



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Procedimiento Constructivo para el  
Relleno de Cavernas en la Zona  
Poniente de la Ciudad de México**

**INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES**

Que para obtener el título de

**Ingeniero Geólogo**

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

Lázaro Padilla Díaz

**ASESOR DE INFORME**

Ing. Javier Mancera Alejandrez



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019

# CONTENIDO

1.- INTRODUCCION .....	3
1.1.- Problemática .....	4
2.- CONTEXTO GEOLOGICO .....	5
2.1 CONTEXTO REGIONAL GEOLOGICO .....	5
2.2 ZONIFICACION GEOTECNICA.....	9
3.- METODOS UTILIZADOS PARA LA DETECCION DE CAVERNAS .....	11
3.1.- FOTOINTERPRETACION .....	12
3.2.- METODOS GEOFISICOS .....	14
3.3.- METODO DIRECTO PERFORACIONES .....	17
3.3.1.- PERFORACION SIMPLE .....	17
3.3.2.- PERFORACION CON CONTROL ELECTRONICO .....	18
4. PROCEDIMIENTO PARA EL RELLENO DE CAVERNAS.....	20
4.1.- TOPOGRAFÍA .....	20
4.2.- PROCEDIMIENTO DE RELLENO .....	21
4.2.1.- DELIMITACIÓN DE LAS ÁREAS POR RELLENAR.....	22
4.2.2.- RELLENO CON BLOQUES.....	23
4.2.3.- COLOCACIÓN DEL RELLENO FLUIDO.....	26
4.2.4.- INYECCION DE SELLO A BASE DE MORTERO .....	29
5.- CASOS DE APLICACIÓN .....	31
5.1.- MINA CALLEJON DEL MERCADO .....	32
5.2.- MINA AV. SANTA LUCIA Y FLORES MAGON.....	33
6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	37
REFERENCIAS:.....	39
ANEXO 1.- MINA CALLEJON DEL MERCADO COL. OLIVAR DEL CONDE.....	40
ANEXO 2.- AV. SANTA LUCIA Y FLORES MAGON .....	45

## **1.- INTRODUCCION**

La alcaldía de Álvaro Obregón (fig. 1), se encuentra situada en el poniente de la Ciudad de México, se extiende en forma alargada entre los paralelos 19 14`N y 19 25`S., desde las altas cimas de la sierra de las cruces, hasta la planicie lacustre.

Uno de los problemas en la zona Sur Poniente de la Ciudad de México, han sido la detección de asentamientos, socavones y fracturamiento, en los elementos estructurales (cadenas y muros) de las construcciones en esta zona. Estos problemas se asocian a un conjunto de obras de extracción subterránea (cavernas, socavones horizontales) previas a los asentamientos urbanos.

Por su composición litológica se buscaban horizontes de materiales pétreos como arena, grava, pómez, etc., utilizados para la construcción y desarrollo de la urbanización en gran parte de la Ciudad de México a mediados del siglo XX, aunque en realidad no se cuenta con antecedentes precisos de estos.

Estas obras fueron desarrolladas de manera empírica, informal y con geometría errática, es decir, que no tenía ningún diseño técnico de explotación, por lo tanto, no existían croquis, planos, mapas, etc., con esta condición se desconocía o se omitió para el desarrollo urbano en la zona, la cual fue creciendo justo en los horizontes superiores.

Un agravamente común del problema reside en el continuo cambio de las características morfológicas y topográficas de dichas zonas, originado por su posterior urbanización o por rellenos, comúnmente heterogéneos, lo que a su vez ha motivado que tales defectos geotécnicos sean desconocidos, por haber quedado parcial o totalmente ocultos; solo a través de completos y consecuentemente numerosos estudios, se han podido determinar su presencia y las medidas tendientes a evitar afectaciones a inmuebles o habitantes. (Melgoza,1997).

Las acciones tomadas cuando se han detectado cavernas han sido primero definir su geometría y características, y con ello diseñar el tratamiento necesario para garantizar la seguridad estructural en la zona, que por lo general es relleno con materiales de densidad, y permeabilidad y porosidad estables. Estas cavernas se han ido estabilizando ya sea porque se conoce su ubicación o por que se tuvieron que realizar los estudios geofísicos-geotécnicos.

