tensado con pesas. (Flores Núñez, Jorge. 2000, Op. Cit).

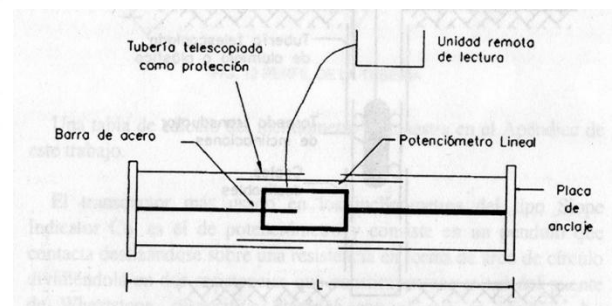


Figura 3. 27 Extensómetro de barra con potenciómetro. (Flores Núñez, Jorge. 2000, Op. Cit).

<sup>61</sup> Flores Núñez, Jorge. 2000, Op. Cit.

- ✓ **Celdas de Presión:** es el instrumento por medio del cual se miden los esfuerzos que ocurren en el interior de una masa de suelo. Consiste en dos platos metálicos soldados, formando un espacio cerrado con un líquido en su interior y un transductor de presión conectado a la celda por un tubo de pequeño diámetro.

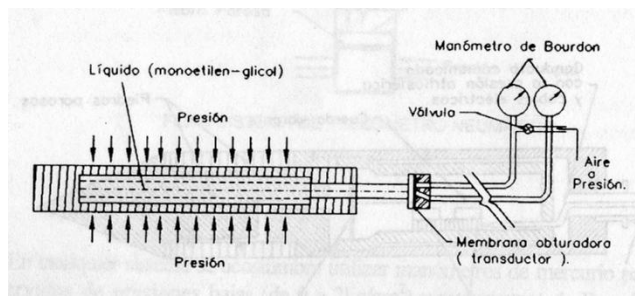


Figura 3. 28 Celda de Presión Neumática. (Flores Núñez, Jorge. 2000, Op. Cit).

- ✓ **Niveles Hidráulicos de Asentamiento (NHA):** es el dispositivo empleado para medir asentamientos de la masa de un suelo. Es operado a control remoto y está basado en las leyes de los equilibrios de los fluidos. La esencia de este tipo de medidor de asentamientos es el “nivel de manguera”, el cual se adapta a las condiciones del terreno y necesidades de cada obra.

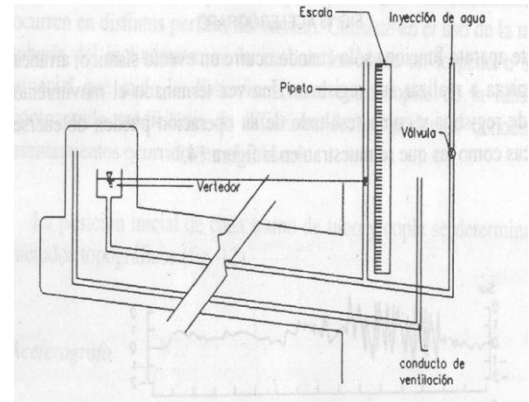


Figura 3. 29 NHA. (Flores Núñez, Jorge. 2000, Op. Cit).

- ✓ **Testigos superficiales:** son puntos de observación que se emplean para medir desplazamientos horizontales a partir de las líneas de colimación. Consisten en pequeños bloques de concreto simple con un tornillo, una varilla o un dispositivo especial para acoplar una mira deslizante.<sup>62</sup>

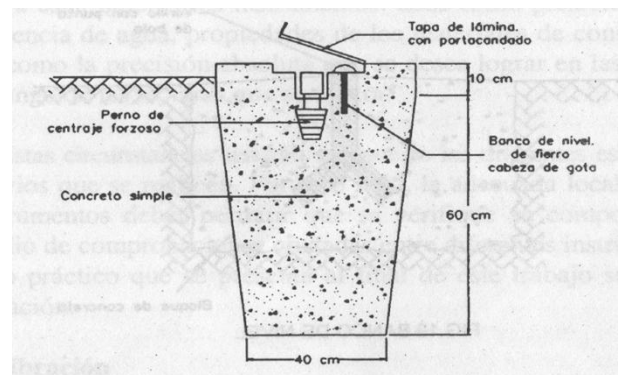


Figura 3.30 Testigo Superficial. (Flores Núñez, Jorge. 2000, Op. Cit).

<sup>62</sup> Flores Núñez, Jorge. 2000, Op. Cit.

- ✓ **Acelerógrafo:** es un dispositivo electrónico empleado en la medición de movimientos vibratorios y de aceleraciones del suelo cuando se presenta un sismo. Consiste en tres sensores del tipo masa-resorte colocados ortogonalmente, un sistema de amplificación electrónica y un registro fotográfico o de cinta magnética, un reloj, un dispositivo de arranque y una fuente de energía; todos estos elementos están contenidos dentro de una caja metálica. La instalación se realiza en el interior de una caseta que la protege de la intemperie. Cabe mencionar que al término de la construcción de la presa se colocaron dos acelerógrafos que más tarde fueron retirados.<sup>63</sup>

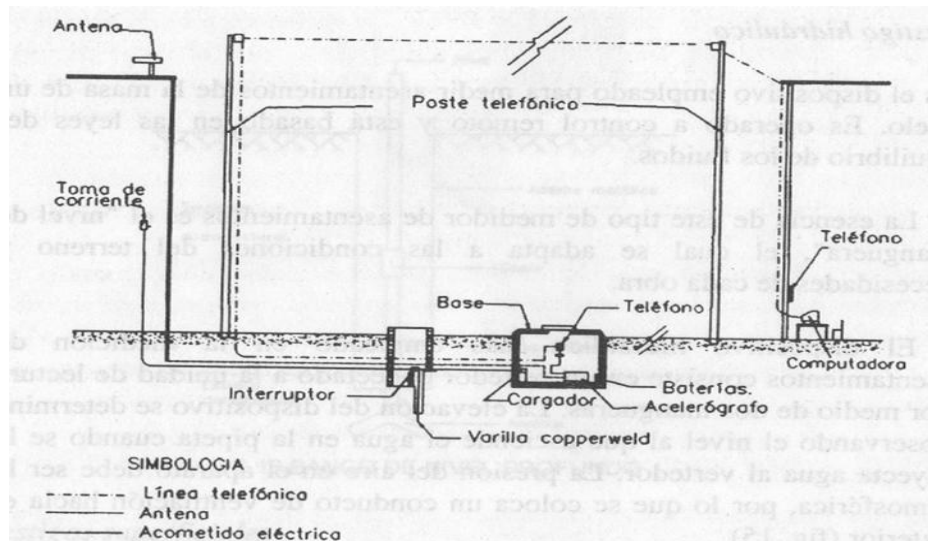


Figura 3. 31 Acelerógrafo. (Flores Núñez, Jorge. 2000, Op. Cit).

<sup>63</sup> Flores Núñez, Jorge. 2000, Op. Cit.



### 3.5.4 Zona urbana aguas arriba

Antes de la construcción de la Presa Madín, había una pequeña población que quedó sumergida en lo que ahora es el embalse, dicha población fue reubicada en la margen derecha de la Presa, con la construcción de casas nuevas brindándoles además todos los servicios necesarios como son luz eléctrica, agua potable, drenaje etc., ya que antes de la construcción esta población era muy humilde y no contaba con los servicios suficientes.

A continuación se muestra una imagen donde se señala la nueva ubicación de esta población:



Figura 3. 32 Reubicación de la Zona Urbana. (<http://maps.google.com.mx>)

-  Población Inicial
-  Reubicación de la población inicial

Como se puede observar, la nueva ubicación de la población quedó en un lugar más elevado al del nivel del vaso; también podemos ver que una pequeña parte de la población quedó en la margen izquierda ya que, como se encontraba lo suficientemente elevada no hubo necesidad de reubicarla.



### 3.5.5 Zona urbana aguas abajo

En las últimas décadas la urbanización ha crecido desmedidamente, sobre todo en el área metropolitana; y en el área aguas abajo de la Presa Madín no es la excepción, y no precisamente en la dirección correcta ya que se ha ido acercando cada vez más hacia la presa, lo que la convierte en una zona propensa a sufrir algún tipo de daño; si la presa llegara a tener algún desbordamiento u otro tipo de inconveniente, la urbanización que se encuentra ahí sería la primera en sufrir los daños, que claramente dependen del nivel de daño que llegase a tener la presa en algún momento.

Para poder evaluar el nivel de riesgo al que se enfrenta esta población es necesario identificar los puntos vulnerables no sólo de la Presa Madín, sino también de las estructuras geológicas en general como lo son las fallas, fracturas, deslizamientos de talud, hundimientos etc. y que se encuentran alrededor de esta área urbana.

En la imagen podemos observar la ubicación de la urbanización aguas abajo de la presa que como se ve, es bastante extensa.

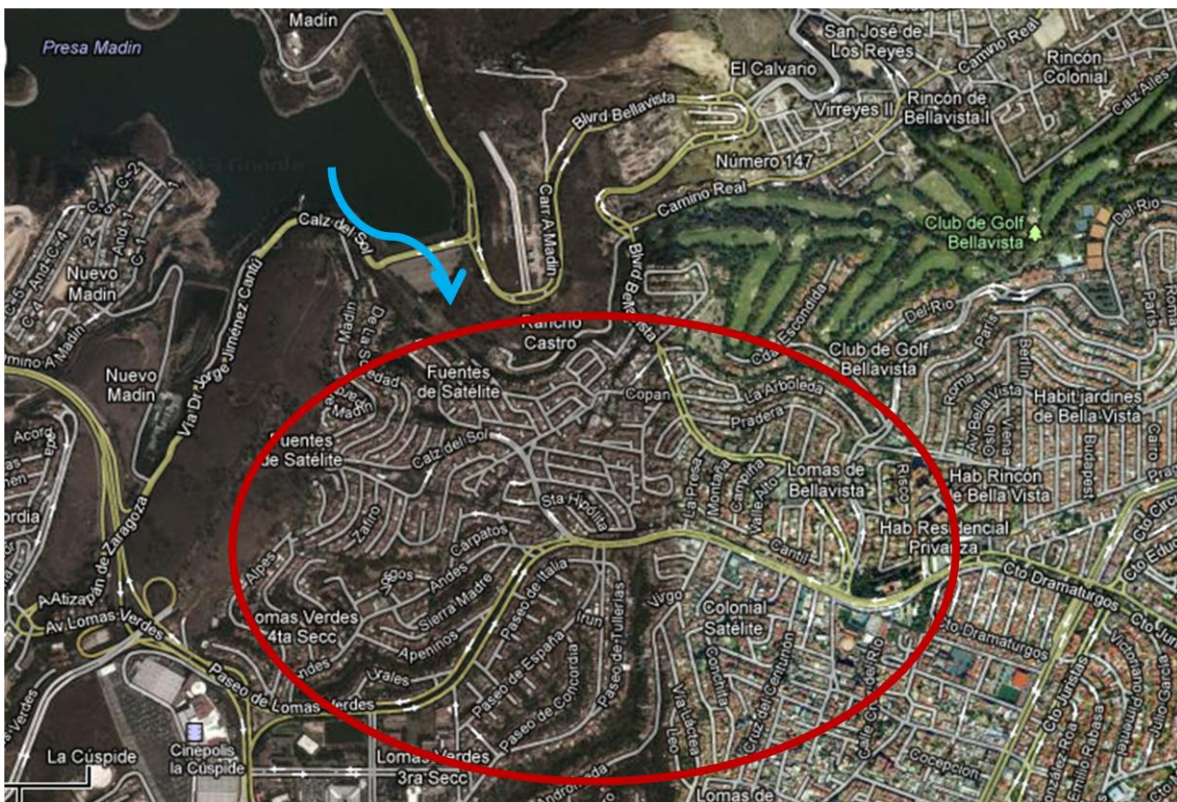


Figura 3. 33 Zona Urbana Aguas Abajo. (<http://maps.google.com.mx>, 2012)

# CAPÍTULO IV: Metodología

**Objetivo Particular:** Conocer los procedimientos de cada una de las pruebas que se realizarán tanto en laboratorio como en campo.

## Capítulo IV: Metodología

### 4.1 Para las pruebas de laboratorio

En este capítulo se mencionarán algunos procedimientos de laboratorio que se pueden emplear para realizar un análisis más preciso del comportamiento de los puntos de posible riesgo en un área determinada, ya que nos proporcionarán los parámetros adecuados para conocer las características tanto físicas como mecánicas del lugar y nos permitirían conocer de acuerdo a una correcta evaluación si nos encontramos en un punto de verdadero riesgo.

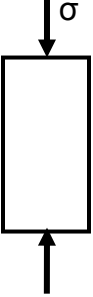
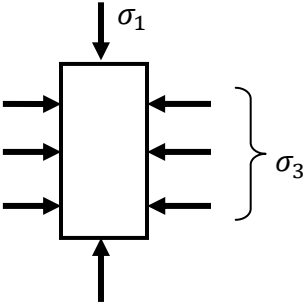
COMPRESIÓN SIMPLE	COMPRESIÓN TRIAXIAL
<p>✓ No hay Confinamiento</p> <p>✓ <math>C = \frac{q_u}{2}</math></p> <p>Donde:</p> <p><math>C = \text{Cohesión}</math></p> <p><math>q_u = \text{Resistencia a la Compresión Simple}</math></p> 	<p>✓ Existe Confinamiento</p> <p>Modalidades:</p> <p>✓ Prueba Consolidada Drenada (CD)</p> <p>✓ Prueba Consolidada No Drenada (CU)</p> <p>✓ Prueba No Consolidada No Drenada (UU)</p> 

Figura 4. 1 Cuadro Comparativo Compresión Simple y Triaxial

#### 4.1.1 Procedimiento para las pruebas de compresión simple en suelos

##### ✓ **Introducción**<sup>64</sup>

La prueba de compresión simple es la más usada en los laboratorios de Mecánica de Suelos para trabajos de rutina. Esta prueba tiene la ventaja de ser de fácil realización y de exigir equipo relativamente sencillo en comparación con las pruebas triaxiales. Sin embargo, una correcta interpretación de sus resultados es más difícil que en el caso de las pruebas triaxiales, si se desea ir al fondo de los mecanismos de falla que tienen lugar; por el contrario, los resultados de la prueba son de fácil aplicación a los trabajos de rutina, pero es recomendable que las conclusiones que se deriven de esta prueba vayan siempre interpretadas por un especialista. La prueba queda circunscrita a arcillas y suelos cohesivos, en arenas y suelos arenosos se puede aplicar el método de reproducción de probetas con pesos volumétricos naturales.

##### ✓ **Equipo**<sup>65</sup>

- Deformímetro: indicador de deformaciones, debe ser un comparador de carátula graduada a 0.02mm con un rango de medición de por lo menos un 20% de la longitud del espécimen para el ensayo, o algún otro instrumento de medición, como un transductor que cumpla estos requerimientos.
- Instrumentos de medición: Micrómetro u otro instrumento adecuado para medir las dimensiones físicas del espécimen dentro del 0.1% de la dimensión medida.
- Cronómetro: un instrumento de medición de tiempo, que indique el tiempo transcurrido con una precisión de 1 seg. para controlar la velocidad de aplicación de deformación prescrita anteriormente.
- Balanza: la balanza usada para pesar los especímenes debe determinar su masa con una precisión del 0.1 % de su masa total.

##### ✓ **Preparación de la muestra**<sup>66</sup>

Tamaño de la muestra: Debe tener un diámetro mínimo de 30mm y las partículas mayores dentro de ésta no deben ser menores al 10% el diámetro de la muestra. Para muestras con diámetro de 72mm o mayor, el tamaño máximo de las partículas deben ser menores que el 6% el diámetro de la muestra.

---

<sup>64</sup> Juárez Badillo, Eulalio. Et.al. "Fundamentos de Mecánica de Suelos", Tomo 1, Limusa, México, 1970.

<sup>65</sup> Comunicación Personal con el Dr. Ricardo Enrique Ortiz Hermosillo. "Manual de Practicas del Laboratorio de Mecánica de Suelos", México, 2009.

<sup>66</sup> Comunicación Personal con el Dr. Ricardo Enrique Ortiz Hermosillo, 2009.

Si al final de la prueba se observa la existencia de partículas dentro del espécimen, mayores que las permitidas se debe anotar en el informe dichas características. La relación altura – diámetro debe estar entre 2 y 2.5. Se deben tomar tres medidas de la altura del espécimen a cada 120° y tres medidas del diámetro a la mitad de cada cuarto de la altura.

Se debe evitar cualquier cambio del contenido de agua durante la manipulación de los tubos muestreadores y de la muestra ya cortada.

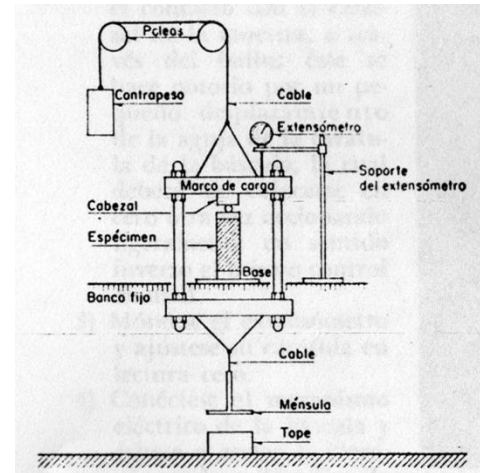


Figura 4. 2 Esquema de un aparato de compresión simple. (Juárez Badillo, Eulalio. Et.al. 1970)

#### ✓ Protección de la muestra contra la evaporación.<sup>67</sup>

Aún en pruebas de unos minutos de duración, es conveniente proteger a los especímenes contra la evaporación; para ello existen muchos métodos, algunos de los cuales se mencionan a continuación ordenados de menor a mayor efectividad:

1. Envuélvase la muestra en una toalla de papel húmeda sin que quede ceñida.
2. Cúbrase el espécimen con una capa delgada de grasa.
3. Enciérrase el espécimen en una cámara cerrada con agua en el fondo.
4. Cúbrase el espécimen con una membrana de hule delgado.
5. Envuélvase el espécimen con dos membranas de hule y una capa delgada de grasa a prueba de agua entre ellas, sumergiendo el conjunto totalmente en agua.

#### ✓ Procedimiento de prueba

El procedimiento según la norma ASTM- D2166-98A es el siguiente<sup>68</sup>:

- Colocar el micrómetro en ceros (o tomar lectura inicial)
- Aplicar la carga con una velocidad de deformación axial de ½ a 2% / min.
- Anotar la carga, deformación y el tiempo para definir la forma de la curva esfuerzo-deformación, usualmente son suficientes de 10 a 15 puntos.

<sup>67</sup> Juárez Badillo, Eulalio. Et.al. Op. Cit.

<sup>68</sup> Comunicación Personal con el Dr. Ricardo Enrique Ortiz Hermsillo, 2009, Op. Cit.

- La velocidad de deformación debe de escogerse de tal forma que el tiempo de falla no exceda de 15 minutos (los materiales muy suaves se deben fallar con una velocidad de deformación alta, mientras que los materiales frágiles se deben fallar con una velocidad de deformación menor). Continuar cargando hasta que el valor de la carga disminuya y la deformación aumente, o hasta que se alcance el 15% de la deformación.
- Indicar la velocidad de la deformación en el reporte.
- Determinar el contenido de agua (indicar si el contenido de agua se obtuvo de los cortes o de la muestra ensayada).
- Hacer un esquema de la muestra fallada y mostrar la pendiente de falla.

✓ **Análisis**<sup>69</sup>

Calcular la deformación axial (con aproximación del 0.1%):  $\varepsilon_n = \frac{\delta_n}{H_o}$ .

$\delta_n =$  Lecturas del micrómetro en mm.

Calcular el área transversal corregida para cada lectura del micrómetro:  $A_c = \frac{A_o}{1 - \varepsilon_n}$

$A_o =$  Área inicial de la muestra en mm<sup>2</sup>

$\varepsilon_n =$  deformación axial en mm/mm

Calcular el esfuerzo de compresión:  $\sigma_c = \frac{P}{A_c}$

$P =$  carga aplicada (a cada 1KPa).

Graficar la curva esfuerzo de compresión (ordenada) en Kg/cm<sup>2</sup> y en KPa–deformación axial (abscisa) en % y seleccionar el valor máximo del esfuerzo de compresión o el esfuerzo de compresión para el 15% de deformación axial y reportar este esfuerzo como al resistencia a la compresión no confinada (qu) en Kg/cm<sup>2</sup> y en KPa. La escala a utilizar en el eje de las abscisas debe ser de 0 a 20%.

Graficar la curva esfuerzo de compresión (ordenada) en Kg/cm<sup>2</sup> y en KPa–deformación axial (abscisa) en mm/mm y determinar la pendiente de la recta que une el punto del origen de la gráfica con el punto máximo del esfuerzo de

<sup>69</sup> Comunicación Personal con el Dr. Ricardo Enrique Ortiz Hermsillo, 2009, Op. Cit.

compresión para obtener el Modulo Elástico Secante (Es) en Kg/cm<sup>2</sup> y en KPa. La escala a utilizar en el eje de las abscisas debe ser de 0 a 0.2.

Graficar el circulo de Mohr y determinar la resistencia al esfuerzo cortante (Su) como ½ de qu en Kg/cm<sup>2</sup> y en KPa.

#### ✓ Errores posibles

La elección de la magnitud de los incrementos de carga aplicados o de la velocidad de aplicación de la carga puede influir en la forma de la curva esfuerzo-deformación y en el valor de la resistencia última.

El labrado del espécimen y la prueba deben realizarse en un cuarto húmedo para evitar evaporación.

Por un ajuste impropio de la base o el cabezal con el espécimen pueden tenerse errores en las lecturas del extensómetro y en la verticalidad de las muestras; en arcillas duras y frágiles es aconsejable cabecear los especímenes antes de la prueba.<sup>70</sup>

---

<sup>70</sup> Juárez Badillo, Eulalio. Et.al. Op. Cit.

#### 4.1.2 Procedimiento para las pruebas de compresión triaxial en suelos

##### ✓ **Introducción**<sup>71</sup>

Las pruebas de compresión triaxial se realizan con el propósito de determinar las características de esfuerzo- deformación y resistencia de los suelos sujetos a esfuerzos cortantes producidos cuando varían los esfuerzos principales que actúan sobre un espécimen cilíndrico del suelo que se trate. En los tipos más usuales del aparato de prueba, dos de los esfuerzos principales se producen por presión de un líquido que rodea el espécimen y, por lo tanto, son iguales.

##### ✓ **Equipo**<sup>72</sup>

- Marco de carga.
- Anillo de carga con micrómetro.
- Micrómetro.
- Vernier.
- Cronómetro.
- Equipo y herramienta de labrado.
- Balanza.
- Curva de calibración del anillo.
- Cámara de compresión triaxial.

El aparato consiste en una cámara de policarbonato transparente que tiene un pistón en la tapa y una base con doble fondo llamada cámara triaxial. Tres tornillos simples se utilizan para fijar la parte superior de la cámara a la base, lo que permite un fácil ensamble y desensamblaje. La base de la cámara tiene 4 puntos internos para drenar en la tapa o en el fondo. Dos de estos tienen válvulas especiales sin cambio de volumen.

A la cámara triaxial se le puede adaptar un transductor sumergible el cual, colocado dentro de la cámara triaxial, da una señal eléctrica proporcional a la carga axial, asegurando una medición precisa del esfuerzo.<sup>73</sup>

---

<sup>71</sup> Juárez Badillo, Eulalio. Et.al. Op. Cit.