## 1.1.- PROBLEMÁTICA

Se tienen identificadas un gran número de cavernas distribuidas en la zona poniente de la Ciudad de México, que han ocasionado serias afectaciones a la infraestructura y riesgo a la población. Estos problemas continúan presentándose en la Alcaldía Álvaro Obregón Fig. 1. Las condiciones de filtración y reblandecimiento de los materiales, el peso de las construcciones, las vibraciones de los vehículos, entre otros factores, pueden generar hundimientos en la superficie y eventualmente el colapso repentino del techo de las cavidades.

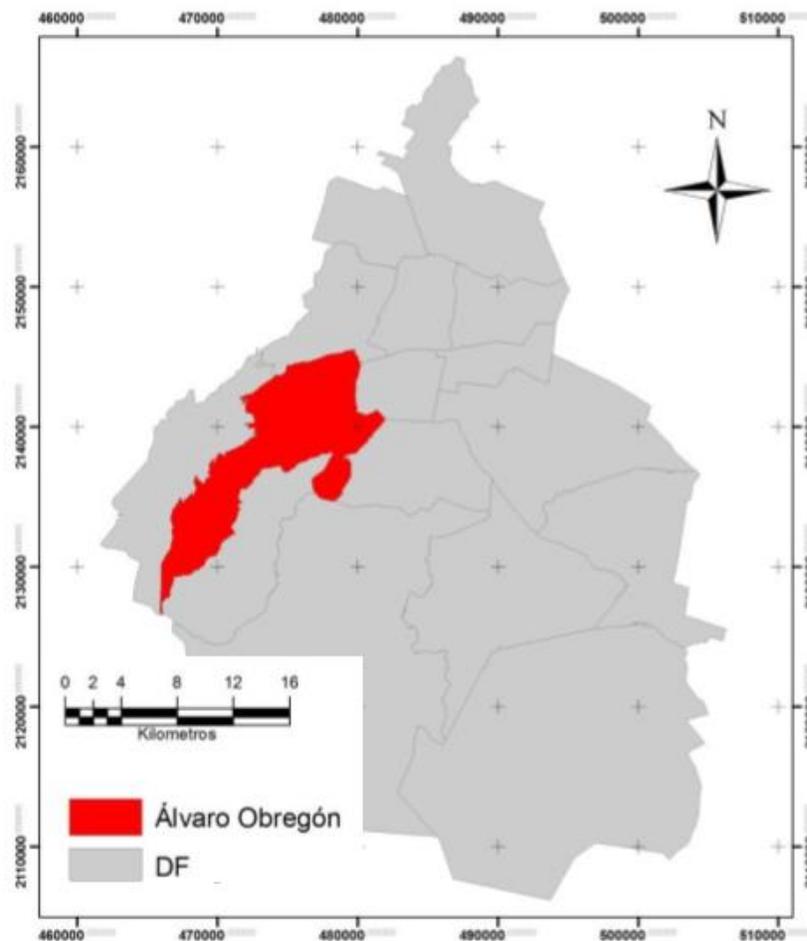


Figura 1. Ubicación de la Alcaldía Álvaro Obregón.

## 1.2.- ANTECEDENTES LABORALES.

Se presenta el proceso constructivo de relleno en algunas cavernas que se realizó en los años 2006 a 2007, contratados por la alcaldía (Antes Delegación) Álvaro

Obregón, con el objeto de llevar a cabo el “**Estudio y Proyecto para la Regeneración de Diversas Cavidades dentro del Perímetro Delegacional**”. Como antecedente, por parte de la Alcaldía se cuenta con información de la posible ubicación de algunas minas en un plano general proporcionado por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda (SEDUVI), pero no se conocía más información de éstas, como profundidad o volumen de las mismas o si estas ya han sido objeto de algún proceso de regeneración o relleno por parte de los habitantes del lugar o por alguna dependencia, por lo que resulta necesario realizar actividades de exploración para la caracterización de estas y en el mejor de los casos su ubicación real, y con ello realizar el reconocimiento interno, levantamiento planimétrico y altimétrico de las minas.