<sup>72</sup> Comunicación Personal con el Dr. Ricardo Enrique Ortiz Hermsillo, 2009, Op. Cit.

<sup>73</sup> Juárez Badillo, Eulalio. Et.al. Op. Cit.



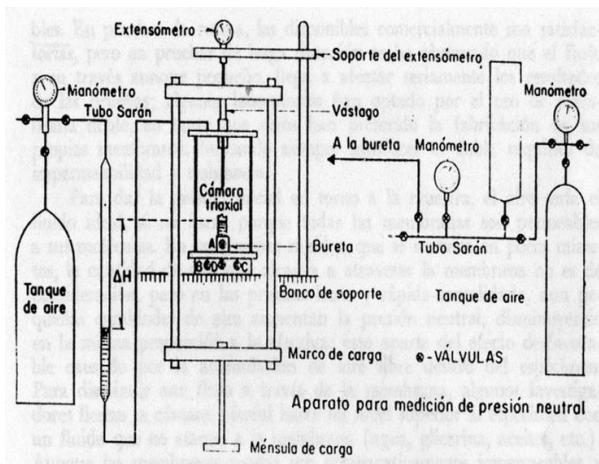


Figura 4. 3 Aparato en conjunto para pruebas de Compresión Triaxial. (Juárez Badillo, Eulalio. Et.al. 1970)

Estos transductores han sido diseñados para operar sumergidos dentro de ambientes presurizados sin responder a la presión de confinamiento de la cámara.

El transductor da una señal eléctrica proporcional al componente axial de la carga aplicada. La carga aplicada se mide directamente en la muestra eliminando el efecto de fricción del pistón de carga. El transductor se compone de un sistema sensible a la carga que funciona por medio de un extensómetro eléctrico.

Las cargas se aplican colocando pesas en una ménsula apropiada que cuelga de un marco móvil. Esto implica realizar la prueba por el método de esfuerzo controlado; alternatively puede aplicarse la carga controlando la velocidad de deformación (deformación controlada); en este caso, debe medirse la magnitud de la carga, insertando un anillo de carga calibrado entre el vástago y el cabezal de la muestra o entre el vástago y el marco de carga. En ocasiones la prueba se efectúa sobre una báscula cuya caratula da directamente sin necesidad de anillo, las cargas aplicadas en cada instante.

Cuando se usa el método de esfuerzo controlado, la deformación se mide simplemente colocando un extensómetro sobre el marco de carga.

En las pruebas de compresión triaxial se requiere que la muestra esté enfundada en membranas transparentes, resistentes e impermeables.<sup>74</sup>

### ✓ Preparación de la muestra<sup>75</sup>

Tamaño de la muestra: La muestra debe tener un diámetro mínimo de 30mm y las partículas mayores dentro de ésta no deben ser menores al 10% el diámetro de la muestra. Para muestras con diámetro de 72mm o mayor, el tamaño máximo de las partículas deben ser menores que el 6% el diámetro de la muestra. Si al final de la prueba se observa la existencia de partículas dentro del espécimen, mayores que las permitidas se debe anotar en el informe dichas características. La relación altura- diámetro debe estar entre 2 y 2.5. Se deben tomar tres medidas de la altura

<sup>74</sup> Chávez Aguirre, José María. 2006. Op. Cit.

<sup>75</sup> Comunicación Personal con el Dr. Ricardo Enrique Ortiz Hermsillo, 2009, Op. Cit.

del espécimen a cada 120° y tres medidas del diámetro a la mitad de cada cuarto de la altura.

Se debe evitar cualquier cambio del contenido de agua durante la manipulación de los tubos muestreadores y de la muestra ya cortada.

✓ **Procedimiento basado en la Norma ASTM<sup>76</sup>**

- Colocar la membrana en el cilindro de colocación y acomodar la muestra en la base de la cámara con el cabezal.
- Colocar el cilindro entre la muestra y deslizar la membrana sobre la base y el cabezal, sellando con dos O-rings en cada extremo.
- Armar la cámara triaxial. Bajar el pistón de carga hasta que haga contacto con el cabezal y alinear longitudinalmente con la muestra.
- Colocar el micrómetro de deformación en ceros (o tomar lectura inicial), tener precaución de aplicar ninguna carga axial a la muestra. Si el peso del pistón es mayor al 0.5% de la resistencia a la compresión estimada, sujetar el pistón sin que toque el cabezal y bajarlo hasta que se aplique la presión interna de la cámara.
- Alinear la cámara triaxial con el marco de carga y el dispositivo de medición para evitar la aplicación de una carga lateral al pistón durante la prueba. Llenar la cámara con el líquido de confinamiento. Ajustar la presión deseada dentro del cilindro de reserva y enviar la presión al líquido de la cámara triaxial. Esperar 10 minutos después de la aplicación de la presión de la cámara para permitir que la muestra se estabilice. El periodo de espera puede ser mayor para suelos blandos parcialmente saturados.
- Aplicar la carga con una velocidad de deformación axial de 1% / min. para materiales cohesivos y de 3%/min para materiales frágiles que alcanzan un esfuerzo desviador máximo de aproximadamente el 3 a 6% de deformación. A estas velocidades, el tiempo para alcanzar el esfuerzo desviador máximo será aproximadamente de 15 a 20 min. Continuar cargando hasta el 15% de la deformación axial. Excepto cuando el esfuerzo desviador presente un pico y luego caiga un 20%.
- Anotar la carga, deformación y el tiempo para incrementos de 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5% de deformación; y luego para incrementos de 0.5% hasta 3% de la deformación y por último a cada 1%. Tomar suficientes lecturas para definir la forma de curva esfuerzo-

---

<sup>76</sup> Comunicación Personal con el Dr. Ricardo Enrique Ortiz Hermsillo, 2009, Op. Cit.

deformación, se recomienda que se tomen más puntos al inicio de la prueba y durante la aproximación a la falla.

- Determinar el contenido de agua (indicar si se obtuvo de los cortes o de la muestra ensayada).
- Hacer un esquema de la muestra fallada y mostrar la pendiente de falla.

La prueba triaxial puede realizarse en diferentes maneras:

- **Prueba no consolidada no drenada (UU)**<sup>77</sup>: con este método se determina el esfuerzo cortante en condiciones no drenadas, lo que significa que no se permiten cambios en los esfuerzos conforme se desarrolla la prueba.

En esta prueba se hacen actuar cargas sobre la ménsula, colocando los incrementos con intervalos de un minuto, obteniendo las lecturas correspondientes del extensómetro a cada incremento, cinco segundos antes de agregar el siguiente incremento.

El peso de cada incremento será un decimo de la carga de falla prevista. Según la muestra se vaya acercando a la falla, deberá ser cuidadosamente observada tomándose nota del desarrollo de grietas, abultamientos, pérdidas de verticalidad, etc. A veces es deseable disminuir la magnitud de los incrementos de carga a la mitad cerca de la falla; en este caso, los intervalos en que actúan los incrementos se reducirán también a medio minuto.

Después de que el espécimen haya fallado o de que su deformación axial sobrepase el 25-30% cesa el proceso de incrementar la carga, se quita la presión de la cámara, se retiran las pesas de las ménsulas y se quita el extensómetro.

- **Prueba consolidada no drenada (CU)**: con este método se define el esfuerzo cortante en función de los esfuerzos geostáticos aplicados a través de la cámara de presión antes de la falla. Debido a que el esfuerzo cortante aumenta con la presión de la cámara, se puede establecer la siguiente relación:<sup>78</sup>

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi$$

---

<sup>77</sup> Juárez Badillo, Eulalio. Et.al. Op. Cit

<sup>78</sup> Chávez Aguirre, José María. 2006. Op. Cit.

Donde:

$\tau =$  *esfuerzo cortante*

$\sigma =$  *esfuerzo de compresión aplicada*

$c =$  *cohesión*

$\varphi =$  *ángulo de fricción interna*

a) Etapa de consolidación: Las lecturas iniciales durante la primera etapa necesitan dos operadores; uno para leer el extensómetro y registrar los datos y el otro para leer las variaciones del nivel en la bureta.

1. En un cierto tiempo registrado, se abre la válvula A completamente.
2. Se toman lecturas simultáneas del extensómetro y bureta, en tiempo de 15seg, 30seg., 1min, 2 min, 4min, 8min, 15min, 1hr, 2hr, 4hr,etc., después de haberse iniciado el proceso de consolidación, por abrirse la válvula A.
3. Trácese graficas semilogarítmicas de lecturas del extensómetro y de la bureta contra los tiempos transcurridos (escala logarítmica), simultáneamente al proceso de consolidación.
4. Al llegar al 100% de consolidación primaria, lo cual se nota por definirse tramos rectos en las curvas de consolidación, pero en ningún caso antes de 24hr, se cierra la válvula A.

b) Etapa de Carga axial y falla: se seguirá el mismo procedimiento descrito para la prueba no consolidada no drenada.<sup>79</sup>

- **Prueba consolidada drenada (CD):** este método es relativamente similar al consolidado no drenado en que el esfuerzo cortante puede relacionarse a la carga aplicada. La diferencia consiste en que cuando la carga se aplica, se permite al espécimen drenar. La prueba se lleva a cabo muy lentamente para permitir el drenaje y desarrollar por completo el esfuerzo efectivo.<sup>80</sup>

a) Etapa de consolidación: el procedimiento es análogo al descrito en la sección a) del procedimiento para la prueba consolidada no drenada.

b) Etapa de carga axial y falla: la carga axial se aplica en incrementos, permitiendo completo drenaje de la muestra en todo momento. La velocidad de aplicación de las cargas y la magnitud de los incrementos aplicados varían a lo largo de la prueba sin que pueda establecerse una secuela definida. Los incrementos de carga iniciales pueden ser grandes, posiblemente del orden de  $\frac{1}{4}$  de la carga de falla prevista, dejando aplicado cada uno hasta obtener por lo menos un 75% de

<sup>79</sup> Juárez Badillo, Eulalio. Et.al. Op. Cit

<sup>80</sup> Chávez Aguirre, José María. 2006. Op. Cit.

consolidación primaria. Después los incrementos deben ser de mucha menor magnitud y debe dejarse que cada uno obre por lo menos durante 24 horas. Al principio no se requiere obtener curvas de consolidación más que para verificar el haber alcanzado la consolidación primaria deseada, a menos que exista una razón especial para trazarlas. No obstante, al final de la prueba si es preciso disponer de frecuentes lecturas del extensómetro y la bureta para poder calcular el área corregida de la sección transversal de la muestra. Deben tenerse registros frecuentes de la presión imperante en la cámara y de la temperatura del cuarto.<sup>81</sup>

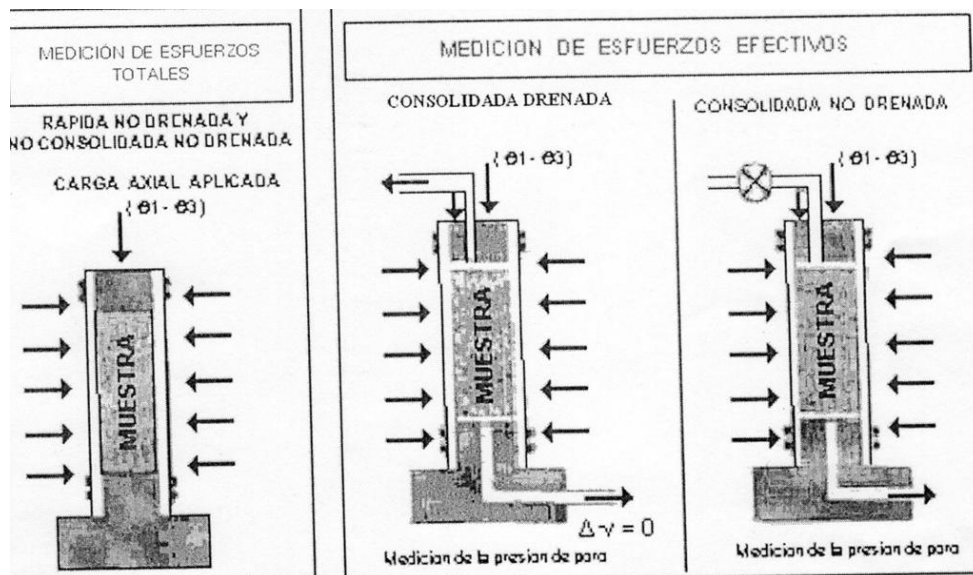


Figura 4. 4 Tipos de muestras de Pruebas de Compresión Triaxial. (Chávez Aguirre, José María. 2006. Op. Cit.)

### ✓ Cálculos<sup>82</sup>

#### a) Prueba no consolidada no drenada (UU)

Dibújese la curva esfuerzo- deformación unitaria. El área corregida se calcula con la ecuación:

$$A = \frac{100 A_0}{100 - Deformacion (\%)} \quad (1)$$

Donde  $A_0$  es el area de la sección transversal de la muestra al inicio de la prueba.

<sup>81</sup> Juárez Badillo, Eulalio. Et.al. Op. Cit

<sup>82</sup> Juárez Badillo, Eulalio. Et.al. Op. Cit

Téngase en cuenta para comprender la expresión (1) que el volumen inicial de la muestra se supone igual al final: por lo tanto, si  $l_0$  es la longitud inicial de la muestra, se tendrá:

$$A_0 l_0 = (l_0 - \text{deformacion total})A$$

Entonces:

$$A = \frac{A_0 l_0}{l_0 - Def.}$$

Si  $l_0$  se toma como 100% y la deformación es unitaria, se llega de inmediato a la expresión (1).

También se trazara el Círculo de Mohr correspondiente a los esfuerzos en el instante de la falla,  $\sigma_3$  igual a la presión hidrostática y  $\sigma_1$  igual a  $\sigma_3$ , más el esfuerzo desviador aplicado por el vástago. Si se ejecutan varias pruebas rápidas trácese la envolvente a los diversos círculos de Mohr obtenidos (uno de cada prueba).

**b) Prueba consolidada no drenada (CU):**

El área corregida de la muestra al fin de la primera etapa, que es inicial para la segunda etapa de carga, se calculará con la expresión:

$$A_0 = \frac{V - \Delta V}{H - \Delta H} \quad (2)$$

Donde:

*V = Volumen original del espécimen*

*$\Delta V$  = Cambio de volumen registrado en la bureta*

*H = Altura original de la muestra*

*$\Delta H$  = Cambio de altura de la muestra, registrada por el extensómetro*

En la segunda etapa deberá calcularse el área de la muestra correspondiente a cada incremento de carga aplicado, mediante la fórmula (1); con ello podrán trazarse las curvas Esfuerzo- deformación. Trácese los círculos de Mohr de falla. Si se hacen varias pruebas, trácese la envolvente en los círculos obtenidos.

**c) Prueba Consolidada drenada (CD):**

El área en el momento de la falla podrá calcularse con la expresión (2); así podrá calcularse el esfuerzo desviador. Trácese el círculo de Mohr correspondiente y la envolvente de falla, si se efectúan varias pruebas.

#### 4.1.3 Procedimiento para las pruebas de compresión simple en roca<sup>83</sup>

##### ✓ Introducción

El esfuerzo máximo de compresión es definido como el esfuerzo necesario para producir la fractura del testigo cilíndrico de roca. Se considera que la fractura ocurre cuando se produce la caída repentina en la aplicación de la carga, no siendo capaz el testigo de soportar incrementos de carga posteriores. Para poder relacionar los ensayos es necesario uniformizar los resultados empleando testigos con una relación longitud/diámetro (l/d) constante; dicha relación se recomienda que sea entre 2 y 2.5. El paralelismo entre las bases es muy importante ya que pequeñas imperfecciones pueden causar considerables errores en los resultados.

##### ✓ Equipo

- Máquina de ensayos: Una prensa capaz de medir la carga aplicada sobre el testigo, con una capacidad de carga de 100 toneladas y que cumple con los requerimientos de la norma ASTM E4 y British Standard 1610.
- Bloques de asiento: La máquina de ensayos está equipada con dos bloques de asiento en forma de disco. El bloque inferior tiene una base esférica, y el superior una base rígida. El centro del asiento esférico debe coincidir con el centro del testigo que será colocado sobre él. El asiento esférico debe estar siempre lubricado con aceite mineral o grasa de manera que gire libremente sobre su base.

##### ✓ Preparación de testigos (ASTM D 4534)

- Los testigos deben ser cilindros rectos circulares con una relación longitud diámetro (l/d) entre 2 y 2.5. Deberá tener un diámetro mayor de 47mm, cuando se cuente con testigos de menor diámetro se deberá reportar en el informe.
- La superficie cilíndrica del testigo debe ser lisa y sin irregularidades abruptas.
- Las bases deben ser paralelas entre sí, sin una desviación mayor a 0.025mm y perpendiculares al eje longitudinal del cilindro (para lograr el paralelismo se emplea una máquina refrentadora).
- No se permiten testigos que estén cubiertos con algún material o que tengan algún tratamiento superficial.

---

<sup>83</sup> <http://es.scribd.com>. "Manual de laboratorio de Mecánica de rocas". 2010

- El diámetro debe ser medido con aproximación de 0.1mm y debe ser el promedio de la medida de dos diámetros perpendiculares entre sí y tomadas en la parte media del testigo.
- La altura debe ser tomada del centro de las bases y con aproximación de 0.1mm.
- La condición de humedad del testigo puede tener un efecto significativo en la resistencia que pueda alcanzar la roca. Los testigos no deben ser almacenados por más de 30 días y se deben tratar de conservar las condiciones de humedad natural hasta el momento del ensayo.
- El número de testigos a ensayar depende de la disponibilidad de éstos. Se recomienda ensayar por lo menos 3 testigos de cada muestra de roca para poder tener un resultado estadísticamente confiable.

#### ✓ Procedimiento de prueba (ASTM D 2938)

- Asegurar que el asiento esférico pueda girar libremente sobre su base.
- Limpiar las caras de los bloques superior e inferior y del testigo.
- Colocar el testigo sobre el asiento inferior. La carga y el asiento superior se acercan hacia el testigo gradualmente hasta que se obtiene un asentamiento uniforme de la carga sobre el testigo.
- Se coloca una malla protectora alrededor del testigo para prevenir posibles daños, ya que muchos tipos de roca fallan por compresión de manera violenta.
- La carga debe ser aplicada en forma continua con una razón constante, de manera que la falla ocurra entre 5 y 10 minutos después de iniciada la carga.
- Registrar la carga máxima aplicada sobre el testigo.

#### ✓ Cálculos

El esfuerzo de compresión simple se obtiene dividiendo la máxima carga aplicada sobre el testigo durante el ensayo entre el área de la sección circular del testigo expresado en Kgf/cm<sup>2</sup> ó KPa.

Si la relación l/d es menor que 2 se hace una corrección al esfuerzo:

$$C = \frac{Ca}{\left(0.88 + \left(\frac{0.24d}{h}\right)\right)}$$



C= Resistencia corregida

Ca= Resistencia última

d= diámetro del testigo

h= altura del testigo

Se elabora un informe el cual debe incluir:

- Nombre del proyecto, tipo de roca y lugar de procedencia de la muestra.
- Fecha de recepción de la muestra.
- Fecha de ejecución del ensayo.
- Número de testigos ensayados por muestra.
- Condición de la humedad de la muestra al momento del ensayo.
- Número, longitud, diámetro, área, carga máxima, resistencia a la compresión y resistencia corregida si es necesario de cada testigo.
- Valor promedio de resistencia a la compresión de la muestra.
- Dibujo esquemático del tipo de falla de los testigos.

#### 4.1.4 Procedimiento para las pruebas de compresión triaxial en roca<sup>84</sup>

##### ✓ Introducción

En un ensayo de compresión triaxial, la carga axial y su esfuerzo principal correspondiente simulan el esfuerzo principal mayor que actúa en la corteza ( $\sigma_1$ ), mientras que la tensión radial producida por la presión hidráulica representa el esfuerzo principal menor ( $\sigma_3$ ).

Cuando se indica un valor de resistencia a la compresión triaxial, habrá que mencionar necesariamente la presión de confinamiento ( $p$ ) que se aplicó durante el ensayo. Para encontrar una relación entre  $\sigma_1 = f(\sigma_3)$ , donde  $\sigma_3$  es la presión de confinamiento y  $\sigma_1$  la resistencia a la compresión triaxial, habrá que realizar varios ensayos, en cada uno de los cuales se aplicarán diferentes presiones de confinamiento.

Cada par de valores  $\sigma_1$  y  $\sigma_3$  sirven para construir dos tipos de gráficos. El primer tipo representa el lugar geométrico de la relación existente entre  $\sigma_1$  y  $\sigma_3$ . El segundo tipo de gráfico nos permite construir los círculos de Mohr en los ejes  $\sigma - \tau$  para luego trazar la envolvente de Mohr.

---

<sup>84</sup> <http://es.scribd.com>. "Manual de laboratorio de Mecánica de rocas". 2010

## ✓ **Equipo**

El equipo consiste de tres partes: Una celda triaxial, un equipo de carga y un equipo para generar presión de confinamiento.

### Celda triaxial

- El cuerpo de la celda debe tener dos conexiones: uno para la entrada del aceite y otro para la salida del aire.
- Una membrana impermeable y flexible que debe tener el mismo diámetro que el del testigo. El testigo quedará dentro de la membrana totalmente rodeado por agua sin que éste penetre la roca.
- Dos platinas con asientos esféricos se colocan en ambos lados del testigo.

### Equipo para aplicar y medir la carga axial

- Una prensa que puede aplicar y medir la carga axial sobre el testigo, con una capacidad de carga de 100 toneladas y que cumpla con los requerimientos de la Norma ASTM E4 y British Standard 1610.
- El bloque de asiento esférico de la máquina debe ser retirado. Las caras de carga deben ser paralelas entre sí.

### Equipo para generar y medir la presión de confinamiento

- Una bomba hidráulica capaz de mantener constante la presión de confinamiento ( $\sigma_3$ ) con no más del 2% de desviación del valor deseado.
- Un manómetro que permite observar y registrar que la presión de confinamiento se mantenga constante.

## ✓ **Preparación de testigos**

- Los testigos deben ser cilíndricos circulares con una relación longitud-diámetro ( $l/d$ ) entre 2 y 2.5.
- La superficie del testigo debe ser lisa y libre de irregularidades abruptas, con todos sus elementos alineados sin desviarse más de 0.5mm a lo largo del testigo.
- Las bases deben ser paralelas entre sí, sin desviarse más de 0.025mm y perpendiculares con respecto al eje longitudinal del cilindro sin apartarse más de 0.05mm.
- No se permiten testigos que estén cubiertos con otro material o que tengan algún tratamiento superficial diferente al de la máquina refrendadora.

- El diámetro debe ser medido con aproximación de 0.1mm y debe ser el promedio de las medidas de dos diámetros perpendiculares entre sí y tomadas en tres partes del testigo: superior, medio, inferior.
- La altura debe ser tomada con aproximación al mm.
- La condición de humedad del testigo puede tener un efecto significativo en la resistencia que pueda alcanzar la roca. Los testigos no deben ser almacenados por más de 30 días. Una buena práctica es tratar de conservar las condiciones de humedad natural del testigo hasta el momento del ensayo.
- El número de testigos a ensayar depende del número de las diferentes presiones de confinamiento con las que se desea ensayar.

✓ **Procedimiento de prueba (ASTM D 2664-86)**

- La celda es ensamblada con el testigo instalado en la membrana y entre las platinas. El testigo, las platinas y los asientos esféricos deben estar alineados entre sí. Los asientos estarán lubricados con grasa o aceite.
- La celda triaxial se llena con agua permitiendo que el aire salga por la conexión de escape. Nos aseguramos que la membrana no tenga fisuras ni huecos, de manera que el agua no penetre en el testigo.
- La celda se instala en el equipo de aplicación de carga.
- Se establece la presión de confinamiento en el nivel predeterminado y se mantiene constante, entonces se aplica la carga. El máximo valor de carga axial y su correspondiente presión de confinamiento se registran.
- Se repite el procedimiento con otro valor de presión de confinamiento.

✓ **Cálculos**

- La resistencia a la compresión ( $\sigma_1$ ) se calcula dividiendo el máximo valor de la carga aplicada y el área de la sección transversal del testigo.
- Las presiones de confinamiento con sus correspondientes valores máximos de resistencia a la compresión se grafican; el valor de presión de confinamiento en las abscisas y el valor de resistencia a la compresión en las ordenadas.
- Se juntan los puntos con una línea que para consideraciones prácticas será una recta caracterizada por su pendiente "m" y su ordenada en el origen "b".

- Con  $m$  y  $b$  obtenemos el ángulo de fricción  $\phi$  y el valor de cohesión aparente  $C$  usando:

$$\phi = \arcsin(\pm 1)$$

$$C = b(1 - \sin\phi)$$

Una forma más directa de hallar  $\phi$  y  $C$  es graficar la envolvente de los círculos de Mohr:  $\sigma_1$  y  $\sigma_3$  en las abscisas y la resistencia al corte en las ordenadas. Luego se traza una recta tangente a los círculos. El ángulo que forma esta recta con el eje de las abscisas será el valor de  $\phi$  y la intersección de la recta con el eje de las ordenadas será el valor de  $C$ .

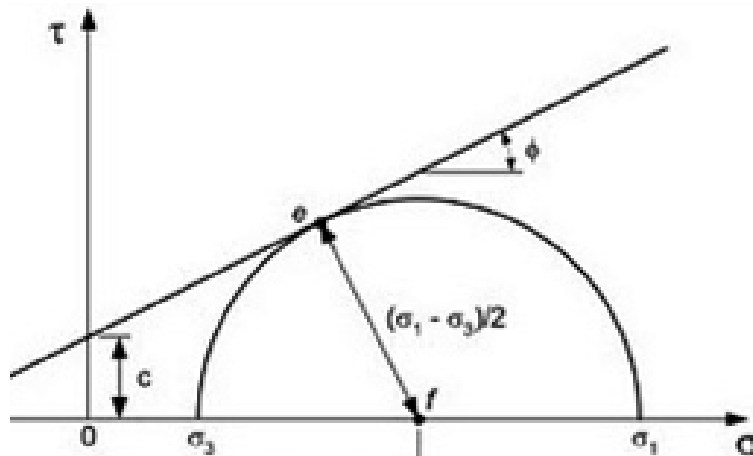


Figura 4. 5 Círculo de Mohr, (<http://geotecnia-sor.blogspot.mx>, 2012).

Se elabora un informe, el cual debe contener:

- Nombre del proyecto, tipo de roca y lugar de procedencia de la muestra.
- Fecha de recepción de la muestra.
- Fecha de ejecución del ensayo.
- Número de testigos ensayados
- Condición de la humedad de la muestra al momento del ensayo.
- Número, longitud, diámetro, área, carga máxima, resistencia a la compresión triaxial y presión de confinamiento.
- Gráfico  $\sigma$ -  $\tau$  ó Círculos de Mohr.
- Los valores de  $C$  y  $\phi$  junto con el rango de presiones en el que son válidos.
- Dibujo esquemático del tipo de falla.

#### 4.1.5 Procedimiento para el análisis de Estabilidad de Taludes

En el capítulo 1 se mencionan las generalidades de los taludes como su definición, partes, tipos de fallas, etc.; en este capítulo sólo nos enfocaremos a los diferentes métodos que existen para analizar la estabilidad tanto en taludes de suelos como en taludes de materiales rocosos, así como su clasificación respecto al nivel de riesgo y las clases de taludes que existen; cabe mencionar que el procedimiento también se puede realizar para analizar los taludes de las presas de materiales graduados.

##### ✓ Taludes de materiales rocosos

Existe una clasificación de taludes formados en roca de acuerdo al movimiento o actividad que presentan<sup>85</sup>:

**Clase I:** Taludes con deslizamientos activos. Los movimientos son permanentes y las formas de deslizamiento están bien definidas. Los movimientos pueden ser continuos o temporales.

**Clase II:** Taludes que frecuentemente sufren nueva o renovada actividad de deslizamiento. Los movimientos no son regulares sino temporales. Los movimientos ocurren a intervalos de tiempos menores a 5 años.

**Clase III:** Taludes que a veces sufren nueva o renovada actividad de deslizamiento. Los movimientos ocurren en intervalos de tiempo mayores a 5 años.

**Clase IV:** Taludes con signos de deslizamientos anteriores, pero en los últimos 100 años no se observaron movimientos.

Subclase IV a: Las formas de erosión son evidentes.

Subclase IV b: La actividad anterior es detectada por los depósitos de deslizamientos anteriores.

**Clase V:** Taludes que no tienen evidencias de deslizamientos anteriores pero se considera que los deslizamientos pueden ocurrir en el futuro. Las conclusiones están hechas o basadas en cálculos efectuados, o en analogía con otros taludes.

**Clase VI:** Taludes que no tienen evidencias de deslizamientos anteriores y los cálculos muestran su estabilidad.

---

<sup>85</sup> Comunicación personal con el Ing. Luis del Bosque. "Apuntes de Mecánica de rocas", México, 2010.

La estabilidad de los macizos rocosos se define por los siguientes factores esenciales<sup>86</sup>:

1. La estructura interna del macizo, determinada por el carácter del fracturamiento, así como por la forma y dimensión de los bloques.
2. La resistencia del macizo al esfuerzo cortante en las fisuras o zonas de debilidad.
3. Las fuerzas actuantes en el macizo rocoso: el peso propio del macizo, las cargas exteriores aplicadas, la presencia de un flujo de filtración y las aceleraciones sísmicas.

Clasificación del nivel de riesgo en taludes de roca<sup>87</sup>:

Nivel del riesgo	Recomendaciones
<b>A. Riesgo potencial alto</b>	No se recomienda utilizar el terreno para la construcción. Si la construcción de una obra en este lugar es absolutamente necesaria, se deben prever las medidas de protección con base en estudios especiales y los cálculos necesarios
<b>B. Riesgo potencial significativo</b>	Un estudio geológico y geotécnico es indispensable para cualquier tipo de construcción con la necesaria consideración de medidas de protección
<b>C. Riesgo potencial bajo</b>	No hay limitaciones para la construcción a causa de deslizamientos eventuales. Se recomienda efectuar un reconocimiento tradicional del terreno para las obras de importancia.

#### ❖ **Métodos de Análisis**

##### **a) Rotura planar<sup>88</sup>**

Se llama rotura planar en la que el deslizamiento se produce a través de una única superficie plana.

Es la más sencilla de las formas de rotura posibles y se produce cuando existe una fracturación dominante en la roca y convenientemente orientada respecto al talud. Frecuentemente se trata de fallas que interceptan al talud.

<sup>86</sup> Comunicación personal con el Ing. Luis del Bosque. "Apuntes de Mecánica de rocas", México, 2010.

<sup>87</sup> Comunicación personal con el Ing. Luis del Bosque. "Apuntes de Mecánica de rocas", México, 2010.

<sup>88</sup> <http://www.concretonline.com>

Este tipo de rotura no es muy frecuente, ya que deben darse las dos condiciones siguientes:

- Los rumbos o trazas horizontales del plano del talud y del plano de deslizamiento deben ser paralelos o casi paralelos.
- Los límites laterales de la masa deslizante han de producir una resistencia al deslizamiento despreciable.

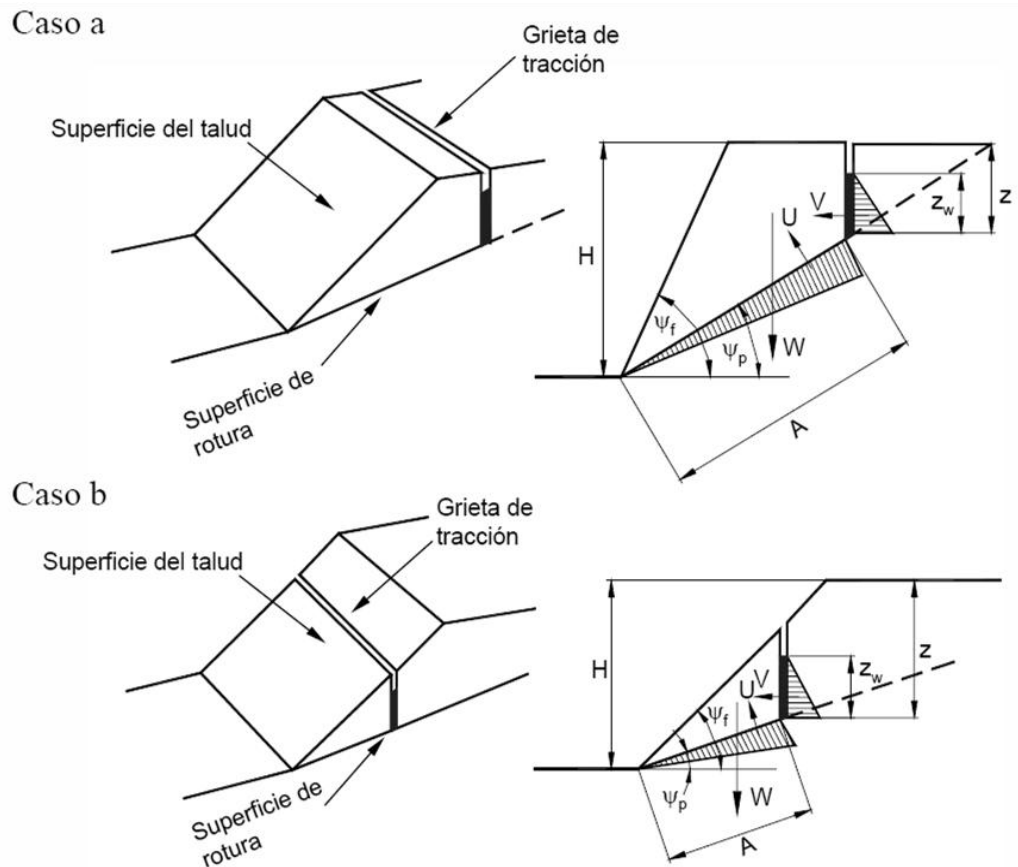


Figura 4. 6 Variantes de rotura planar en taludes. (Comunicación personal con el In. Luis del Bosque, 2010).

El Factor de Seguridad se obtiene de la siguiente manera:

$$FS = \frac{c' A + [W \cos \psi_p - U - V \sin(\psi_p + \delta)] \tan \phi'}{W \sin \psi_p + V \cos(\psi_p + \delta)}$$

Donde:

$$A = \frac{H - z}{\text{sen } \psi_p}$$

$$U = \frac{1}{2} \gamma_w z_w \frac{H - z}{\text{sen } \psi_p}$$

$$V = \frac{1}{2} \gamma_w z_w^2$$

$$W = \frac{1}{2} \gamma H^2 \left[ \frac{1 - \left(\frac{z}{H}\right)^2}{\tan \psi_p} - \frac{1}{\tan \psi_t} \right] \text{ Caso a}$$

$$W = \frac{1}{2} \frac{\gamma H^2 \left(1 - \frac{z}{H}\right)^2 \left(\frac{\tan \psi_t}{\tan \psi_p} - 1\right)}{\tan \psi_p} \text{ Caso b}$$

H : altura del talud.  
 z : altura de la grieta de tracción.  
 $z_w$  : altura del agua en la grieta de tracción.  
 $c'$  y  $\phi'$  : parámetros de resistencia del terreno en términos de tensiones efectivas.  
 A : área de la superficie de deslizamiento (supuesta de ancho unidad).  
 $\psi_p$  : ángulo que forma el plano de deslizamiento con la horizontal.  
 $\psi_t$  : ángulo del talud con la horizontal.  
 U : resultante de las presiones intersticiales que actúan en el plano de deslizamiento.  
 V : resultante de las presiones intersticiales que actúan en el plano de deslizamiento.

### b) Método de la cuña<sup>89</sup>

Condiciones para que se generen roturas en forma de cuña en taludes constituidos por rocas:

1. Cuando existen dos discontinuidades dispuestas oblicuamente a la superficie del talud (línea de intersección con inclinación desfavorable)
2. Común en macizos rocosos con discontinuidades bien marcadas (fallas, fracturas, etc.)

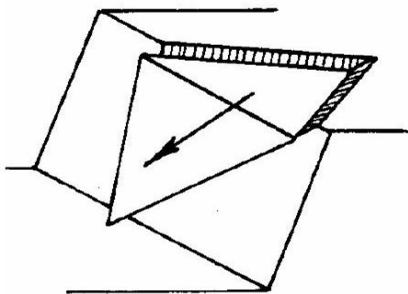
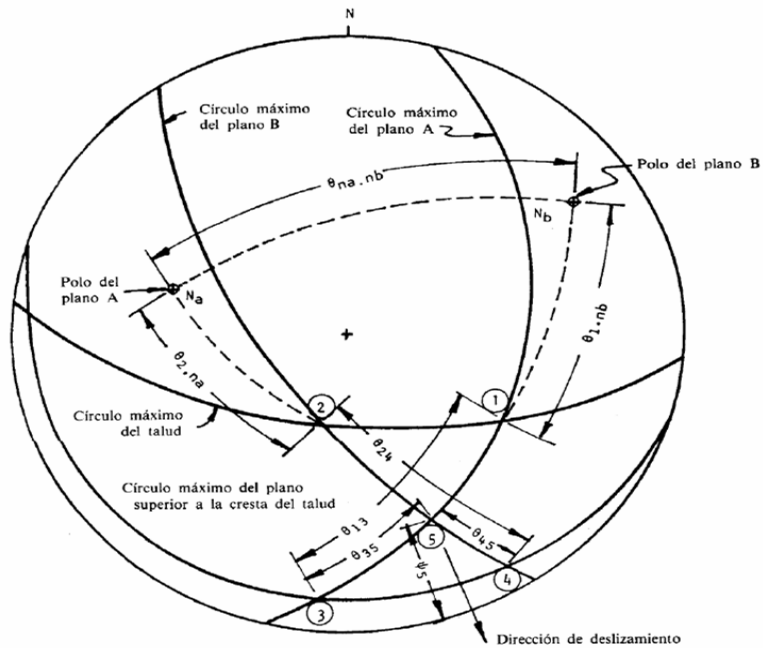


Figura 4. 7 Condiciones para que se generen roturas en forma de cuña. (Comunicación personal con el Ing. Luis del Bosque, 2010.)



<sup>89</sup> Comunicación personal con el Ing. Luis del Bosque. "Apuntes de Mecánica de rocas", México, 2010.



El Factor de seguridad se obtiene con la siguiente fórmula:

$$FS = \frac{3}{\gamma H} (C_a X + C_b Y) + \left( A - \frac{\gamma_w}{2\gamma} X \right) \tan \phi_a + \left( B - \frac{\gamma_w}{2\gamma} Y \right) \tan \phi_b$$

Donde:

H	Altura del talud
C y $\phi$	Parámetros de resistencia en las fracturas
$\gamma$	Peso volumétrico de la roca
$\gamma_w$	Peso específico del agua
X, Y, A, B	Factores adimensionales que representan la geometría de la cuña

#### ✓ Taludes de suelos

Los mecanismos de falla en taludes más frecuentes son el rotacional y el de traslación. Se ha observado que en la mayoría de los casos la forma de la superficie de deslizamiento es más o menos de forma circular, si bien en otros casos, la posición de esa superficie y la forma de la masa deslizante, están influenciados por la presencia de estratos blandos donde se apoya la estructura y pueden adoptar superficies de falla rectas o en forma de cuña.

A continuación se explican en forma resumida los métodos prácticos para el estudio de dichas formas de deslizamiento, es decir:

- ♦ Rotacional: En la que se asume que la superficie de falla se asemeja a un cilindro, cuya traza con el plano en el que se calcula es un arco de circunferencia.
- ♦ Traslación: donde la masa deslizante se produce a través de superficies rectas formando cuñas.

La aplicación de estos métodos, en la mayoría de los casos, es suficiente para evaluar la seguridad de las estructuras térreas contra deslizamiento.<sup>90</sup>

---

<sup>90</sup> Chávez Aguirre, José María. 2006. Op. Cit.

## ❖ Métodos de Análisis

### a) Método Sueco<sup>91</sup>

El método sueco comprende todo el tipo o procedimientos de análisis en los que se considere la falla de tipo rotacional en la que se establece una superficie de falla de tipo cilíndrica y que en el plano del papel se representa como un arco de circunferencia. Existen varios procedimientos que se basan en este tipo de superficies siendo uno de los más empleados el propuesto por Arturo Casagrande y que se aplica a suelos puramente cohesivos con resistencia al esfuerzo cortante  $S=C$ . Donde S es la resistencia y C es la cohesión del suelo.

El procedimiento de análisis es el siguiente:

- 1) Se dibuja el talud que se va a analizar a escala.
- 2) Se elige aleatoriamente una superficie hipotética de falla trazándose en el dibujo del talud como un arco de circunferencia.
- 3) Se calcula el peso de la masa de suelo que puede deslizarse sobre la supuesta superficie de falla, este peso será igual al área definida por el arco de circunferencia por el peso volumétrico del suelo. Esta fuerza se representa en el dibujo actuando en el centro de gravedad del área.
- 4) Se calcula la fuerza que se opondrá al deslizamiento de la masa de suelo y que corresponde a la resistencia al esfuerzo cortante que se desarrolla a lo largo de la superficie de falla supuesta, el valor de esta fuerza será igual al valor de la cohesión por la longitud del arco de la circunferencia.
- 5) Se determinarán los momentos llamados motores que incluirán todas las fuerzas que tiendan a hacer deslizarse la masa de suelo con respecto a la línea de acción del arco de circunferencia y también se obtendrán los momentos resistentes que serán todas las fuerzas que se oponen al movimiento de la masa del talud, también por la distancia del arco de circunferencia.
- 6) El Factor de Seguridad que le corresponda a la supuesta superficie de falla queda definido como la relación de la sumatoria de los momentos resistentes entre la sumatoria de los momentos motores, debiendo ser éste mayor que la unidad para no considerarlo como una superficie potencial de falla.
- 7) El procedimiento se repite por lo menos para otras 8 supuestas superficies de falla (tres que pasen por el cuerpo del talud, tres que pasen por el pie del talud y tres por la base del talud). Si todas tienen un factor de seguridad mayor a uno, el talud propuesto se acepta, pero si uno solo muestra un

---

<sup>91</sup> Comunicación Personal con el Ing. Celso Barrera. "Apuntes de Mecánica de Suelos", México, 2009.

factor de seguridad menor a uno, será suficiente para rechazar el talud y modificar las condiciones de éste.

### b) Procedimiento que considera la interacción de dovelas<sup>92</sup>

Se basa en el estándar de dovelas; su diferencia fundamental es la de considerar el efecto de las fuerzas de interacción entre las dovelas.

El problema se hace estáticamente determinado, suponiendo:

- La dirección de las fuerzas de interacción que actúan en los lados de las dovelas.
- Que una proporción igual de resistencia al esfuerzo cortante se desarrolla en la base de todas las dovelas; esta resistencia es igual a:

$$\tau_d = C_d + N \tan \varphi_d$$

Donde:

$\tau_d$  = Resistencia al esfuerzo cortante desarrollado en la base de las dovelas

$$C_d = \frac{C L_i}{F.S.} \quad \tan \varphi_d = \frac{\tan \varphi}{F.S.}$$

$C$  y  $\varphi$  = Parámetros de resistencia al esfuerzo cortante

$L_i$  = Longitud de base de la dovela  $i$

$F.S.$  = Factor de Seguridad

Se elige una superficie de falla, misma que se divide en dovelas, no necesariamente del mismo ancho, pero procurando que en la base de cada una se tenga únicamente un tipo de material.

Las fuerzas de interacción tienen variaciones en dirección y magnitud de una dovela a otra, la dirección de las dovelas se considera

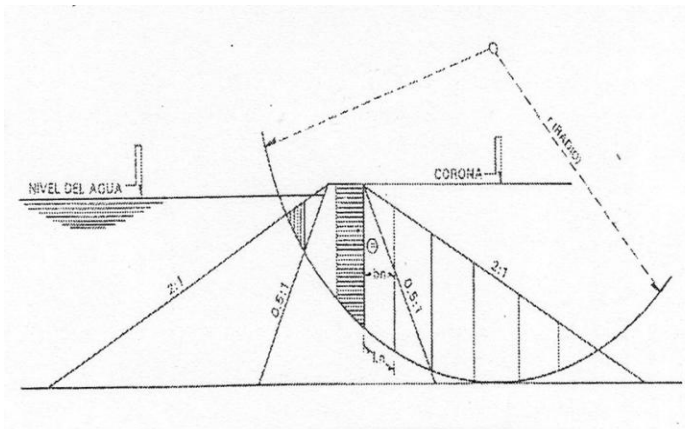


Figura 4.8 Superficie de un talud dividido en dovelas. (Chávez Aguirre, José María. 2006. Op. Cit.)

<sup>92</sup> Chávez Aguirre, José María. 2006. Op. Cit

comúnmente como constante y paralela al promedio de la pendiente del talud exterior.

Las fuerzas motoras de las dovelas superiores de la masa en estudio son parcialmente resistidas por la resistencia al esfuerzo cortante que se desarrolla en la base de las dovelas; el resto de la resistencia lo proporciona la porción inferior de la masa deslizante. Esta resistencia es transmitida de las dovelas inferiores a las superiores por la fuerza de interacción de las caras de las dovelas.

Se pueden estimar las fuerzas laterales en las dovelas por un procedimiento gráfico de tanteos.

Si el factor de seguridad supuesto es el correcto, el polígono de fuerzas para la dovela final cerrará perfectamente; si el polígono no cierra, situación común en estos casos, se selecciona otro factor de seguridad y se hace otro tanteo hasta que se alcanza el cierre del polígono en la última dovela. El último valor determinado del Factor de Seguridad es el resultado del análisis.

### c) Método de la cuña<sup>93</sup>

En este método, la masa potencialmente deslizante se divide en dos o tres secciones de bloques: el bloque o cuña superior es llamado cuña activa, el central recibe el nombre de bloque o cuña deslizante y por último la cuña inferior es llamada resistente o pasiva.

El método de la cuña es comúnmente usado en circunstancias en las que la superficie potencial de falla se aproxima a una serie de planos.