La empresa que realizó estos trabajos es: **Siglo XXI, Construcción y Supervisión, S.A. de C.V.**, que inició operaciones en junio de 2000, y cuyo fundador es Lázaro Padilla Díaz, quién presenta este trabajo. El objeto de la empresa en su acta constitutiva es el de realizar trabajos de Construcción, Estudios, Proyectos, Mantenimiento y Supervisión de obra pública y privada.

**Siglo XXI, Construcción y Supervisión, S.A. de C.V.** llevado a cabo desde su fundación a la fecha, varios trabajos de construcción como:

- Terminación de la clínica hospital T-III en la localidad de San pablo Oztotepec, realizado para la delegación Milpa Alta.
- Elaboración de proyecto ejecutivo para la separación de aguas pluviales en el drenaje sanitario de la Cabecera Municipal de Valle de Bravo, Estado de México, realizado para la Comisión del Agua del Estado de México.
- Realización de estudios de perforación para detección, seccionamiento y proyecto de cavidades de alto riesgo a partir de los estudios de geofísica, realizados en el año 2005, en las Colonias Barrio Norte, Isidro Fabela, Abraham González y Primera Victoria, dentro del perímetro de la entonces Delegación Álvaro Obregón, 2006.

## **2.- CONTEXTO GEOLOGICO**

### **2.1 CONTEXTO REGIONAL GEOLOGICO**

La geología de la Cuenca de México abarca desde el Cretácico hasta el Cuaternario, donde afloran rocas de origen volcánico y materiales derivados de estas, cuyas edades van del Oligoceno al Reciente, esto se debe a los estudios realizados por (Mooser, 1956, 1975; Schlaepfer, 1968; Vázquez Sánchez y Jaime-Palomera, 1989).

Al observar la Cuenca de México las lomas se extienden al pie de las Sierras elevadas en el Oeste, que corresponden aquellas que se desarrollaron al pie de las sierras en el Este, por consiguiente, se describen las lomas que se elevan en ambos lados de la extensa planicie lacustre de la Cuenca de México, como son los depósitos piroclásticos acumulados a los pies de la sierra de las Cruces que presenta una secuencia vulcanosedimentaria, que es el resultado de la actividad volcánica.

La unidad más antigua está constituida por rocas volcánicas andesíticas y dacíticas del Mioceno, con intercalación de depósitos de arena pumítica, tobas arenosas y arcillosas, depósitos de lahares con fragmentos de diversos tamaños en una matriz tobacea y arcillosa, por último, tobas alteradas, horizontes de pómez y suelos arcillosos.