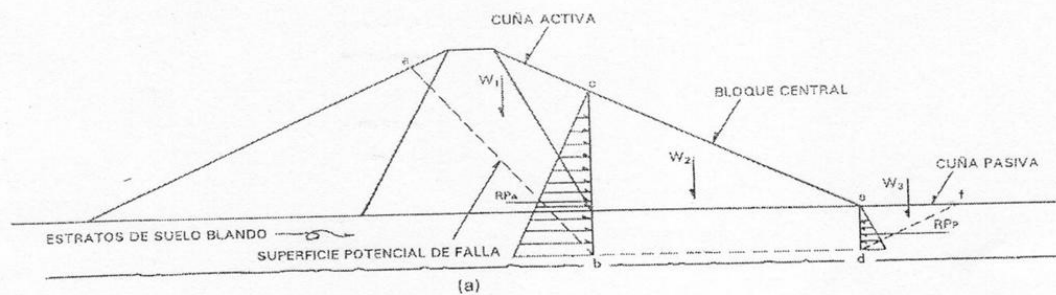


Figura 4. 9 Caso frecuente de análisis por el método de la cuña. (Chávez Aguirre, José María. 2006. Op. Cit)

<sup>93</sup> Chávez Aguirre, José María. 2006. Op. Cit

En la figura 4.7 se muestra cuando una estructura esta desplantada en un estrato de suelo blando. En la figura 4.8 se muestra cuando una estructura se apoya en una cimentación dura, en la que no puede desarrollarse una falla.

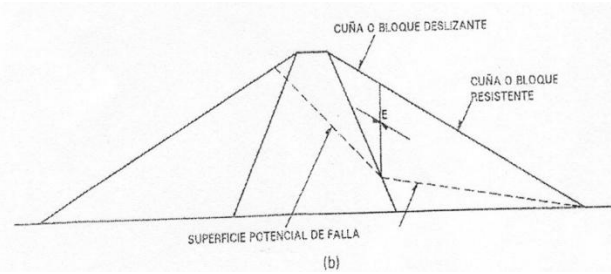


Figura 4. 10 Caso frecuente de análisis por el Método de la cuña. (Chávez Aguirre, José María. 2006. Op. Cit)

El procedimiento para evaluar el Factor de Seguridad es el mismo que el empleado en el método de las dovelas con fuerzas laterales; la única diferencia, es que existen 2 ó 3 bloques en lugar de un número grande de dovelas.

Para los casos mostrados se puede proceder de la siguiente manera:

Calcular las fuerzas de peso, presión hidrostática, cohesión, sismo y las debidas a flujo de agua, dependiendo de la condición que se esté analizando, así como la dirección del empuje entre cuñas.

Pueden obtenerse resultados similares por el método de dovelas, considerando las fuerzas de interacción y por el método de la cuña, si la superficie potencial de falla tiene aproximadamente la misma longitud en cada uno de los materiales encontrados.

Otro método que puede aplicarse para evaluar el factor de seguridad del problema se describe a continuación:

1. Se considera que ha ocurrido un movimiento horizontal suficiente para colocar las cuñas activa y pasiva en estado incipiente de falla.
2. Se considera que las fuerzas en los planos verticales bc son horizontales y se calcula la fuerza activa sobre el plano be ( $P_a$ ) y la fuerza pasiva sobre el plano de ( $P_p$ ); estas fuerzas representan las resultantes de las presiones activas y pasivas respectivamente y pueden ser calculadas fácilmente, empleando la teoría de Rankine de presión de tierras.
3. Se define el factor de seguridad bajo estas condiciones, para el bloque central o deslizante:
  - a) La fuerza  $P_1$  que desequilibra al sistema que actúa en el bloque central, es igual a la diferencia entre la fuerza activa  $P_a$ , y la fuerza pasiva  $P_p$ , esto es:

$$P_1 = P_a - P_p$$

- b) La fuerza disponible para resistir el movimiento del bloque central es:

$$P_2 = C_{bd} + (W_2 - U_{bd})\tan\phi$$

Donde:

$C_{bd}$  = Fuerza de cohesión en la superficie  $bd$

$W_2$  = Peso del bloque deslizando

$U_{bd}$  = Fuerza producida por el agua en el estrato de suelo blando

c) El factor de seguridad se evalúa entonces con:

$$F.S. = P_2 / P_1$$

En conclusión se puede decir que los análisis de estabilidad de taludes constituyen en la actualidad uno de los problemas geotécnicos de mayor importancia en los diversos proyectos ingenieriles, que requieren gran cuidado por parte del ingeniero geotecnista.<sup>94</sup>

#### **4.1.6 Procedimiento para muestreo de rocas y la elaboración de sus láminas delgadas**

##### **❖ Introducción**

El conocimiento de la geología de un sitio es fundamental para un análisis geotécnico. La correcta ubicación de contactos litológicos, la descripción de las características de las rocas así como una clasificación definitiva dependen en muchos casos de un buen estudio petrográfico o microscópico. A partir de dicho análisis se pueden también distinguir las características internas y propiedades de los minerales que constituyen a la roca además de sus condiciones como grado de alteración o fracturamiento, detectando incluso discontinuidades como fallas o fracturas, porque la roca, así como los minerales que la constituyen estarán afectados por los movimientos provocados por los mismos.

Es importante realizar estudios de este tipo porque puede haber ocasiones en que una roca se muestre a simple vista como un material compacto y resistente. Sin embargo estas condiciones pueden cambiar internamente y esto sólo se identificaría al estudiarlas en el microscopio.<sup>95</sup>

---

<sup>94</sup>Chávez Aguirre, José María. 2006. Op. Cit

<sup>95</sup> Comunicación Personal con el Dr. José María Chávez Aguirre, 2013.

Los resultados obtenidos del muestreo de roca nos darán pauta a determinar si el material de un sitio en particular requerirá tratamiento para mejorar sus condiciones mecánicas, lo cual influirá directamente en el diseño ya sea de la cimentación o de la estructura civil a construir; mencionando también que se deberán realizar estudios a profundidad para concluir qué tipo de tratamiento se aplicará a dicho sitio.

Las rocas son masas o agregados de uno o varios tipos de minerales o materia orgánica, que se han formado como resultado de la actuación de uno o varios procesos geológicos. Todos los datos necesarios para conocer su origen y evolución, cómo se han formado y las transformaciones que han sufrido hasta que las vemos actualmente, se encuentran en la propia roca, en su composición química y mineralógica, en su geometría tanto interna como externa. La descripción, clasificación y nomenclatura de los distintos tipos de roca requiere, para hacerlo de manera precisa y rigurosa, utilizar criterios de textura y composición que sólo son observables al microscopio, sin desestimar aquellos aspectos que puedan observarse a simple vista o con ayuda de una lupa, y que son de gran utilidad para el estudio previo de las rocas de campo.<sup>96</sup>

#### ❖ **Características de los minerales y rocas ígneas**<sup>97</sup>

Para la identificación de los minerales se consideran sus propiedades físicas: forma cristalina, dureza, peso específico, crucero, color, raspadura y fractura, entre otras.

- ♦ *Forma cristalina:* cada mineral presenta una forma cristalina característica, producto de su estructura y arreglo molecular.
- ♦ *Dureza:* es la propiedad que tienen los minerales de ser rayados por otros, para ello existe una escala o patrón de dureza conocido como escala de Mohs, para lo cual se escogieron 10 minerales de menor a mayor dureza con capacidad de rayar o ser rayados: 1-talco, 2-yeso, 3-calcita, 4-fluorita, 5-apatito, 6-ortoclasa, 7-cuarzo, 8-topacio, 9-corindón, 10-diamante. La dureza de micropartículas puede ser medida bajo el microscopio, mediante su resistencia a la indentación. La microdureza da por resultado un número característico de cada mineral.

---

<sup>96</sup> Piedad Franco, María. et.al. "Enseñanza de la Petrología con el microscopio petrográfico", Universidad de Salamanca, España, 2000. (www.raco.cat)

<sup>97</sup> Chávez Aguirre, José María. 2006. Op. Cit

- ♦ *Lustre*: es la forma en que un mineral se ve a la luz reflejada. Hay varias clases de lustre: metálico, adamantino, vítreo, resinoso, aperlado y sedoso.
- ♦ *Crucero*: es la tendencia de un mineral a romperse conforme a direcciones preferentes, a lo largo de superficies planas, siguiendo planos de debilidad que son consecuencia del arreglo interno de sus átomos.
- ♦ *Color*: el color se usa en ciertas distinciones de carácter general. Por ejemplo, los minerales ferrosos generalmente son oscuros.

Dado que en el área de estudio de la Presa Madín existen sólo rocas ígneas, se mencionarán únicamente las características de éstas rocas para su identificación.

Los minerales primarios, por ser los más abundantes, son los que dan nombre a las diferentes clases de rocas ígneas: minerales no máficos (feldespatos, plagioclasas, feldespatoides y cuarzo), y minerales máficos (piroxenos, anfíboles, micas y olivino).

La *estructura* es un rasgo macroscópico observable a simple vista y se refiere a: lineamientos, bandeamientos, estratificación, vesicular y gradación granulométrica.

La *textura* es el acomodo de los minerales y de sus relaciones mutuas. Se debe a características observables al microscopio con incidencia en el aspecto megascópico. Para precisar la textura deben definirse tres características fundamentales:

- ♦ Granularidad
- ♦ Cristalinidad
- ♦ Fábrica

La *granularidad* es de dos tipos:

*Afanítica*: el tamaño de los granos fluctúa entre los 0.5mm y las 10 micras.

*Fanerítica*: el tamaño de los granos es mayor a 0.5mm.

La *Cristalinidad* se refiere al grado de cristalización de una roca y se determina conforme a la relación entre las cantidades de cristal y de vidrio.

La *fábrica* se refiere a la forma o desarrollo de las caras de los cristales del mineral y a las relaciones existentes entre los diversos compuestos de la roca.<sup>98</sup>

---

<sup>98</sup> Chávez Aguirre, José María. 2006. Op. Cit



## ❖ Equipo

### ◆ Microscopio Polarizante<sup>99</sup>

El microscopio polarizante se emplea universalmente para examinar los minerales transparentes. Se utiliza para estudiar los granos minerales, rocas y otros cristales. Es particularmente utilizado para determinar las propiedades ópticas de los cristales individuales o agregados y en la interpretación de texturas y relaciones varias de las sustancias naturales o artificiales, tal y como aparecen en las secciones delgadas.

El sistema de lentes se parece en muchos aspectos al de los microscopios compuestos comunes, pero tiene varias modificaciones que incrementan su utilidad para el estudio de los minerales. Las características más distintivas son los dispositivos polarizante y analizador, situados respectivamente debajo y encima de la platina. Otros elementos característicos son la platina giratoria, la lámina de yeso, la cuña de cuarzo y el compensador.

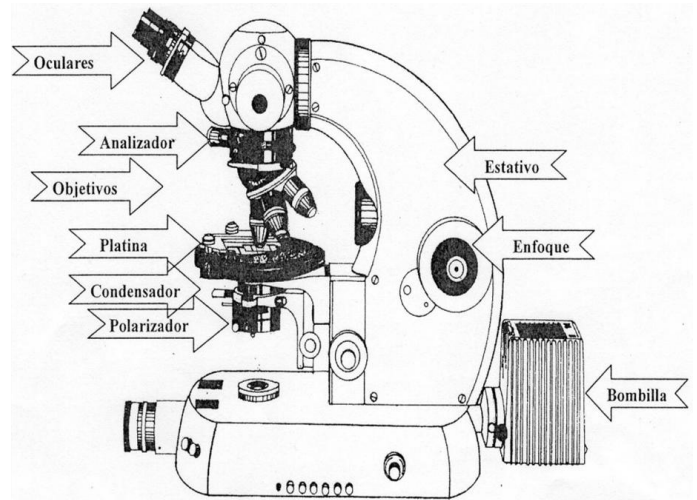


Figura 4. 11 Partes de un microscopio polarizante.  
(Chávez Aguirre, José María. 2006. Op. Cit).

En un microscopio polarizante la luz pasa a través del nicol inferior o polarizador donde se difracta y sale un único haz de rayos que vibra en un plano. Este haz de luz polarizada pasa a través de la lámina delgada y se divide en dos series de rayos que vibran en dos planos perpendiculares entre sí, el rayo ordinario y el extraordinario, y con velocidades diferentes que son específicas en cada mineral. La observación de las rocas en estas condiciones, es decir con nicoles paralelos, permite determinar algunas características de los minerales, como su color, relieve, etc. Cuando introducimos el analizador, la observación es entonces con nicoles cruzados, y los dos rayos que proceden de la lámina delgada pasan a vibrar en un mismo plano, pero conservan la misma frecuencia de velocidad inicial y en consecuencia llegan al observador con un desfase, que es la causa de otras propiedades, como los colores de interferencia, que son también propios de cada mineral.

<sup>99</sup> Chávez Aguirre, José María. 2006. Op. Cit

En el laboratorio de Geología de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se cuenta con un microscopio polarizante, el cual es utilizado por los estudiantes para la identificación y clasificación de las rocas ensayadas; a continuación se muestran algunas imágenes del mismo.



Figura 4. 12 Microscopio Polarizante del Laboratorio de Geología de la FES Acatlán.

#### ♦ Sierra mineralógica<sup>100</sup>

Para cortar las esquilas se pueden utilizar varios tipos de sierras, generalmente de disco metálico con polvo de diamante industrial o de carborundum en el borde. Ésta puede ser un disco de cobre laminado, endurecido, que gira dentro de una artesa llena de carborundum y lodo, en el borde del disco rotativo recoge el polvo abrasivo y produce una fricción contra la muestra. Manteniendo una mezcla adecuada de carborundum, barro y agua es posible cortar completamente en pocos minutos un canal delgado de unos dos centímetros en cuarzo.

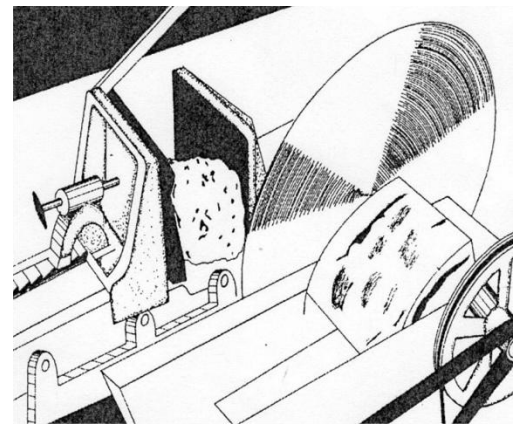


Figura 4. 13 Ejemplo de una sierra mineralógica. (Chávez Aguirre, José María. 2006)

La acción de abrasión es efectuada en un disco horizontal alimentado por carborundum en las partículas sueltas o que puede estar embebido de él.

<sup>100</sup> Chávez Aguirre, José María. 2006. Op. Cit

Empleando sierras metálicas que contengan polvo de diamante embebido en el canto, pueden efectuarse cortes rápidos y precisos.

En el laboratorio de Geología de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se cuenta con una sierra de este tipo; a continuación se muestran algunas imágenes de la misma.

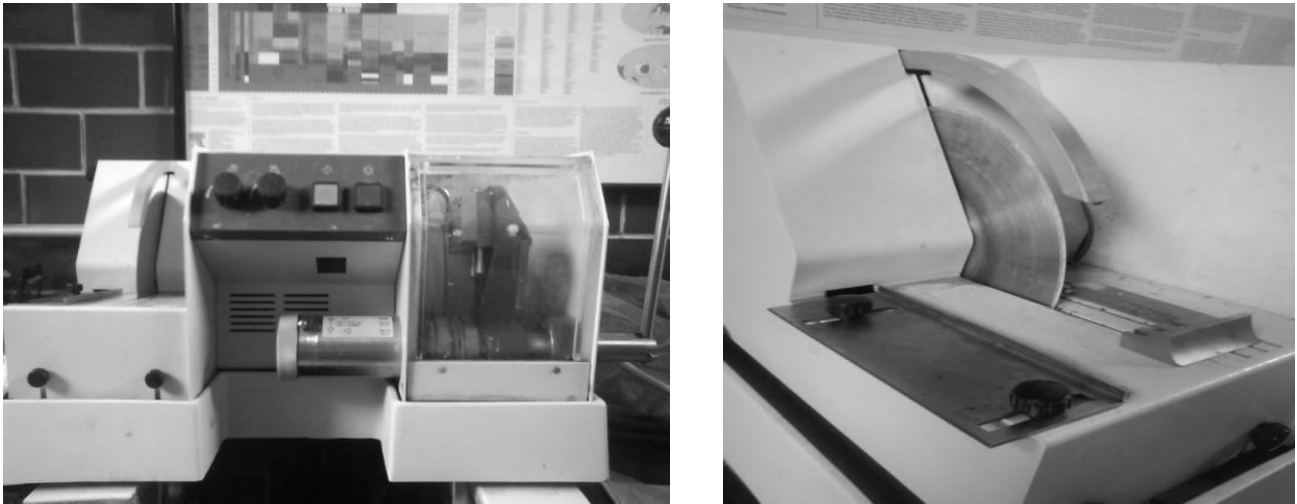


Figura 4. 14 Sierra Cortadora de rocas del laboratorio de Geología de la FES Acatlán.

#### ❖ Procedimiento para elaborar láminas delgadas<sup>101</sup>

Básicamente hay dos métodos para producir una lámina delgada uniforme de 0.03mm a partir de una esquirla de algunos centímetros de grosor. En el primero, la esquirla es pulida en etapas sucesivas con carborundum y esmeril sobre una pulidora, de modo similar al empleado para producir una superficie especular en la esquirla. En el segundo método, se corta la esquirla en una sierra cuidadosamente ajustada a unos 0.06mm de espesor y luego se termina en una pulidora hasta 0.03mm.

El primer paso de la fabricación de una sección delgada incluye la preparación de una esquirla mineral con una superficie lisa apta para ser colocada sobre un portaobjetos. Esta esquirla puede ser arrancada de la muestra y alisada por uno de sus lados, o aserrada directamente de ella. Una esquirla ideal tiene un área de 2cm<sup>2</sup> y 3mm de espesor.

---

<sup>101</sup> Chávez Aguirre, José María. 2006. Op. Cit

Cuando una esquirra esta lista, se pule por un lado de la superficie plana utilizando sucesivamente carborundum 100, FFF y 600, terminando con esmeril 302 ½ de la American Optical Company. En el caso de una roca muy blanda, se omite el primer pulido con carborundum 100, ya que es muy grueso y tiende a destruir los materiales blandos.

La superficie de fondo, plana, pero no muy pulimentada, se lava, se seca, y después se monta sobre un cristal portaobjetos empleando como cementante bálsamo de Canadá o Lakeside 70. El bálsamo debe ser cocido a 160°C durante unos dos minutos hasta obtener un botón sólido y tenaz; la esquirra debe ser calentada también a 120°C antes de su montura. El bálsamo no debe ser sobrecozido, pues se torna demasiado quebradizo y hasta puede volverse castaño. Cuando el bálsamo está aún líquido y caliente, se coloca la esquirra calentada sobre el portaobjetos previamente untado con bálsamo de Canadá cocido. Calentando el conjunto, queda la esquirra firmemente cementada al cristal portaobjetos. La ligadura debe ser una capa continua de bálsamo de Canadá no interrumpida por burbujas de aire.

El pulido mecánico de las esquirras montadas se ejecuta sobre discos pulidores de metal o sobre una superficie plana. Estos discos deben tener un diámetro mínimo de 30 cm y con una velocidad de rotación de 600 r.p.m. El cojinete de apoyo debe estar protegido contra el polvo abrasivo.

Cuando se utilizan sierras de precisión de diamante para el corte inicial de las esquirras, hasta 6 u 8 centésimas, pueden terminarse las esquirras a mano sobre un cristal plano con polvo abrasivo o, en última instancia con una lija de mano.

La lámina se continúa hasta obtener un espesor de 0.03mm, el cual debe controlarse durante esta última etapa por la observación microscópica de los colores de interferencia que dan algunos minerales conocidos que contenga la sección, cuando se le cubre con una película de agua.

Cuando la sección ha sido pulida hasta su espesor adecuado, se lava para liberarla del polvo de la pulimentación y se seca. Entonces se unta con bálsamo fresco la superficie de la lámina, se calienta y cubre con un cristal portaobjetos. A continuación es enfriada la preparación y disuelto con xylol el exceso de bálsamo que rodea el borde del cubreobjetos. La sección delgada queda protegida y lista para su utilización.

## 4.2 Para las pruebas de campo

Para realizar un análisis de riesgo geotécnico correctamente, es necesario conocer el lugar físicamente; para ello realizamos recorridos de campo, en los cuales se hacen observaciones de los puntos que representan algún riesgo para la población que se encuentra ubicada en la zona. El área de la Presa Madín no es la excepción, por ello salimos a reconocer el lugar y a identificar sitios en particular que pueden representar algún riesgo para la población que vive cerca del área.

Para complementar los datos de un recorrido de campo, nos ayudamos de algunas herramientas que nos permitan hacer más fácil esta tarea; en este tema mencionaremos algunas de ellas, así como la función que desempeñan.

### 4.2.1 Procedimiento para las pruebas de cartografía

La cartografía se encarga del estudio y la elaboración de mapas geográficos, territoriales y de diferentes dimensiones lineales;<sup>102</sup> un mapa por su parte es una forma de expresión gráfica, artificial que incluye varias transformaciones de la realidad respecto a su escala, forma y simbología; por ello es necesario que aprendamos a leer un mapa para poder interpretar lo que en él está escrito.<sup>103</sup>

Las partes de las que se compone un mapa son las siguientes:<sup>104</sup>

- ♦ Título: Es el nombre del mapa que nos indica su contenido.
- ♦ Localización: las coordenadas geográficas, son ángulos o arcos imaginarios que determinan con exactitud un lugar dentro de un sistema geográfico. Esta división imaginaria de la Tierra es un sinfín de líneas y círculos que cumplen la función de ubicarnos y orientarnos en cualquier parte de la superficie terrestre.
- ♦ Orientación: El instrumento esencial para orientarnos es la brújula, ésta siempre señalara al norte magnético; además con ella podemos trazar rumbos o azimuts en el campo y también hacer levantamientos de información puntual, espacial y sus combinaciones; todo mapa tiene una orientación que nos permite establecer la de un poblado respecto a otro.
- ♦ Escala: es la relación de medida entre el mapa y el terreno. Cada mapa tiene su respectiva escala de graficación, la cual puede expresarse numérica o gráficamente.

---

<sup>102</sup> <http://es.wikipedia.org/Cartografía>

<sup>103</sup> <http://www.clubdeexploradores.org>

<sup>104</sup> <http://www.clubdeexploradores.org>

- ♦ Leyenda: es un elemento muy importante. Todo símbolo debe tener su leyenda, que puede ser expresada a través de un color o un signo. La leyenda es el traductor de cada símbolo. Los símbolos son los agentes comunicadores entre el mapa y la persona. La expresión de cada símbolo debe ser muy clara, sin dejar ningún vacío o ambigüedad en la interpretación.

Existen varios tipos de mapas, pero únicamente mencionaremos los que se emplearán para nuestro estudio del área de la Presa Madín:

- ❖ Físico Geográfico: es un mapa de múltiples usos que contiene información sobre la orografía, hidrografía, red vial, poblaciones y otras de carácter geográfico de un territorio.
- ❖ Geológico: En él se muestran las características del territorio como son tipos de rocas y suelo, fallas del terreno, volcanes, fracturas, etc.
- ❖ Urbano: registra las zonas urbanas y vías de comunicación.
- ❖ Topográfico: contiene información en detalle de accidentes geográficos naturales y artificiales de la superficie del terreno así como sus curvas de nivel; en ellos se detallan el relieve, la forma y latitud de las montañas y cerros.

El objetivo de la lectura de un mapa topográfico es poder imaginar las diferentes formas del terreno y sus detalles, que en el mapa vienen indicados mediante curvas de nivel, colores y símbolos.<sup>105</sup>

El uso de estos mapas nos será de mucha ayuda, ya que con ellos nos damos una idea de cómo es el área donde se encuentra la Presa Madín, y en el campo nos sirven para identificar el lugar donde nos encontramos exactamente y así poder ubicar las diferentes muestras de roca o de suelo que tomamos; esto nos permitirá llevar un control adecuado tanto del tipo de suelo en el que nos encontramos como de las diferentes estructuras geológicas que pueden poner en riesgo a la población de esta zona.

---

<sup>105</sup> <http://www.profesorenlinea.cl>

## 4.2.2 Procedimientos para los recorridos de campo

### ❖ Visual

En el siguiente cuadro podemos observar de manera resumida el procedimiento para hacer recorridos de campo:

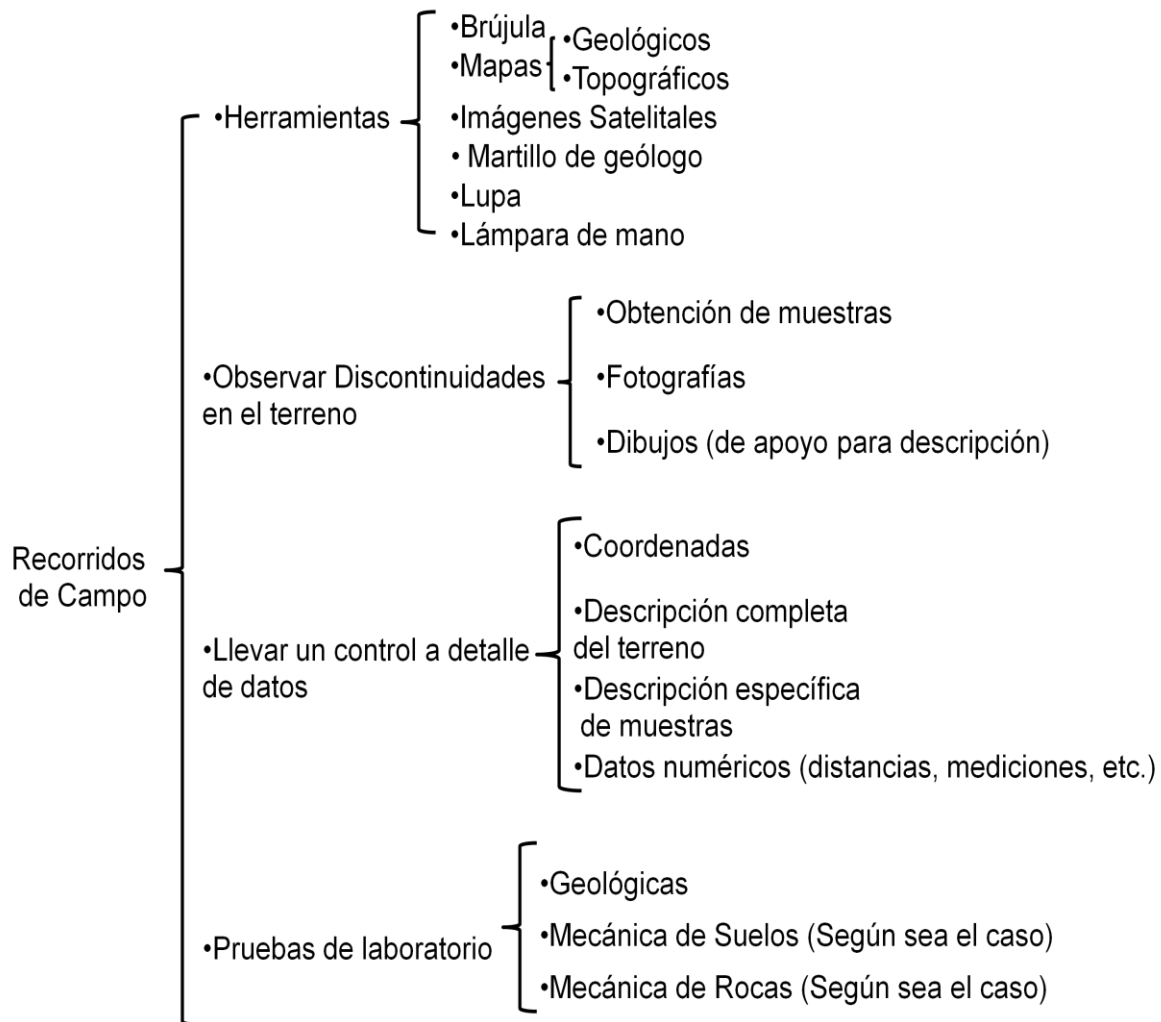


Figura 4. 15 Como realizar recorridos de campo

El procedimiento para los recorridos de campo es más complicado de lo que parece, ya que no sólo es reconocer y conocer mejor el área sobre la que estamos trabajando, sino también es llevar un control de los datos que obtenemos, además de una ubicación correcta de las diferentes muestras que tomamos; no existe un procedimiento en sí para seguir, pero mencionaremos algunos pasos que se han aplicado a nuestro estudio.

Antes de hacer un recorrido de campo, es necesario contar con algunas herramientas que nos harán más fácil nuestra tarea, como son: una brújula, una lupa para poder observar los minerales de una roca, un martillo de geólogo, lámpara, bolsas para guardar las muestras que recolectemos, marcador, mapa geológico, topográfico, alguna imagen de satélite, etc.

HERRAMIENTAS	FUNCIÓN
Mapa Geológico	Nos apoyamos en él para identificar tipos de roca y de discontinuidades indicadas en la zona a visitar y localizarlas en campo.
Mapa Topográfico	En él se puede trazar la ruta a seguir en campo, considerando curvas de nivel, zonas urbanas, elevaciones, etc.
Imagen Satelital	Se observan las condiciones actuales del terreno, si hay alguna obstrucción que nos impida seguir por la ruta trazada anteriormente; si es así trazamos una nueva guiándonos en la imagen.
Brújula	Con ella se mide el rumbo y echado de las rocas, o discontinuidades encontradas.
Lupa	Se pueden observar a mayor detalle los minerales que contiene una roca e identificarlos a grandes rasgos.
Martillo de Geólogo	Nos ayuda a obtener las muestras de la roca que deseamos estudiar a detalle; buscando un punto frágil y golpeándola hasta obtener un fragmento.
Lámpara de mano	Al estar dentro de alguna mina nos ayuda a ver con mayor facilidad
Bolsas Plásticas	En ellas se colocan las muestras para trasladarlas al laboratorio, cabe mencionar que deben ser de plástico grueso, así no se romperán fácilmente. En la bolsa se escribe el número de muestra correspondiente.

Figura 4. 16 Función de cada una de las herramientas a utilizar en campo.

Hay que establecer puntos de interés en el mapa topográfico para trazar más o menos una ruta a seguir y así poder empezar nuestro recorrido.

Una vez en el campo es difícil establecer qué observar, ya que todos los terrenos son diferentes y en ninguno vamos a encontrar las mismas cosas que encontramos en otro; en nuestro caso buscamos algún indicio de fracturas en



rocas, alguna posible falla en el terreno, y como el mapa geológico nos indicó un cambio de material, proseguimos a buscar un contacto litológico.

Si nos encontramos algún tipo de roca que nos parezca interesante tomamos una muestra señalándola con un número consecutivo para llevar un orden; si nos encontramos con algún afloramiento que parezca un domo, escribimos en la roca el rumbo y la dirección del norte, esto nos ayudará para identificar en el microscopio si tenemos o no razón.

A medida que pasan los días y hacemos el mismo recorrido vamos encontrando cosas nuevas que antes no nos habíamos percatado que estaban ahí. Cabe mencionar que si nos topamos con alguna estructura geológica interesante o que nos lleve a la teoría de que puede poner en riesgo a la población, tenemos que hacer una investigación a mayor detalle, tomar muestras, fotografías, hacer descripciones completas de las características del sitio para posteriormente hacer un análisis y llegar a una conclusión del riesgo que representa.

Es importante tener un buen control de todos los datos que obtengamos del campo, como pueden ser coordenadas, rumbo y echado de alguna roca, orientación y ubicación en la que nos encontramos, descripción completa tanto de alguna roca como de una estructura geológica, etc. Esta información la podemos poner en un mapa topográfico, así nos resultará más fácil poder consultarla cuando necesitemos.

Las muestras que obtengamos del campo las tenemos que analizar en el laboratorio, apoyándonos en el procedimiento para hacer láminas delgadas y observarlas al microscopio polarizante para conocer sus características mineralógicas.

De esta manera vamos a ir completando poco a poco toda la información necesaria para tener un análisis completo sobre el riesgo que representan las diferentes estructuras geológicas, así como la Presa Madín para toda la población que se ubica justo aguas abajo.

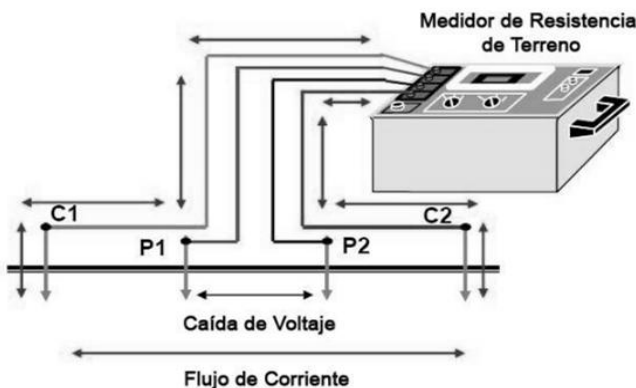
### ❖ **Geofísicos**

Existen diferentes métodos para conocer la resistividad de un suelo; en este caso sólo mencionaremos el método eléctrico; éste se basa en las diferencias de conductividad eléctrica que presentan los materiales en el subsuelo. Esta característica se correlaciona con otras de tipo geológico y mecánico.

♦ **Prueba de Resistencia del Suelo (Método Wenner de 4 puntos)**<sup>106</sup>

El método Wenner utiliza un medidor de resistencia del terreno digital de 4 electrodos, cuatro puntas de prueba, conductores y otros instrumentos.

Requiere la inserción de cuatro puntas en la zona de prueba. Las puntas de prueba están instaladas en línea recta y equidistante. Las puntas de prueba establecen un contacto eléctrico con el suelo.



El medidor de prueba de cuatro puntos inyecta una corriente constante a través del suelo vía probador y dos puntas externas. La corriente que fluye a través del suelo (un material resistente) desarrolla una diferencia de voltaje/potencial. Esta caída de voltaje que resulta del flujo de corriente es medida entre las dos puntas de prueba internas.

Figura 4. 17 Principio de Operación del equipo medidor. (<http://www.lyncol-latam.com>,2010).

El medidor sabe la cantidad de corriente que está atravesando el suelo y la caída de voltaje a través de las dos puntas de prueba de centro. Con esta información el medidor utiliza la ley de Ohms ( $R=V/I$ ) para calcular y exhibir la resistencia en Ohms.

El valor de la resistencia está en Ohms y se debe convertir a Ohm-metro, que son unidades de medida para la resistencia del suelo. Ohm-metro es la resistencia de un volumen de suelo en metros cúbicos.

Para convertir Ohms a Ohm-metro, la lectura del medidor es multiplicada por 1.915 y el resultado es multiplicado las veces del espaciamiento de la punta de prueba. A continuación se muestra la fórmula de cálculo.

$$P \text{ (Ohms-m)} = 1.915 \times R \times A$$

P= resistividad del suelo en ohm-metro ( $\Omega$ -m).

1.915= constante

R= Lectura digital en Ohms ( $\Omega$ ).

A= distancia entre electrodos in ft. (Pies)

<sup>106</sup><http://www.lyncol-latam.com>,2010.

Las lecturas se toman generalmente en los espaciamientos de la sonda de 5, 10, 15, 20, 30 y 40, 60, 80 y 100 pies.

La resistencia calculada del suelo es el promedio de la resistencia de la superficie a una profundidad equivalente a un espaciamiento de la punta de prueba.

Se requieren varias lecturas en los diversos espaciamientos de la punta de prueba y en diversas áreas del sitio. Cuantos más datos estén disponibles, seremos más capaces de diseñar y de predecir el funcionamiento del suelo con mayor exactitud.

Las lecturas deben ser tomadas a lo largo de por lo menos dos lados del sitio y diagonalmente desde una esquina hasta la otra. Un tubo metálico o alguna estructura metálica subterránea podrían influenciar en las lecturas.

### **Equipo Requerido:**

- Probador de resistencia del suelo de cuatro puntas
- Cuatro puntas de prueba
- Cuatro conductores aislados del alambre
- Cinta de medición
- Martillo

### **Procedimiento:**

El siguiente procedimiento es genérico y funcionará con todos los medidores.

3. Verificar que la tira de metal entre el medidor C1 y las terminales P1 estén desconectados.
4. Instalar las cuatro puntas de prueba en una línea recta y equidistante. Generalmente el espaciamiento más corto es realizado primero.
5. Usando los conectores, conecta las terminales C1, P1, P2 y C2 a los electrodos. El resultado será inválido si los electrodos no están conectados apropiadamente.
6. Presionar el botón de prueba y leer el indicador digital. Registrar la lectura en una hoja de trabajo. Si la lectura no es estable o hay una indicación de error, habrá que comprobar las conexiones. Para algunos medidores, los ajustes de la gama y la Prueba de Corriente pueden ser cambiados hasta que se alcance una lectura estable sin indicaciones de error.
7. Poner las puntas de prueba en cada uno de los espaciamientos indicados y registrar las lecturas en la hoja de trabajo. Los pasos 1 – 5 se deben repetir en múltiples ubicaciones en el área para obtener un perfil de suelo confiable.

♦ **Métodos con dipolos**<sup>107</sup>

Los métodos con dipolos son más recientes en comparación con las configuraciones de Schlumberger y de Wenner. Se los emplean en los casos que se requiere una penetración profunda.

**Método de dos dipolos**

En la configuración de dos dipolos, llamada configuración dipolo – dipolo los electrodos de corriente usualmente están en distancia larga con respecto al par de los electrodos de potencial. Si el espaciamiento de los electrodos de corriente  $a$  es igual al espaciamiento de los electrodos de potencial  $b$  y la distancia entre los centros de los pares de los electrodos es  $(n + 1) * a$ .

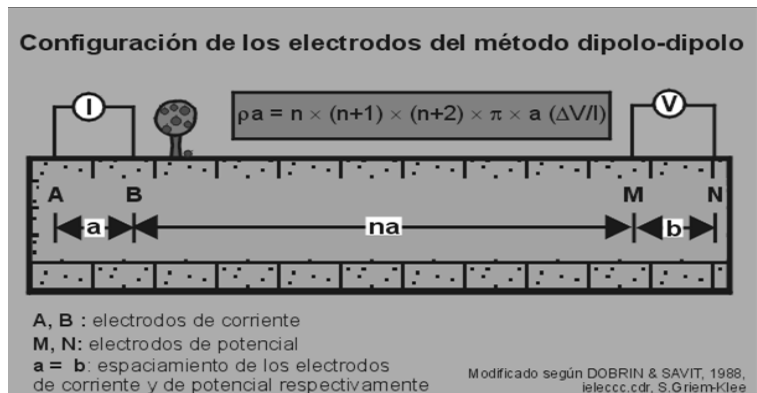


Figura 4. 18 Configuración de electrodos del método dipolo-dipolo. (<http://www.unalmed.edu.co>.)

**Método de polo-dipolo**

En otra configuración colineal, en la configuración polo-dipolo se asume una distancia grande entre los dos electrodos de corriente, es decir el segundo electrodo de corriente (electrodo infinito) se ubica en una distancia muy grande con respecto al primero electrodo de corriente.

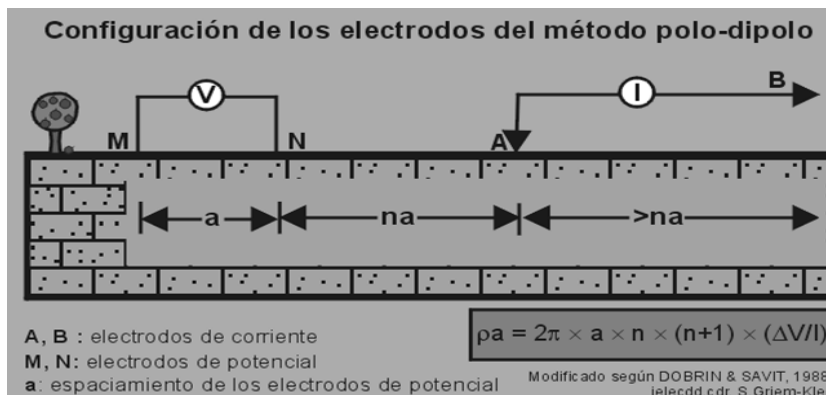


Figura 4. 19 Configuración de electrodos del método polo-dipolo. (<http://www.unalmed.edu.co>.)

<sup>107</sup> <http://www.unalmed.edu.co>

## Método de polo-polo

En la configuración polo-polo los electrodos de corriente y los electrodos de potencial poseen un espaciamiento muy grande.

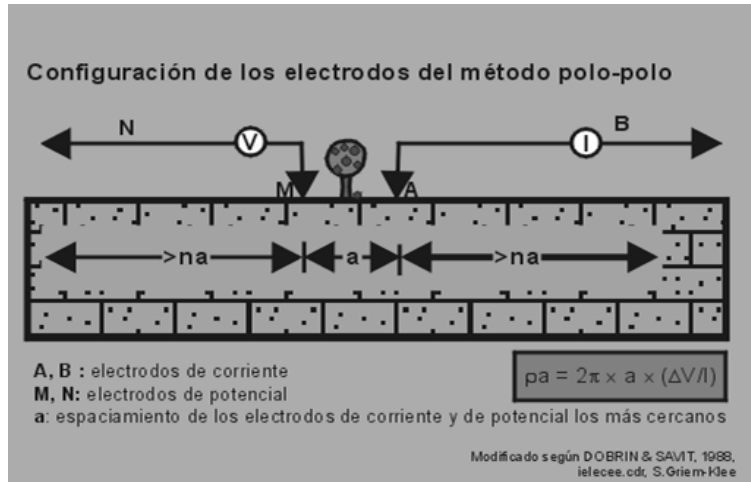


Figura 4. 20 Configuración de electrodos del método polo-polo. (<http://www.unalmed.edu.co>.)

Las resistividades aparentes determinadas a partir de las configuraciones con dipolos se delinearán comúnmente en un perfil pseudotransversal a lo largo de la alineación de las mediciones. Tal perfil no se puede considerar como una sección vertical ilustrando variaciones de resistividad. Los valores de  $\rho_a$  se delinearán para el punto, que subdivide la distancia entre el transmisor de la corriente y el receptor del potencial (voltaje) en dos partes iguales. El eje vertical corresponde con el parámetro del espaciamiento  $n$ .

### ♦ Sondeo eléctrico vertical (SEV)

Por medio de mediciones de potencial eléctrico y corriente eléctrica efectuadas en la superficie, es factible obtener la distribución en profundidad de la resistividad. En la actualidad existen varios métodos, pero el más utilizado es el sondeo eléctrico vertical (SEV), con arreglo electródico de Schlumberger. Consiste en una serie de determinaciones de resistividad aparente, realizadas con un punto central fijo para una separación variable básicamente entre los electrodos de corriente. Dicho arreglo permite obtener buena calidad en las curvas de resistividad aparente y las operaciones de campo son más sencillas. El equipo de campo consta de un transmisor de corriente continua, un medidor de potencial eléctrico y cuatro electrodos.<sup>108</sup>

<sup>108</sup> Chávez Aguirre, José María. 2006. Op. Cit

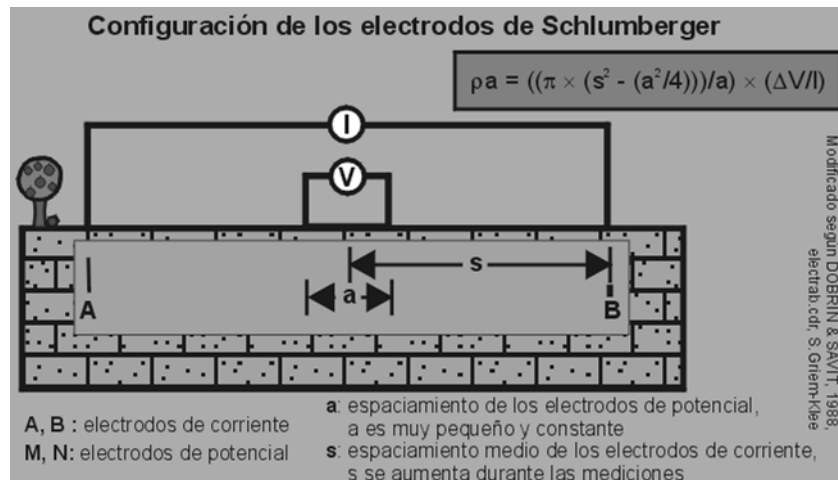


Figura 4. 21 Configuración de electrodos del método polo-polo. (<http://www.unalmed.edu.co>)

Se realizó una prueba de SEV sobre el techo de una mina localizada en un cerro en la zona de El Calvario<sup>109</sup> en Calacoaya; esta prueba fue para observar el comportamiento tanto del equipo, como de los resultados cuando de antemano sabemos que se encuentra una cavidad en el subsuelo. Este procedimiento nos es de mucha utilidad, ya que podemos detectar distintos fenómenos como son grandes cuerpos de roca, fallas, pozos de agua, mantos acuíferos, etc., y así poder decidir si el terreno es factible o no para la construcción, o si ya existe una construcción en el terreno, detectar a tiempo cualquier anomalía y atenderla debidamente para evitar posibles riesgos a la población.



Figura 4. 22 Vista de la mina y el lugar donde se realizó el Sondeo Eléctrico Vertical

<sup>109</sup> Según la imagen satelital de Google Maps.



Figura 4. 23 Detalle de la conexión de los cables de corriente y Voltaje.

El procedimiento para elaborar un SEV según nuestras anotaciones es el siguiente:

✓ Se colocan estacas a 0.20cm, 1m, 1.5m, 2m, 3m, 4m, 5m, 7m, 10m, 13m, 15m, 20m, 30m, 40m, 50m, 60m, 70m, 80m, 90m y 100m. cabe mencionar que las estacas tienen cables de corriente atados a ellas.

- ✓ En el aparato donde se conectan los cables se tienen diferentes colores, los cuales indican corriente y voltaje, estos son:
  - A – B (Rojo – Azul) Corriente
  - M–N(Amarillo– Negro) Voltaje
- ✓ Se conectan los cables de la estaca cero al cable (A – B) de corriente, M y N son los cables de las estacas.
- ✓ El final del cable de corriente se conecta a las estacas de aluminio, las cuales cierran el circuito y son las que se van a ir cambiando a las distancias respectivas según se tome la lectura.
 

Nota: Cada 5m se va a cambiar el cable M y N para que no decaiga el potencial, en este punto se toma doble lectura y se hace un promedio, por ejemplo la lectura de 20cm y de 1m.
- ✓ El cable que tiene los conectores A – B y M – N se conecta al equipo Ares, que es el que nos va a proporcionar las lecturas de la resistividad, intensidad y el voltaje.



Figura 4. 24 Detalle de la conexión de los cables de las estacas a la batería.