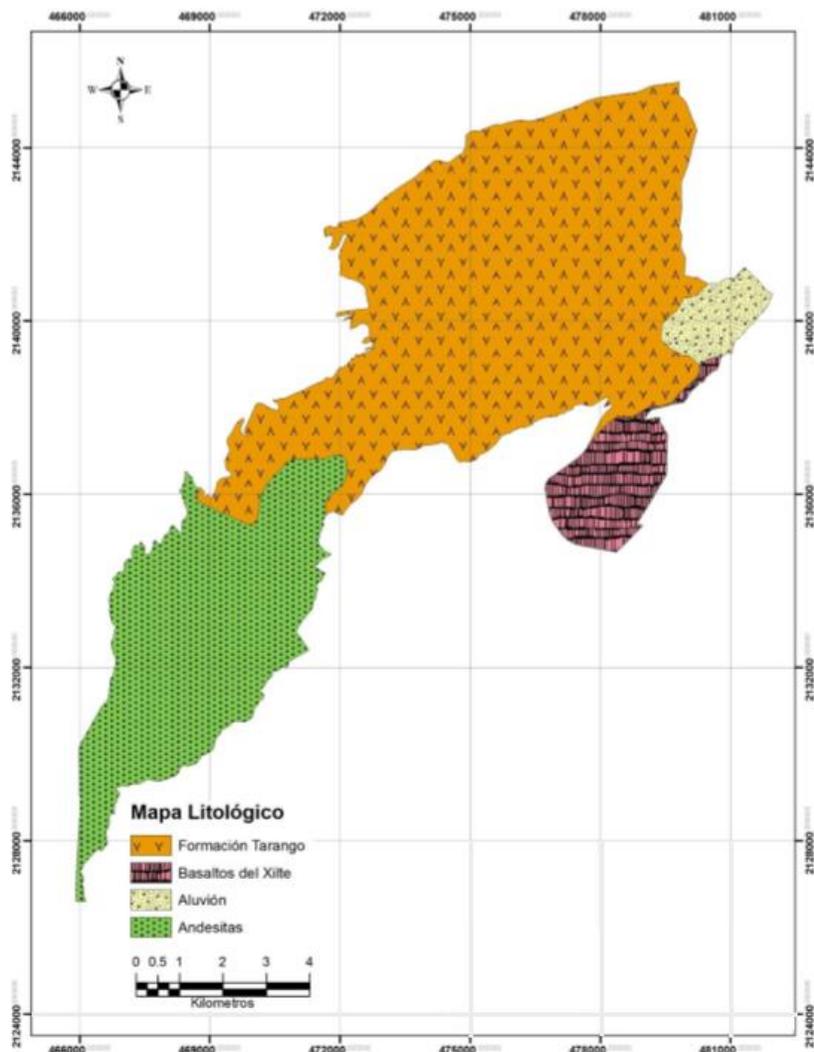


Figura 2. Mapa Litológico de la Alcaldía Álvaro Obregón.

Definen la Formación Tarango (A.R.V. Arellano y K. Bryan, 1948), basándose en los materiales que proceden de la Barranca de Tarango, al Oeste de la Ciudad de México, donde existía las clásicas minas de “arena azul” en explotación (fig. 2), el cual fue descrito el afloramiento con división de tres formaciones, la cual representa el producto de materiales piroclásticos de las sierras mayores depositados en ellas, con el tiempo se modificó las formaciones Tacubaya y Becerra, como una sola Formación Tarango, interpretándose como horizontes tobáceos en la cima de la formación Tarango, que fueron erosionados y depositados los cuales fueron sometidos a distintos grados de meteorización, consecuencia de diferentes cambios climatológicos del cuaternario, el color gris de un horizonte de suelo tobáceo, conteniendo capas de caliche, lo cual se interpreta como una secuencia de un clima tendiente a árido (formación becerra), el color amarillo de otro horizonte tobáceo alterado subyacente al anterior, lo cual se le da una interpretación de un clima más húmedo (formación Tacubaya).

La Sierra de las Cruces, geológicamente representa esta una gran variedad de hileras de sierras elevadas escudo volcanes flanqueados al Poniente y Oriente por abanicos volcánicos, estos están compuestos de material piroclástico y sus derivados además de suelos y depósitos fluviales, y cada aparato volcánico produjo sus propias erupciones entrelazadas, las cuales conforman la formación Tarango.

La estratificación de esta formación son unas series de lávicas de las Sierras Mayores (Sierra de las Cruces) donde se originó, sobreyacen los abanicos volcánicos tarango a los depósitos volcánicos del Terciario Medio (Formación Xochitepec) y del Mioceno Superior (Sierras Menores: como la Sierra Guadalupe y Tepetzotlán), y subyacen a los depósitos clásticos aluviales del Cuaternario. (fig. 3).