- ✓ Utilizamos una batería para que nos proporcione la corriente, ésta se conecta rojo – positivo y negro – negativo, y ésta se conecta a su vez al Ares; en este momento se enciende el equipo.

- ✓ Una vez que todos los cables están conectados y el circuito está cerrado, se envía la primera señal eléctrica; el equipo nos arroja los valores de la corriente, el voltaje y la resistividad, los cuales están representados por las unidades de miliampers, mili volts y ohm - metro respectivamente.



Figura 4. 25 Imagen del equipo utilizado para las lecturas de Resistividad, Ares.

- ✓ Nosotros contamos con una hoja de campo, la cual contiene una tabla en la que se van apuntando los datos obtenidos del Ares y que está representada de la siguiente manera:

Distancia A - B/2	M - N/2	K	I	$\Delta V$	$\rho$
----------------------	---------	---	---	------------	--------

- ✓ La hoja de campo contiene además una gráfica en escala bilogarítmica, en la que vamos a ir vaciando los resultados obtenidos.
- ✓  $\rho$  se obtiene de la fórmula  $\rho = K \frac{\Delta V}{I}$  y debe ser similar o igual a la que arroja el Ares. K es un factor geométrico.
- ✓ Conforme vamos obteniendo los datos, se va graficando la curva en segmentos, existe un programa que cuando se desahogan los datos en la computadora éste los grafica continuamente. (Se introducen los valores de  $\rho$  obtenidos en el campo para graficar correctamente).
- ✓ A los 30m se cambia a la estaca de 3m (M y N).
- ✓ Cuando la gráfica se comporta de manera rara, es decir sube mucho, indica que existe una cavidad, una roca o algún otro tipo de anomalía.
- ✓ Cuando la resistencia disminuye mucho, indica que puede haber una fractura o una falla, acuífero o algo similar, lo cual se puede observar en las gráficas de diferentes SEV (SEV1, SEV2, SEV3) y que son 3 puntos distintos en el campo.



# CAPÍTULO V: Resultados e Interpretación

**Objetivo Particular:** Presentar los resultados obtenidos de los procedimientos del capítulo 4 y hacer las recomendaciones pertinentes sobre los puntos de riesgo encontrados en el área de la Presa Madín.

## Capítulo V: Resultados e interpretación

### 5.1 De las pruebas de laboratorio

#### 5.1.1 Del procedimiento para muestreo de rocas y la elaboración de sus láminas delgadas

Después de haber realizado recorridos de campo en el área de la Presa Madín y haber tomado muestras de diferentes puntos, hemos llevado a cabo el procedimiento descrito en el punto 4.1.6 para obtener láminas delgadas y poder observarlas al microscopio para identificar los tipos de roca y los minerales de los que están compuestas.

En la siguiente imagen satelital se muestra el área total en la que se realizaron estos recorridos; cabe mencionar que se hizo mayor hincapié en los puntos que pueden representar algún riesgo para la población en general y de los cuales fueron extraídas las muestras.

Algunas muestras se presentaron en un estado muy frágil, lo cual nos hizo imposible cortarlas en la sierra mineralógica directamente, por lo que fue necesario encapsularlas en resina para posteriormente llevarlas a la sierra y así poder obtener la lámina necesaria para su observación al microscopio. De la misma forma se obtuvieron muestras en perfectas condiciones para cortarlas directamente con la sierra.



Figura 5. 1 Muestras encapsuladas en resina, 2012.

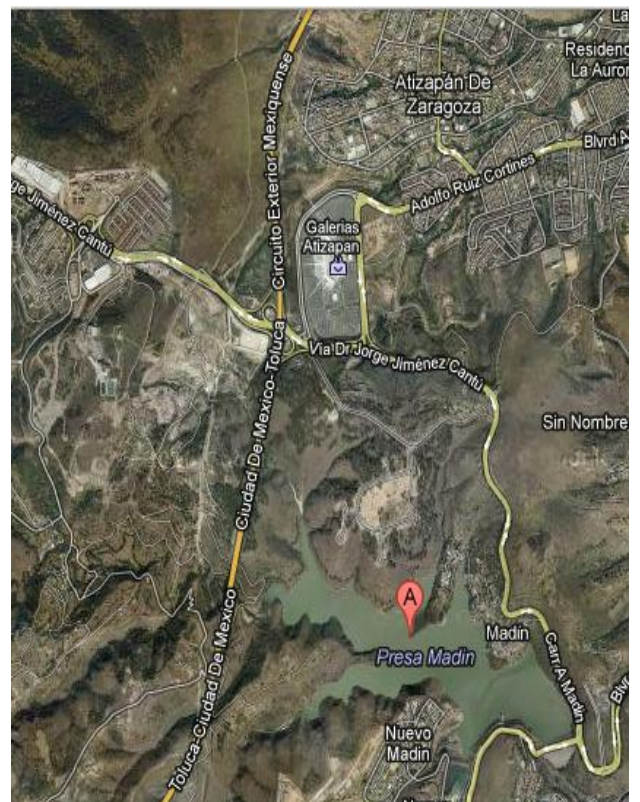


Figura 5. 2 Imagen de Satélite del área de estudio. (<http:Maps.google.com.mx>), 2012.

Una vez que tuvimos las muestras listas, cada una se analizó debidamente considerando algunos puntos importantes, como su ubicación, su descripción física, de qué tipo de minerales está compuesta, su origen, sus características particulares, etc.

Se describirán una a una las muestras y los resultados obtenidos de cada una de ellas, cabe aclarar que el número de muestra se hizo siguiendo un patrón que indica las iniciales de la persona a la que corresponde el estudio de dicha área, el año en que fueron tomadas las muestras y finalmente el número consecutivo en el orden en que fueron tomadas.



Figura 5. 3 Falla Geológica de Galerías Atizapán. (Marzo, 2012).

La mayoría de las muestras obtenidas en el campo fueron tomadas de ésta falla, por lo que es pertinente tener una imagen para una mayor visualización.



Figura 5. 4 Imagen donde se percibe un derrame de roca, seguido de otro en color rojizo, lugar de donde se obtuvieron algunas muestras. (Marzo, 2012.)

En el siguiente mapa se puede observar la ubicación donde se obtuvieron cada una de las muestras y posteriormente imágenes satelitales que ubican cada uno de los puntos de las muestras; así nos será más fácil tener una ubicación precisa de cada una de ellas.

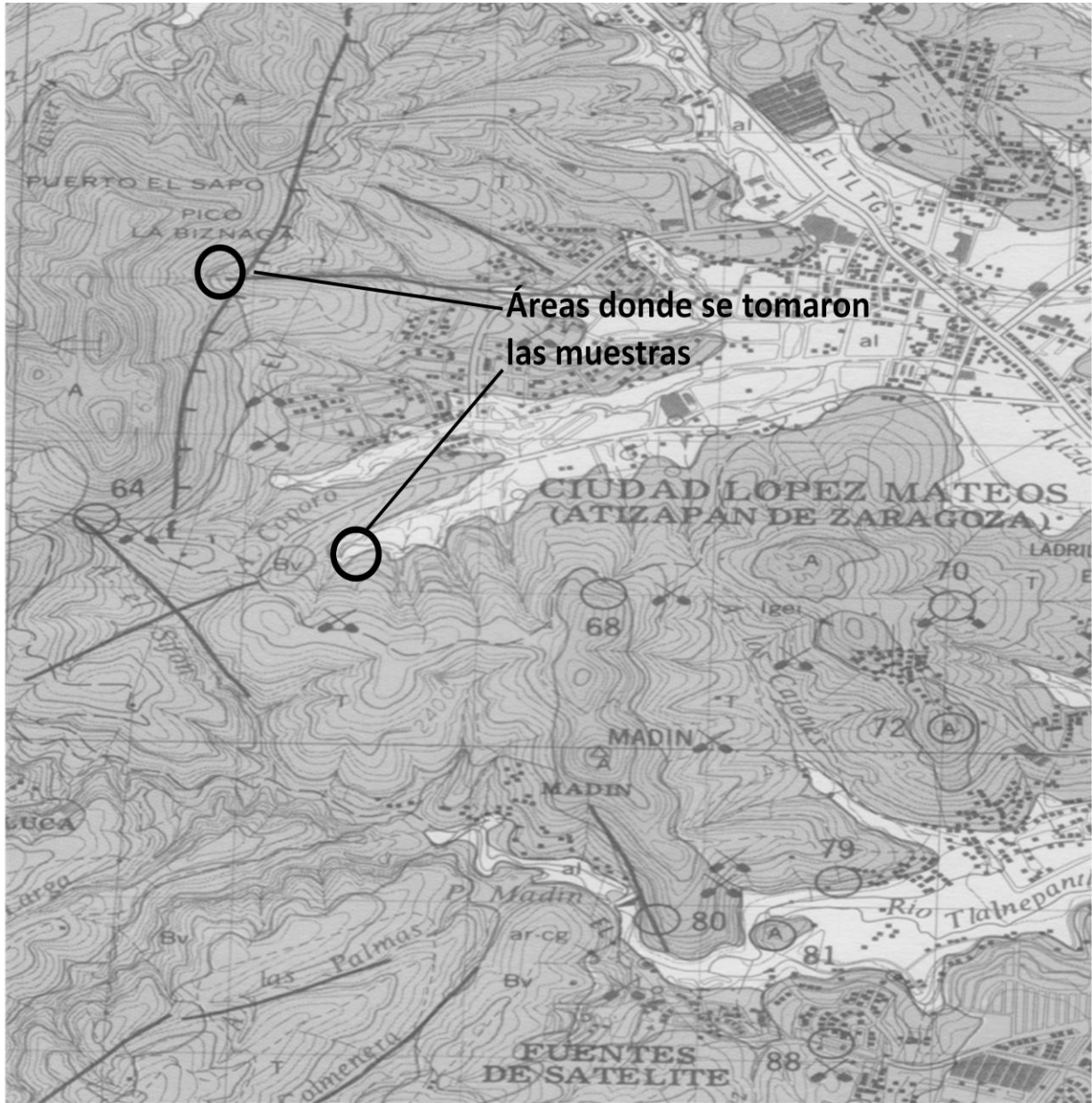


Figura 5.5 Mapa Topográfico donde se indican las áreas donde fueron obtenidas las muestras.

Cada una de las muestras se ubicó en imágenes de satélite para tener una idea más clara de su localización (ver anexo 1); identificando el número de muestra, y sus coordenadas tanto en latitud y longitud, como en el sistema UTM.

Cabe mencionar también que sólo se tomaron muestras de estos puntos en específico ya que son los puntos que encontramos que pueden llegar a representar algún tipo de riesgo para la población, ya que una falla geológica representa un gran riesgo para la población que vive a sus alrededores e incluso sobre ella, por lo cual era importante analizarlos a detalle. Un claro ejemplo, es el caso de Santiago Mitlatongo ubicado en el Municipio de Asunción Nochixtlán en Oaxaca, en el cual una falla geológica se desplazó ocasionando el movimiento de laderas que provocaron el derrumbamiento de casas, dejando la zona totalmente inhabitable, ya que los geólogos expertos mencionaron que la falla seguirá activa.<sup>110</sup>

En las siguientes imágenes se pueden observar los daños causados por el desplazamiento de la falla.



Figura 5. 6 Daños ocasionados por una falla geológica en el Municipio de Asunción Nochixtlán, Oaxaca. ([Http://mexico.cnn.com](http://mexico.cnn.com), 2011)

<sup>110</sup> <http://mexico.cnn.com>. 2011

Al realizar un estudio petrográfico en rocas se requiere información específica, como la ubicación de la muestra, un análisis tanto megascópico como microscópico, descripción de campo de la roca además de algunas imágenes ilustrativas, donde se describe con mayor detalle todas las características de las muestras obtenidas en campo (ver anexo 2).

Del análisis de las muestras de roca y sus láminas delgadas elaboradas en el laboratorio realizamos la siguiente tabla resumen.

MUESTRA	ORIGEN	CLASIFICACIÓN	OBSERVACIONES
ALR-12-01	Ígneo Extrusivo	Andesita	Roca intensamente alterada debido al intemperismo.
ALR-12-02	Tectónico (por falla)	Brecha de falla	Presenta fragmentos de jaboncillo de falla.
ALR-12-03	Piroclástico	Toba	Contiene cristales de plagioclasas y fragmentos de andesitas.
ALR-12-04	Piroclástico	Toba	Roca firme con cierta textura granular con restos de minerales en su interior.
ALR-12-05	Ígneo Extrusivo	Andesita	Contiene fenocristales fracturados, debido a que la roca se ubica en una zona de falla.
ALR-12-06	Ígneo Extrusivo	Andesita de Piroxenos	Roca con intensa alteración provocada principalmente por óxidos de hierro
ALR-12-07	Ígneo Extrusivo	Andesita	Roca con fenocristales muy fracturados y alterados, además de contener óxidos de hierro
ALR-12-08	Ígneo Extrusivo	Andesita de Piroxenos	Contiene abundantes óxidos de hierro y varios fenocristales fracturados.
ALR-12-09	Piroclástico	Toba	Hay en su interior fragmentos de roca y cristales de plagioclasa.

Figura 5. 7 Datos obtenidos del muestreo de rocas en un análisis petrográfico. 2012.

## 5.2 De las pruebas de campo

### 5.2.1 De los recorridos de campo

Es importante realizar estudios y muestreos del sitio en el que hemos realizado los recorridos de campo, ya que de ellos podemos determinar las características del material y del lugar en general que se encuentra en la zona y en base a los resultados obtenidos calcular cuál es el nivel de riesgo al que está expuesta la población que habita y convive diariamente en el área de la Presa Madín.

En base a los recorridos de campo realizados, hemos localizado 3 zonas de falla o que representan algún riesgo de falla.

#### ♦ “Falla de Galerías Atizapán”



Figura 5. 8 Vista en Satélite de la Falla (<http://maps.google.com.mx>) 2012.

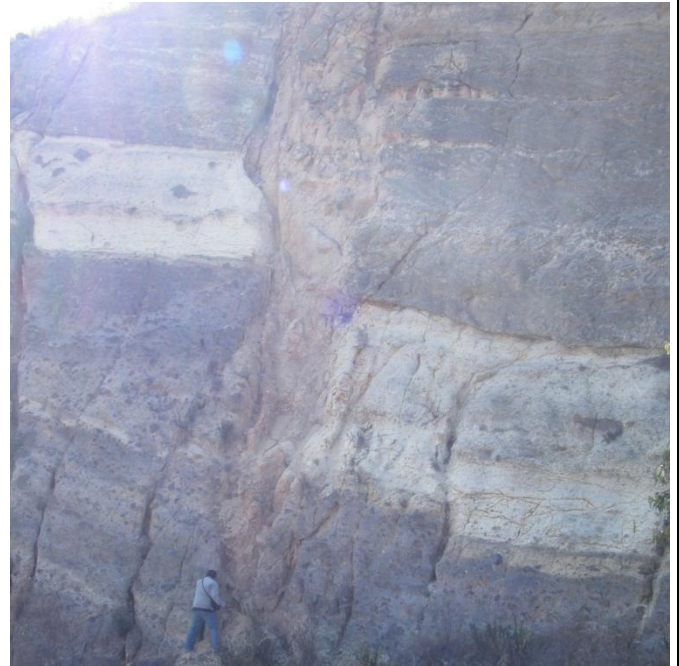


Figura 5. 9 Salto de falla. 2012.

Ésta falla se encuentra ubicada en la intersección entre la autopista Chiluca-Madín y México Nuevo, enfrente del semáforo y está ubicada en las coordenadas  $19^{\circ}32'40''$  N y  $99^{\circ}16'21''$  W. Se muestra un salto de falla de aproximadamente 5m, por lo que es considerada como una falla importante; claramente se percibe el desplazamiento de los bloques debido a un horizonte de color amarillento, el cual se corta y continúa algunos metros más abajo.

El terreno es una zona de fallas escalonadas que se reflejan en el lado opuesto de la cañada como el intervalo achurado que se encuentra delimitado a ambos lados por fracturas con aparente deslizamiento. En un talud ubicado al frente de la falla principal se percibe la continuación de la falla; este punto tiene las coordenadas  $19^{\circ} 32'41''$  N y  $99^{\circ} 16' 22''$  W, por lo que la hace aún más importante.



Figura 5. 10 Falla principal y Reflejo de la falla en el talud ubicado al frente de la falla principal. 2012

En el recorrido que se realizó en ésta zona, se hicieron recolecciones de muestras tanto de las partes inferior y superior de la franja, así como de la franja misma; en las cuales se notan signos de intemperismo debido a la exposición al medio ambiente. Todas las muestras tienden a estar entre los colores café claro-amarillo y también tienden a tener tonos grisáceos, salvo las muestras de material volcánico que presentan un tono rojizo. Las muestras se encuentran bastante compactadas.

A unos cuantos metros de la falla principal se encuentra un derrame de material volcánico que sobreyace a la toba, el cual a su vez se encuentra cubierto por lahares y tobas parecidas al horizonte amarillo de la falla principal; como es una zona de bastante interés, se tomaron muestras para analizarlas y compararlas con las rocas que se encuentran cerca de la Presa Madín; esto para verificar si se trata del mismo tipo de roca.

Así como se realizaron recorridos hacia enfrente de la falla, de igual manera recorrimos el terreno hacia atrás de la misma en dirección a la Presa Madín, y a aproximadamente unos 100m de la falla principal se encontró lo que parecen ser reflejos de la misma, los cuales están ubicados en las coordenadas  $19^{\circ} 32'37''$  N y



99° 16'21" W y 19° 32'37" N y 99° 16'19" W; este último reflejo tiene un rumbo y echado S 30° E - 55° NE. Más adelante encontramos un cauce que aparentemente es una brecha de falla la cual tiene un ancho aproximado de 20m.

Es importante mencionar que tiempo después de realizar nuestros recorridos este cerro donde se podía observar la prolongación de la falla fue excavado casi en su totalidad (abril-junio) y para ocultar la falla se le colocó concreto lanzado, pero también es importante decir que la falla sigue en el subsuelo, ya que tiene un salto de falla considerable.



Figura 5. 11 Imagen donde se muestra claramente la excavación del cerro donde se observaba la prolongación de la falla, así como el concreto lanzado que fue colocado para ocultar la falla. (Google Earth, 2013).

Esta zona implica riesgo si se pretende realizar alguna construcción, ya que éste punto se encuentra en la zona B del mapa de Regiones sísmicas de México (ver anexo 3), lo cual quiere decir que se registran sismos no tan frecuentemente o son zonas afectadas por altas aceleraciones pero que no sobrepasan el 70% de la aceleración del suelo. Aunque la Ciudad de México se encuentra ubicada en la zona B, debido a las condiciones del subsuelo del valle de México, pueden esperarse altas aceleraciones<sup>111</sup>; esto de alguna manera llegaría a afectar a este sitio, ya que podría tender a deslizarse debido a la presencia de la falla que aunque no la podamos ver, sigue ahí y representa un riesgo para la población que está en contacto con esta zona, por lo que es responsabilidad de las autoridades competentes prohibir y/o tener un reglamento más estricto en cuanto a la construcción en esta zona en específico.

<sup>111</sup> <http://www2.ssn.unam.mx>, 2011.

Al hacer una prolongación de la línea que atraviesa la falla podemos ver que no pasa por la cortina de la Presa Madín, aunque si atraviesa una zona del embalse; esto no quiere decir necesariamente que la Presa representa un riesgo o que la falla llegue hasta esta área; pero nuevamente las autoridades deben tener muy en cuenta este punto.



Figura 5. 12 Prolongación de la línea de Falla de Galerías Atizapán hasta la Presa Madín, 2012.



Aproximadamente a 50m de la cañada se encontró un afloramiento de lahares marcando un contacto entre estos y una toba de grano grueso de tonalidades amarillentas y con horizontes delgados de 3 a 4cm de espesor de caliche.

La cañada es un buen punto para que las autoridades de Protección Civil observen con frecuencia, ya que puede llegar a ser un punto de riesgo, ya que, como se mencionó anteriormente atraviesa de forma perpendicular la autopista Cd. De México-Toluca y la cañada se encuentra delimitada hacia ambos lados por zonas urbanas.



Figura 5. 16 Imagen donde se muestra la formación de caliche ubicada sobre el camino de terracería, 2012.

#### ♦ Contacto Litológico

En un recorrido en otra sección del área, se encontró un contacto litológico entre roca volcánica y un material que aparentemente es toba; se encuentra ubicado entre la carretera a Madín y una calle sin nombre a unos 300m aguas arriba de la cortina lo que lo hace un punto importante al estar ubicado tan cerca de la cortina de la Presa y que corre paralelamente a la misma.



Figura 5. 17 Imagen de Satélite del contacto litológico que corre paralelamente a la cortina de la Presa Madín. 2012



Figura 5. 18 Imágenes donde se muestra el aparente contacto entre Tobas y Roca Volcánica. 2012

En este contacto se encontró jaboncillo de falla al cual se le tomaron muestras que serán analizadas en el laboratorio para verificar si se trata realmente de un contacto litológico o una falla; el aparente plano de falla presenta un rumbo y echado de S 65° W – 90°; además presenta una serie de fracturas en su mayoría verticales y en ocasiones horizontales, lo que nos dice que este material ha estado sometido a esfuerzos muy grandes que han llevado a la roca a presentar esta familia de fracturas.

En las rocas volcánicas se aprecian enclaves (restos de rocas preexistentes incluidos en el derrame o erupción) de diferentes tamaños, de los cuales se tomaron muestras para poder observar los minerales que se encuentran en ellos.

Las muestras son de color gris claro, los enclaves tienden a tener un color amarillento con presencia de minerales en su interior.



Figura 5. 19 Imagen del Jaboncillo de Falla encontrado en el contacto. 2012



Figura 5. 20 Imagen donde se aprecian los enclaves en la roca volcánica. 2012.



# CONCLUSIONES

## CONCLUSIONES

En el municipio de Atizapán de Zaragoza, como en muchos otros sitios hay una información escasa en la población acerca de las condiciones del terreno en donde habitan, lo cual provoca daños aún mayores cuando ocurre algún desastre antropogénico. Como parte del Atlas Multidisciplinario y de Riesgo Geotécnico de la zona Conurbada al Norponiente del Valle de México se ha dividido al Municipio en ocho áreas; en el presente trabajo se estudió el área perteneciente a la Presa Madín, en el que en base a los recorridos de campo realizados hemos encontrado los siguientes puntos en los que se ha detectado algún tipo de riesgo tanto para la población que habita en las cercanías, como para los habitantes que diariamente conviven en estas zonas.

1. Podemos considerar fenómenos antropogénicos que pueden implicar riesgo para la población que habita en el área como son sismos, derrumbes en los taludes de la carretera que pasa alrededor de la presa y algunas lluvias extraordinarias que pueden provocar su desbordamiento.
2. El sitio donde nos encontramos con la Falla Galerías Atizapán es una zona con cierto grado de inestabilidad, ya que está compuesta de toba, brecha de falla y andesitas intensamente alteradas debido a la exposición con el medio ambiente, y que en caso de sismo este punto tendería a deslizarse además del riesgo que la falla por sí sola representa. Por ello no es recomendable que en este sitio se construyan viviendas o estructuras de importancia porque se pondría en riesgo la vida de las personas que llegaran a habitarlas. Es prioridad que las autoridades correspondientes del municipio apliquen medidas preventivas en esta zona, porque en la actualidad el cerro donde se podía apreciar perfectamente la falla ha sido cubierto con concreto lanzado y el cerro donde observábamos su reflejo ha sido excavado prácticamente en su totalidad.
3. Se recomienda a las autoridades correspondientes realizar estudios a profundidad del área donde se encuentra la Cañada que atraviesa perpendicularmente la autopista Cd. de México – Toluca ya que se encuentra delimitada en ambos extremos por urbanización; de esta forma tendremos mayor seguridad de la situación de dicha cañada y que no está en el alcance de este trabajo.
4. El tipo de roca encontrado en la Cañada fue Toba y Andesita, lo cual indica que en algún punto existe un contacto entre ambos materiales, quedando como recomendación verificar la estabilidad del contacto sólo para fines de información y verificación de la seguridad.
5. El área donde se encuentra el contacto litológico está sometido a esfuerzos bastante altos, los cuales están reflejados en las fracturas de las rocas y

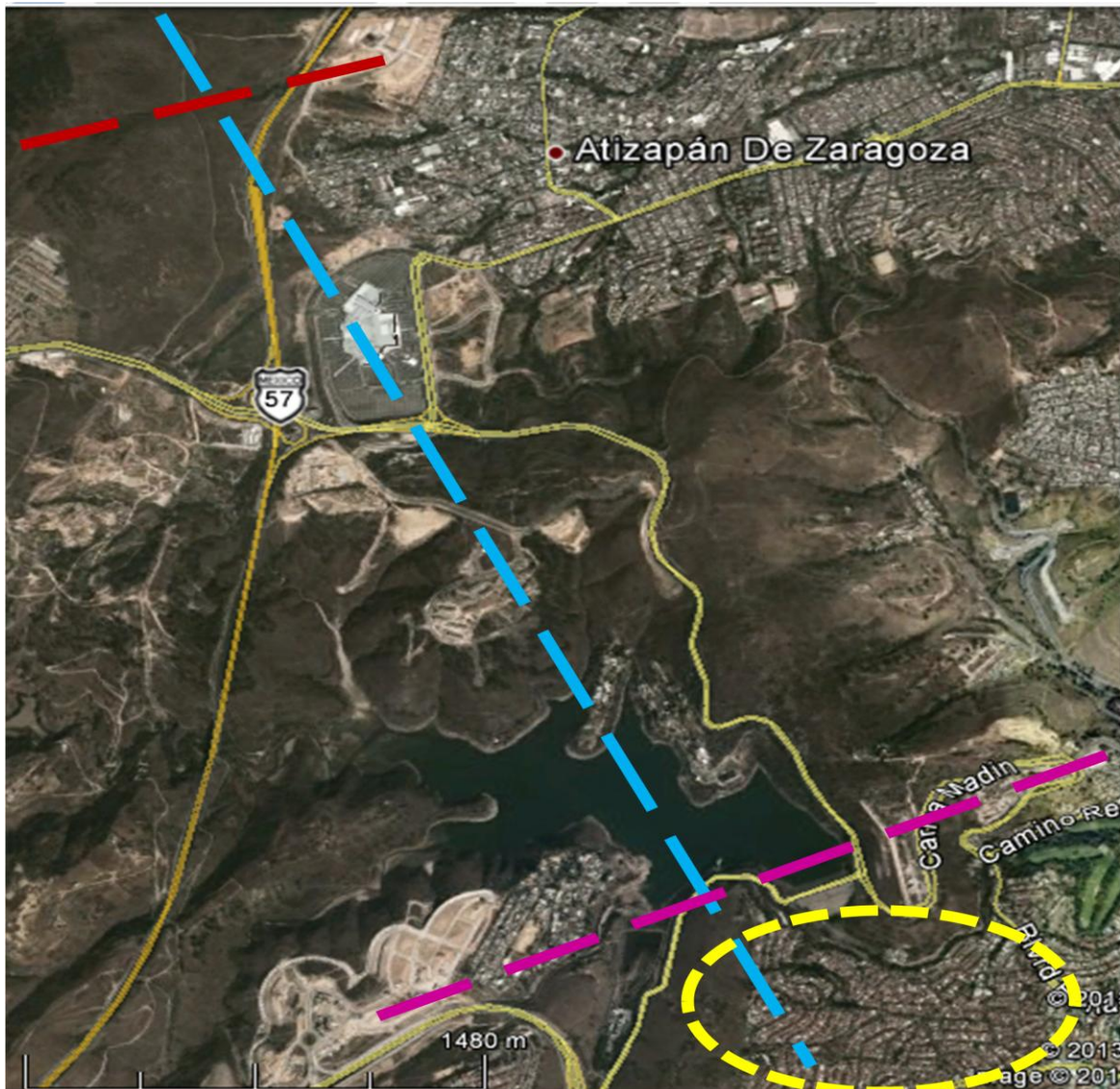
son tanto verticales como horizontales. El material de contacto es brecha volcánica y andesita, también contiene jaboncillo de falla que posiblemente se haya formado por los esfuerzos tan altos a los que está sometida la roca.

6. La Presa Madín descansa sobre una cimentación de andesita de muy buena calidad sobre su margen izquierda y de aglomerado con fragmentos de roca en el margen derecho brindándole una estabilidad adecuada. Sin embargo conviene realizar estudios a profundidad por las autoridades del municipio para conocer hasta qué punto llegaría a afectar el contacto litológico a la presa, quedando así una línea de investigación para dar continuidad a ésta situación.
7. La extensa zona urbana ubicada aguas abajo de la Presa Madín representa una zona de alto riesgo tanto para la población como para la presa (debido a la contaminación provocada por los habitantes), por lo que las autoridades tanto de Protección Civil como Desarrollo Urbano necesitan implementar programas tanto de prevención como corrección que incluyan capacitaciones, simulacros y conferencias para evitar que la gente continúe estableciéndose en este sitio o en consecuencia sepan cómo actuar en caso de desastre.
8. Las autoridades correspondientes del municipio deberán realizar pruebas de compresión simple, triaxial y análisis de estabilidad de taludes en los distintos tipos de roca ubicadas en las zonas de estudio, dichas pruebas proporcionarán los datos necesarios para complementar el nivel de riesgo al que está expuesta la población que habita en el sitio.
9. Es importante monitorear los taludes de roca sobre la carretera de la Presa Madín, los cuales presentan diversas fracturas y evidencias de caídos en el suelo, lo que indica que el movimiento de roca es frecuente y se necesita implementar medidas de prevención y corrección en los daños provocados hasta el momento.
10. Los ensayos de láminas delgadas permitieron identificar el origen, características especiales y clasificación de las rocas de los diferentes sitios que fueron estudiados, ahora se conoce su geología, lo que junto con la información recopilada en el presente trabajo permitirá a las autoridades correspondientes del Municipio de Atizapán de Zaragoza implementar las acciones necesarias para identificar y prevenir riesgos en la población.
11. La población en general puede identificar si el lugar en donde habita es una zona de riesgo, de ser así qué autoridades pueden brindarles apoyo en caso de desastre. Conocer las características generales de la Presa Madín, ya que diariamente conviven con el sitio además de que sabrán cómo actuar y reaccionar ante cualquier situación.



En general se puede decir que por medio de este trabajo se ha proporcionado un mayor conocimiento tanto a la población en general como a las autoridades de Protección Civil, Desarrollo Urbano y Obras Públicas del municipio de Atizapán de Zaragoza acerca de los puntos de riesgo localizados en el área perteneciente a la Presa Madín para que todos hagamos un poco de conciencia acerca del lugar en el que habitamos.

En la siguiente imagen se muestran cada una de las zonas de riesgo identificadas.



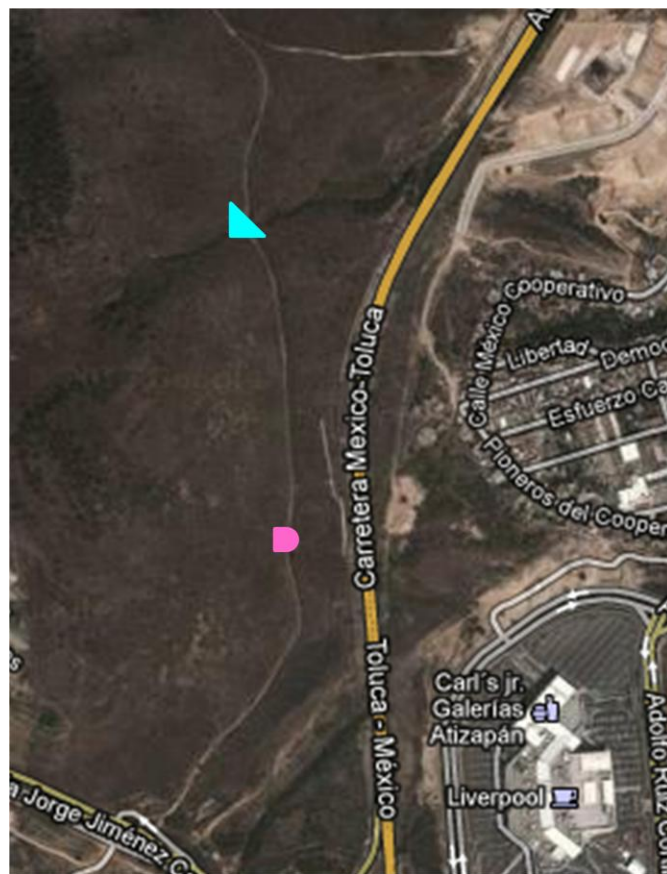
- Cañada
- Falla Galerías Atizapán
- Contacto Litológico
- Zona Urbana Aguas Abajo












# ANEXOS

# ANEXO 1





Muestra	Simbología	Coordenadas (UTM)			Coordenadas	
		X	Y	Z	Latitud N	Longitud W
1		14 Q	471384.00 m E	2161093.00 m N	19°32'39.98"	99°16'22.03"
2		14Q	471410.00 m E	2161096.00 m N	19°32'40.08"	99°16'21.13"
3		14 Q	471384.00 m E	2161088.00 m N	19°32'39.82"	99°16'22.03"
4		14Q	471378.00 m E	2161084.00 m N	19°32'39.69"	99°16'22.23"
5		14 Q	471417.00 m E	2161102.00 m N	19°32'40.27"	99°16'20.89"
6		14Q	471416.00 m E	2161100.00 m N	19°32'40.21"	99°16'20.93"
7		14 Q	471418.00 m E	2161098.00 m N	19°32'40.14"	99°16'20.86"
8		14Q	470748.13 m E	2162047.50 m N	19°33'11.00"	99°16'43.90"
9		14 Q	470658.86 m E	2162693.13 m N	19°33'32.00"	99°16'47.00"

## ANEXO 2

### MUESTRA ALR-12-01

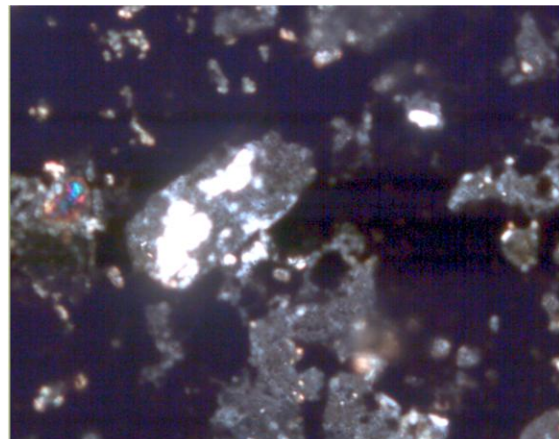
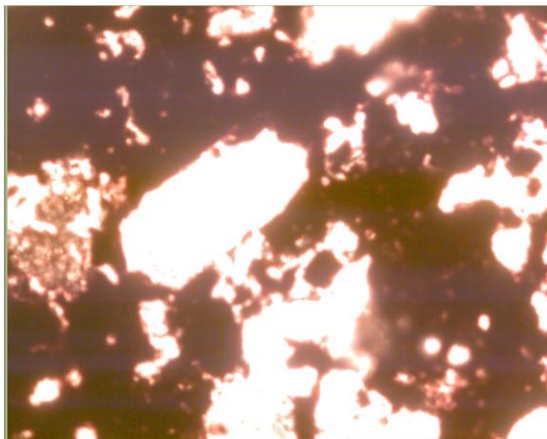
**Ubicación:** Se toma de la parte inferior a la franja de color amarillento del bloque de techo de la Falla de Galerías Atizapán, las coordenadas de la muestra son 19° 32' 39.98" N y 99° 16' 22.03" W.

**Descripción de Campo:** La muestra se percibe notablemente intemperizada debido a su exposición al medio ambiente, a simple vista muestra cierta textura granular y una firmeza dura.

**Análisis Megascópico:** Cuando se analizó la muestra de mano a mayor detalle y con ayuda de un microscopio se llegó a la conclusión de que la roca estaba muy intemperizada de color gris violáceo con tintes amarillentos con fenocristales de plagioclasas en una matriz afanítica. Abundantes minerales arcillosos que atacan tanto a fenocristales como a la matriz. Presenta también óxidos de fierro y magnetita.

**Análisis Microscópico:** Al analizar la lámina obtenida de la muestra en el microscopio petrográfico se puede observar que presenta una textura porfídica con matriz afanítica, tiene como minerales esenciales plagioclasas sódicas, como mineral accesorio magnetita y como minerales secundarios presenta epidota y abundantes arcillas.

La roca es de origen **Ígneo Extrusivo** y la podemos clasificar como **Andesita intensamente alterada**.



0 1 mm

Muestra ALR-12-01: Izquierda vista LN (Luz Natural), derecha vista NX (Nicoles cruzados) Objetivo 4X.

## MUESTRA ALR-12-02

**Ubicación:** Ésta muestra se tomó de la brecha de falla, sus coordenadas son 19° 32' 40.08" N y 99° 16' 21.13" W.

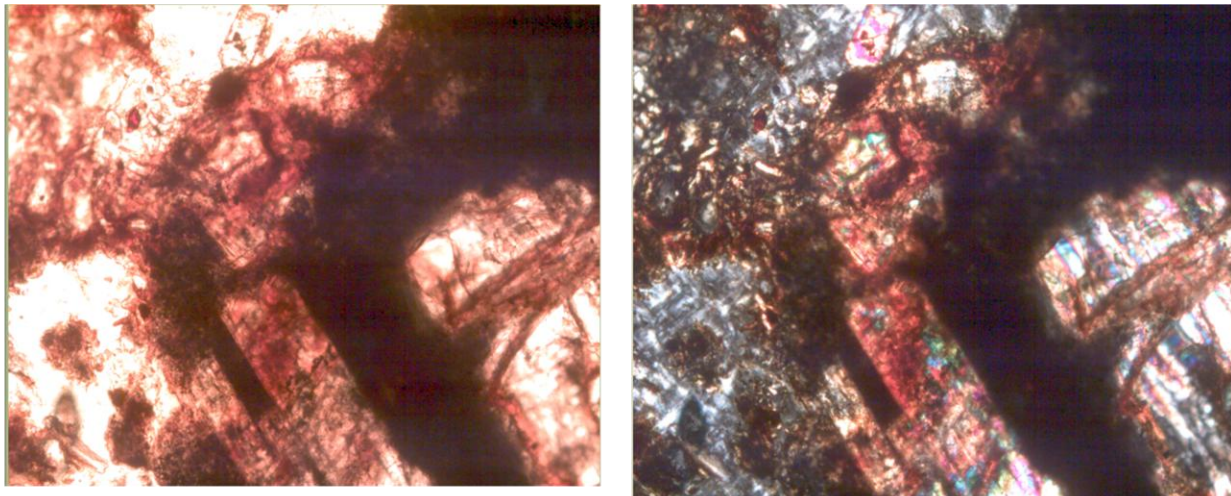
**Descripción de Campo:** A simple vista ésta es parecida a la muestra ALR-12-01, presenta un color café claro y se alcanzan a percibir algunos minerales, se puede ver que tiene una firmeza buena.

**Análisis Megascópico:** en el análisis se observa una roca de color café amarillento con fragmentos de rocas andesíticas y algunos pómez cementados por un material parecido al jaboncillo de falla.

**Análisis Microscópico:** en el análisis a la lámina, la muestra presenta una textura brechoide con fragmentos de roca y de cristales principalmente de plagioclasa como minerales esenciales. Como minerales secundarios se percibe abundante óxido de hierro.

**Características especiales:** Presenta fragmentos de roca y de cristales principalmente de plagioclasa en una matriz principalmente arcillosa y en ocasiones vítrea.

El origen de esta roca es **Tectónico (por falla)**; lo cual nos lleva a clasificarla como **Brecha de falla**.



0 1 mm

Muestra ALR-12-02: Izquierda vista LN (Luz Natural), derecha vista NX (Nicoles cruzados) Objetivo 4X.

## MUESTRA ALR-12-03

**Ubicación:** Con coordenadas 19° 32' 39.82" N y 99° 16' 22.03" W, esta muestra fue tomada de la franja de color amarillento del bloque de techo de la Falla de Galerías Atizapán.

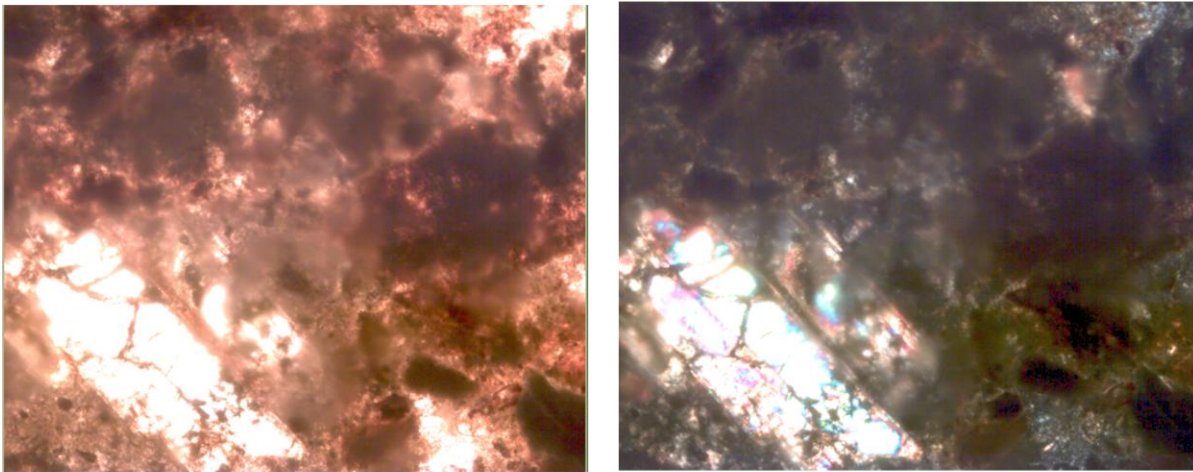
**Descripción de Campo:** La muestra presenta un color gris amarillento; está prácticamente granular y en su interior se perciben ciertos minerales.

**Análisis Megascópico:** Roca de color gris amarillento compuesta por fragmentos de rocas de tamaños variables principalmente de andesitas y de cristales de plagioclasas.

**Análisis Microscópico:** Al colocar la lámina bajo el microscopio petrográfico se observa que presenta una textura piroclástica, con fragmentos de roca y de cristales principalmente plagioclasas como minerales esenciales y con abundantes óxidos de hierro como minerales secundarios.

**Características Especiales:** Fragmentos de roca y de cristales principalmente plagioclasas en una matriz vítreo-arcillosa invadida por óxidos de hierro, con fragmentos de pómez.

La roca es de origen **Piroclástico** y la podemos clasificar como **Toba**.



0 1 mm

Muestra ALR-12-03: Izquierda vista LN (Luz Natural), derecha vista NX (Nicoles cruzados) Objetivo 4X.

## MUESTRA ALR-12-04

**Ubicación:** Tomada de una parte del estrato superior a la franja de color amarillento de la Falla de Galerías Atizapán, sus coordenadas son 19° 32' 39.69" N y 99° 16' 22.23" W.

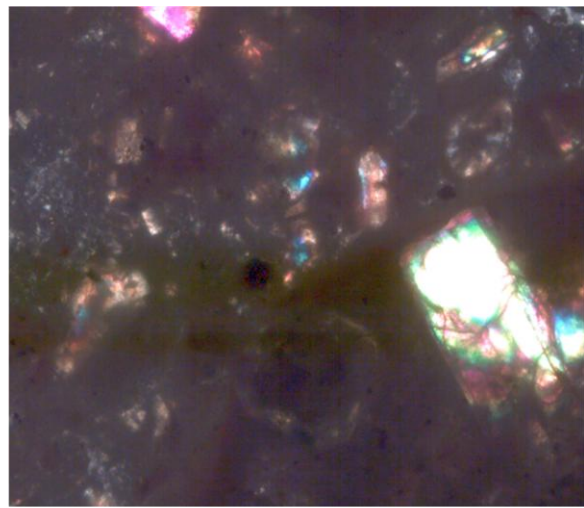
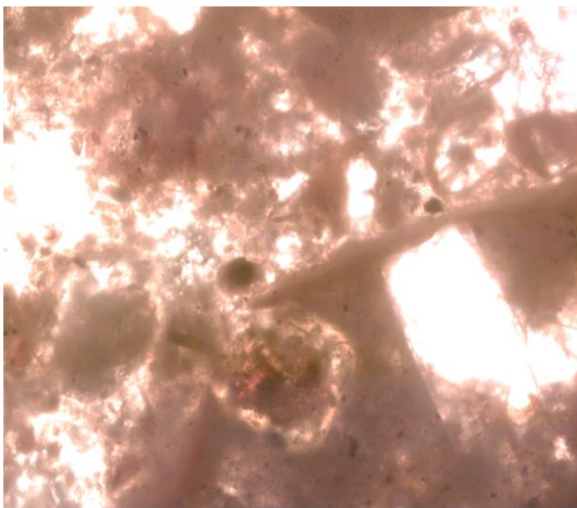
**Descripción de Campo:** La roca presenta un color grisáceo y en su interior se muestran restos de minerales y con cierta textura granular; es una roca firme.

**Análisis Megascópico:** En éste análisis la roca es de color gris con motas blancas con grandes fragmentos de pómez en una masa compuesta por diferentes fragmentos de roca y cristales como plagioclasa.

**Análisis Microscópico:** De textura piroclástica, presenta como minerales esenciales fragmentos de roca y algunos cristales de plagioclasa. Sus minerales secundarios son óxidos de hierro.

**Características Especiales:** Los fragmentos de roca son de andesita y de pómez, se observan algunos cristales de plagioclasa quebrados. El conjunto en una matriz vítrea.

La roca es de origen **Piroclástico** y la podemos clasificar como **Toba**.



Muestra ALR-12-04: Izquierda vista LN (Luz Natural), derecha vista NX (Nicoles cruzados) Objetivo 4X.



## MUESTRA ALR-12-05

**Ubicación:** Sus coordenadas son 19° 32´ 40.27” N y 99° 16´ 20.89” W a escasos centímetros del contacto con material tobáceo y a unos metros de la brecha de falla de Galerías Atizapán.

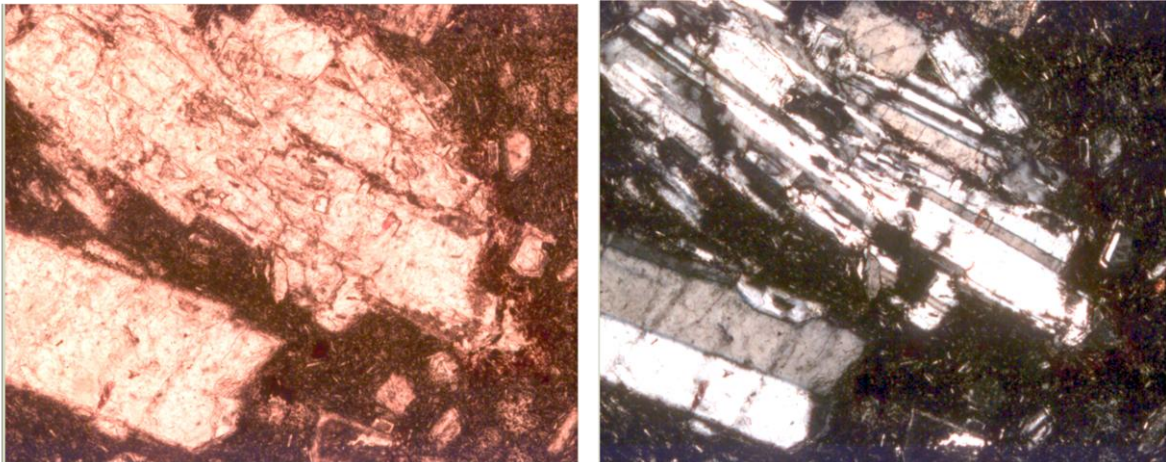
**Descripción de Campo:** El material volcánico sobreyace a la toba. La roca es de color gris oscuro con ciertos tonos violeta.

**Análisis Megascópico:** Al observar la muestra de mano bajo el microscopio se puede ver que la roca es de color gris violáceo con abundantes fenocristales de plagioclasa en una matriz afanítica muy afectada por óxidos de hierro (hematita).

**Análisis Microscópico:** Al analizar la lámina en el microscopio petrográfico se puede observar que presenta una textura porfídica con matriz afanítica fluidal, sus minerales esenciales son plagioclasas sódicas en fenocristales muy alterados, principalmente arcillas; como minerales accesorios tiene piroxenos muy alterados, magnetita y hematita; sus minerales secundarios se presentan como arcillas, sericita y óxidos de hierro.

**Características Especiales:** Fenocristales de plagioclasa sódica muy alterados y muy fracturados en una matriz afanítica fluidal constituida por abundantes microlitos de plagioclasa, invadida por óxidos de hierro.

La roca es de origen **Ígneo extrusivo** y la podemos clasificar como **Andesita**.



0 1 mm

Muestra ALR-12-05: Izquierda vista LN (Luz Natural), derecha vista NX (Nicoles cruzados) Objetivo 4X.

## MUESTRA ALR-12-06

**Ubicación:** La muestra fue tomada de la parte superior del derrame donde se obtuvo la muestra ALR-12-05, sus coordenadas son 19° 32' 40.21" N y 99° 16' 20.93" W.

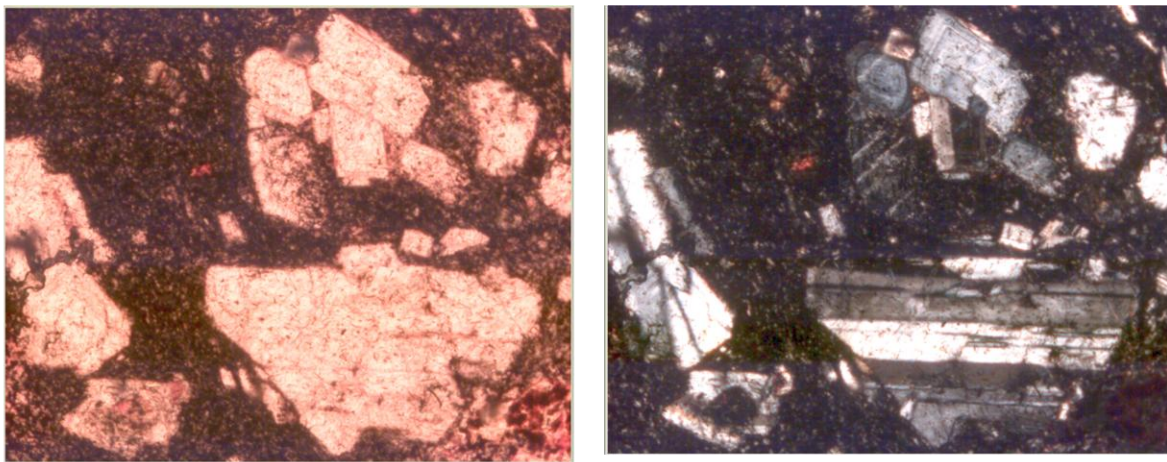
**Descripción de Campo:** Este derrame cubre a las tobas y a su vez, éste está cubierto por lahares y tobas como el horizonte de color amarillento de la Falla de Galerías Atizapán.

**Análisis Megascópico:** La roca presenta un color gris violáceo de textura porfídica en matriz afanítica; se observan cristales de plagioclasa y óxidos de fierro abundantes.

**Análisis Microscópico:** En el análisis de la lámina podemos observar que la roca presenta una textura porfídica en matriz afanítica fluidal; tiene como minerales esenciales plagioclasa sódica (andesina) y algunos cristales zoneados; como minerales accesorios se presentan piroxenos (hyperstena), hematita y magnetita; finalmente sus minerales secundarios son epidota y óxidos de fierro abundantes.

**Características Especiales:** Tiene fenocristales bien conservados de plagioclasa con algunas fracturas y alteraciones o introducciones de hematita. Alteración intensa principalmente provocada por los óxidos de fierro.

La roca es de origen **Ígneo extrusivo** y la podemos clasificar como **Andesita de Piroxenos**.



0 1 mm

Muestra ALR-12-06: Izquierda vista LN (Luz Natural), derecha vista NX (Nicoles cruzados) Objetivo 4X.

## MUESTRA ALR-12-07

**Ubicación:** Fue tomada de la parte superior del derrame donde se obtuvo la muestra ALR-12-05, sus coordenadas son 19° 32' 40.14" N y 99° 16' 20.86" W.

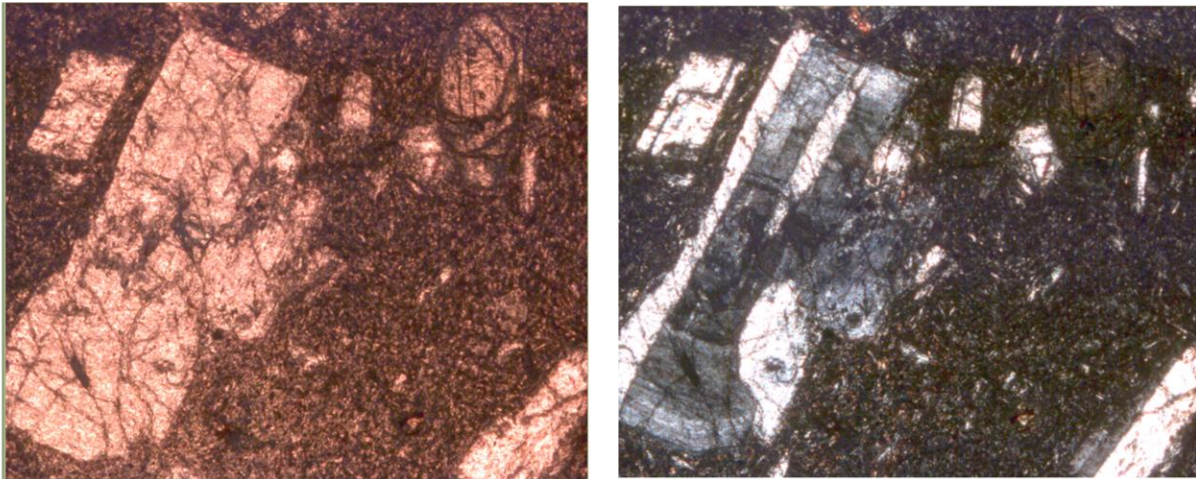
**Descripción de Campo:** Este derrame cubre a las tobas y a su vez, éste está cubierto por lahares y tobas como el horizonte de color amarillento de la Falla de Galerías Atizapán.

**Análisis Megascópico:** La roca presenta una textura porfídica con abundantes cristales de plagioclasa en una matriz afanítica invadida por óxidos de hierro (hematita).

**Análisis Microscópico:** En el análisis de la lámina en el microscopio petrográfico se observó una textura porfídica, con plagioclasas sódicas como minerales esenciales, minerales accesorios representados por piroxenos muy alterados y óxidos de hierro (hematita abundantes), epidota como minerales secundarios.

**Características Especiales:** Como características encontramos una roca compuesta por fenocristales de plagioclasa muy fracturados y alterados inmersos en matriz compuesta por microlitos también de plagioclasa con estructura fluidal acompañados de abundantes óxidos de hierro.

La roca es de origen ígneo extrusivo y la podemos clasificar como **Andesita**.



0 1 mm

Muestra ALR-12-07: Izquierda vista LN (Luz Natural), derecha vista NX (Nicoles cruzados) Objetivo 4X.

## MUESTRA ALR-12-08

**Ubicación:** Se toma del cerro que se ubica en dirección Noroeste de la Plaza Galerías Atizapán sobre un camino de terracería que va paralelo a la autopista Cd de México-Toluca. Las coordenadas de ubicación son 19° 33' 11" N y 99° 16' 43.90" W.

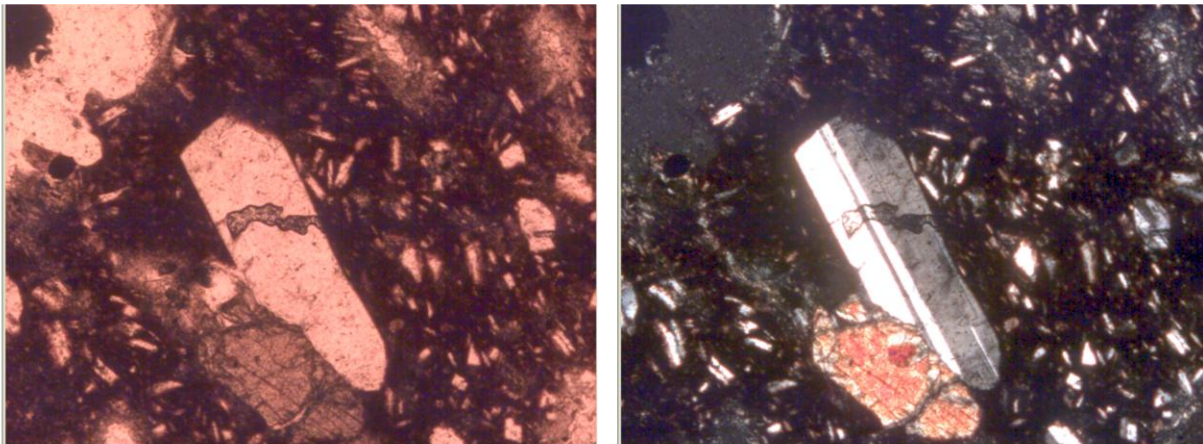
**Descripción de Campo:** Parece ser un contacto, ya que hay diferentes tipos de material, el cual cambia entre tobas y material volcánico. Son rocas de color gris oscuro y en su interior se pueden apreciar algunos minerales.

**Análisis Megascópico:** Al analizar la muestra bajo el microscopio se percibe una roca de color gris oscuro con textura porfídica con cristales de plagioclasa en matriz afanítica y abundantes óxidos de hierro.

**Análisis Microscópico:** La lámina presenta una textura porfídica en matriz afanítica, con plagioclasas sódicas (andesina) como minerales esenciales y piroxenos (probablemente hyperstena) como minerales accesorios; sus minerales secundarios son óxidos de hierro abundantes (hematita) y magnetita.

**Características Especiales:** Abundantes óxidos de hierro que afectan a la matriz principalmente, los fenocristales de plagioclasa están corroídos y varios de ellos fracturados.

La roca es de origen **Ígneo extrusivo** y la podemos clasificar como **Andesita de Piroxenos**.



0 1 mm

Muestra ALR-12-08: Izquierda vista LN (Luz Natural), derecha vista NX (Nicoles cruzados) Objetivo 4X.

## MUESTRA ALR-12-09

**Ubicación:** La muestra fue tomada sobre el mismo camino de terracería que va paralelo a la Autopista Cd. De México-Toluca donde obtuvimos la muestra ALR-12-08; de una cañada que aparentemente es un plano de falla. Sus coordenadas son 19° 33' 32" N y 99° 16' 47" W.

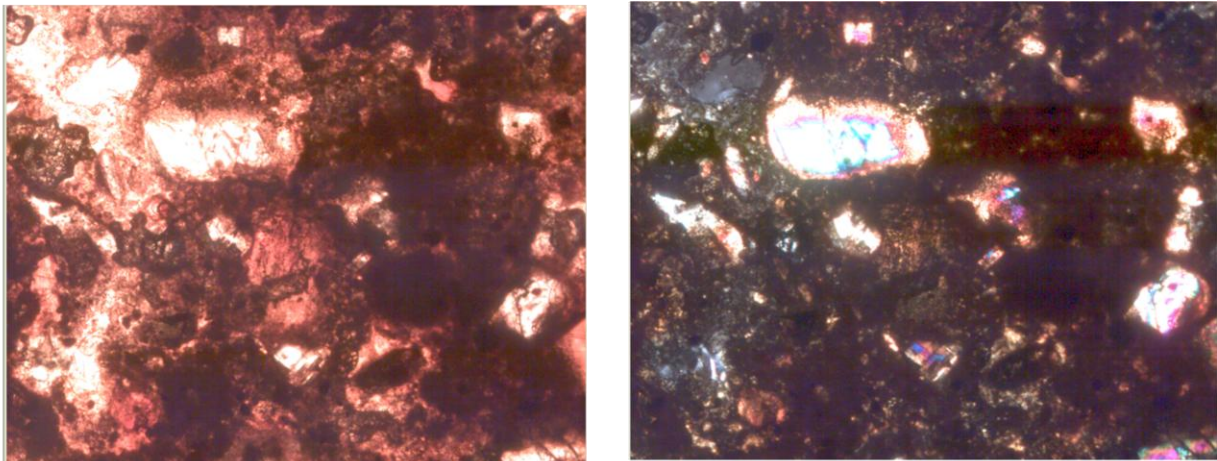
**Descripción de Campo:** En el lado derecho de la cañada se nota un material tobáceo con brecha, con fragmentos de roca bastante redonda y muy visible. La roca muestra señales de intemperismo, muy firme y de color café claro.

**Análisis Megascópico:** La roca es de color café claro con fragmentos de roca y de cristales.

**Análisis Microscópico:** La lámina perteneciente a la muestra, presenta una textura piroclástica, con fragmentos de roca y cristales de plagioclasa invadidos por óxidos de hierro como minerales esenciales; como minerales accesorios la roca presenta hematita y como minerales secundarios óxidos de hierro.

**Características Especiales:** Fragmentos de roca y cristales de plagioclasa.

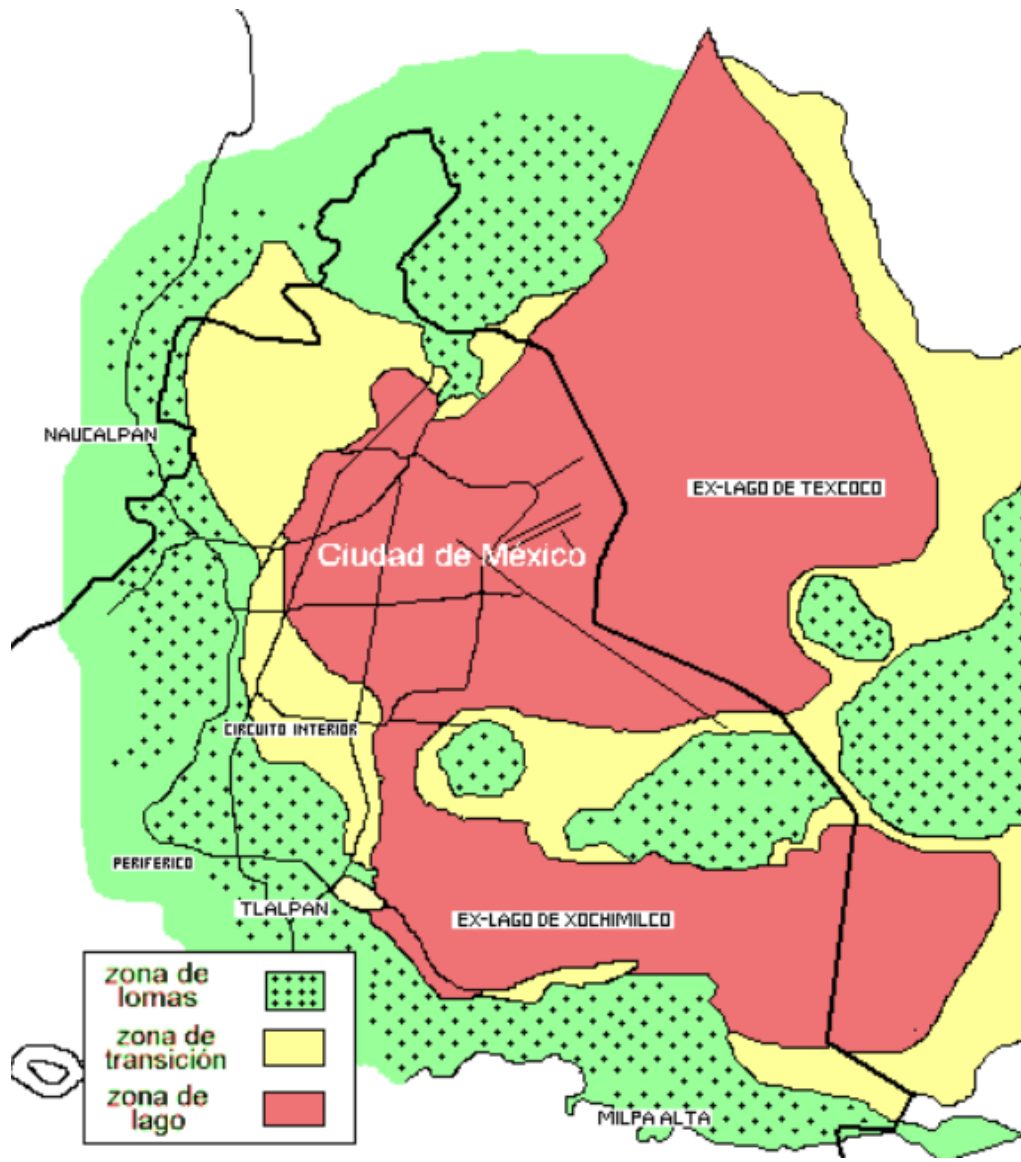
La roca es de origen **Piroclástico** y la podemos clasificar como **Toba**.



0 1 mm

Muestra ALR-12-09: Izquierda vista LN (Luz Natural), derecha vista NX (Nicoles cruzados) Objetivo 4X.





Debido al tipo de suelo en el valle de México, las ondas sísmicas se propagan a mayor velocidad, lo que provoca que los sismos sean de intensidad considerable.



# BIBLIOGRAFÍA



## BIBLIOGRAFÍA

- \* Blyth, F.G.H., Freitas M.H. (1989) **“Geología para Ingenieros”**. Compañía Editorial Continental, México, 1989.
- \* CENAPRED, Sistema Nacional de Protección Civil. (2006) **“Serie: Atlas Nacional de Riesgos. Guía Básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos: Conceptos Básicos sobre Peligros, Riesgos y su representación Geográfica”**, 1° Edición, México, 2006.
- \* CENAPRED, Sistema Nacional de Protección Civil. (2006) **“Serie: Atlas Nacional de Riesgos. Guía Básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos: Fenómenos Geológicos”**, 1° Edición, México, 2006.
- \* Chávez Aguirre, J. Ma. (2006) **“Geotecnia”**, CFE, México, 2006.
- \* Chávez Aguirre, J. Ma. (2008) **“Atlas Multidisciplinario y de Riesgo Geotécnico de la Zona Conurbada al Norponiente del Valle de México”**, Academia de Ingeniería, México, 2008.
- \* Consejo de Recursos Minerales, SEDESOL, Programa Hábitat. (2004) **“Guía Metodológica para la elaboración de Atlas de Peligros Naturales a Nivel de Ciudad: Identificación y Zonificación”**. México, 2004.
- \* Flores Núñez, J. (2000) **“Aspectos Prácticos de la Instrumentación en presas de Tierra y Enrocamiento”**, UNAM, México, 2000.
- \* González de Vallejo, L. (2002) **“Ingeniería Geológica”**, Edit. Pearson, Madrid, 2002.
- \* Juárez Badillo, E; Rico Rodríguez, A. (1970) **“Fundamentos de la Mecánica de Suelos”**, Tomo 1, 2° Edición, México, 1970.
- \* Lepe, J. L. (1976) **“Diseño de Presas Pequeñas”**, Compañía Editorial Continental, México, 1976.
- \* Marsal, R; Reséndiz Núñez, D. (1979) **“Presas de Tierra y Enrocamiento”**, Edit. LIMUSA, México, 1979.
- \* Mooser, F; Montiel, A; Zúñiga, Á. (1996) **“Nuevo mapa Geológico de las Cuencas de México, Toluca y Puebla”**, CFE, México, 1996.
- \* Novak, P.; Moffat A. I. B y Nalluri, C.; Santos Granados, G. (Trad.) (2001) **“Estructuras Hidráulicas”**, Mc Graw Hill, 2° Edición, Colombia, 2001.
- \* Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. (1998) **“Presas de Almacenamiento (Conferencia internacional)”**, México, 1998.
- \* Whitlow, R. (1994) **“Fundamentos de Mecánica de Suelos”**, Compañía Editorial Continental, México, 1994.

- \* Comunicación Personal con el Ing. Celso Barrera, “**Apuntes de Mecánica de Suelos**”, México, 2009.
  - \* Comunicación Personal con el Ing. Jorge Flores Núñez, “**Apuntes de Presas de Tierra y Enrocamiento**”, México, 2010.
  - \* Comunicación Personal con el Ing. Luis del Bosque, “**Apuntes de Mecánica de Rocas**”, México, 2010.
- 

- \* Piedad Franco, M; Gonzalo, J. C. (2000) “**Enseñanza de la Petrología con el Microscopio Petrográfico**”, Universidad de Salamanca, España, 2000, (<http://www.raco.cat>).
- \* <http://www.proteccioncivil.gob.mx>
- \* <http://www.inegi.org.mx>
- \* <http://www.geologia.unam.mx>
- \* <http://dondehabitaelolvido1983.blogspot.com>
- \* <http://www.geobrugg.com>
- \* <http://www.conexiontotal.mx>
- \* <http://viveconmas.wordpress.com>
- \* <http://elprofedenaturales.wordpress.com>
- \* <http://leandro-geomorfología.blogspot.com>
- \* [http://es.wikipedia.org/wiki/Atizapan\\_de\\_Zaragoza](http://es.wikipedia.org/wiki/Atizapan_de_Zaragoza)
- \* <http://www.chduero.es>
- \* <http://descubrimientosfamosos.blogspot.com>
- \* <http://ingenieriaaycomputacion.blogspot.com>
- \* <http://tectonic.wordpress.com>
- \* <http://www.atizapan.gob.mx/historia.htm>
- \* <http://maps.google.com.mx>
- \* <http://www.civilgeeks.com>
- \* <http://www.clubdeexploradores.org>
- \* <http://www.profesorenlinea.cl>