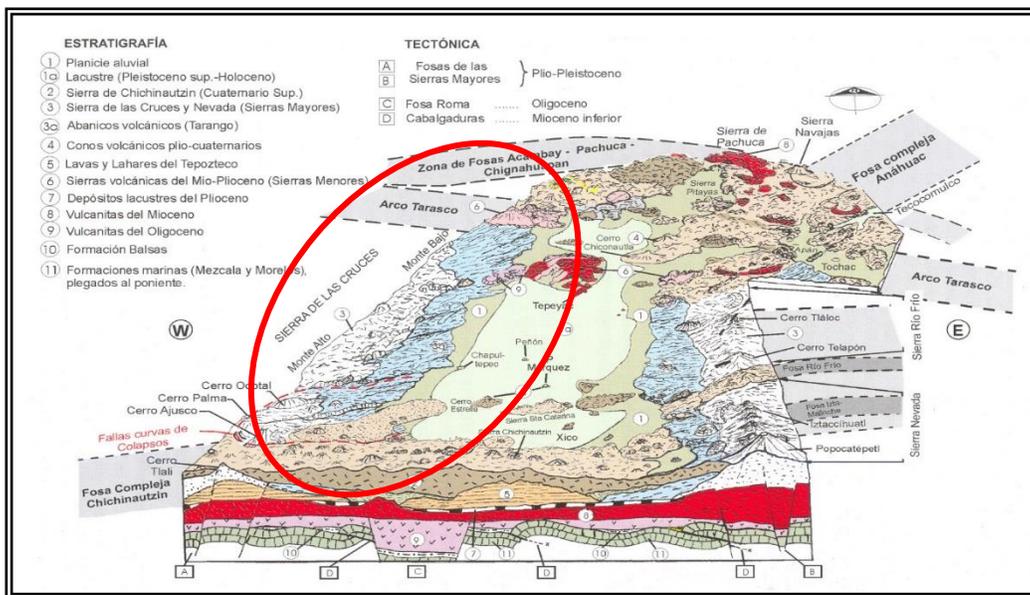


Fig.3 Orografía de la Cuenca de México (Fuente: Síntesis Geotécnica de la Cuenca del Valle de México TGC. 2005)

Los depósitos más antiguos de la formación Tarango consisten una secuencia de tobas amarillas separadas por paleosuelos, que contienen un polvo pumítico, son avalanchas de nubes ardientes menores que rodean el domo del Cerro del Judío y aparecen de nuevo al Norte de la carretera Toluca, a esta se sobrepone un flujo piroclástico, que se caracteriza por pómez en gran cantidad y padecería de roca oscura alterada, como producto fragmentado de la chimenea volcánica el cual a este material se le conoce como Cuquita, la erupción que la produjo fue cataclísmica, y este material rodeo a los cerros de Chapultepec, Zacaltepetl y Zacayucan, los cuales estos domos constitución acida son más antiguos.

El siguiente evento explosivo, estuvo marcado por erupciones plinianas que están atestiguadas por tres capas de pómez, y estas están separadas entre sí por paleosuelos en el área de las Lomas, continúan las erupciones violentas con la emisión de flujos de materiales piroclásticos rodacíticos, estos surgieron en Cuajimalpa, Santa Rosa y Totolapa, que se le llamo “flujos Xolopo”.

El último ciclo explosivo, se caracterizó por sus flujos de materiales piroclásticos dacíticos que se extendieron en parte al Rio Hondo, en parte a la zona de Tacubaya, Mixcoac y San Ángel, formación conocida como “Arenas Azules” en sus distintos tipos, principia las erupciones con la destrucción del cono superior en la cima del escudo-volcán de San Miguel, el cual hay dos vestigios de estas explosiones una que produjeron lahares ciclópeos, que son flujos con fragmentos enormes, el otro vestigio el cual se extendió la actividad, surgieron erupciones de arenas de color azul oscuro, después arenas de color rosa, aparentemente fumarolizadas, este evento fue característico por los cuerpos de arenas y gravas de color azul claro, ricas en finos, son estas las “Arenas Azules” solicitadas por la industria de la construcción.

Resumiendo, este evento geológico, las Lomas al Poniente de la Ciudad se componen de los productos de 5 eventos eruptivos violentos.

1. Erupciones de Flujos piroclásticos de Arenas Azules
2. Depósitos piroclásticos Xolopo
3. Tres erupciones plinianas de pómez
4. Erupción cataclísmica de flujo piroclásticos “Cuquita”
5. Erupciones de nubes ardientes menores de polvo fino

Otras de las observaciones en los distintos cortes de la Formación Tarango, es la escasa ausencia de flora fósil esto debido haberse formado los depósitos en el plioceno, tiempo caracterizado por su clima árido, difícilmente podrían crecer bosques o vegetaciones exuberantes sobre los suelos tobáceos en las lomas en formación, y también aunado a la frecuencia de las erupciones impedía el crecimiento de dicha vegetación.

Otro indicio del clima árido en la Cuenca de México es la escases de depósitos fluviales en su conjunto, algunos de estos se ubican a finales del Plioceno, que

coinciden con las glaciaciones que terminaron en el Cuaternario, donde se formaron en las barrancas de las lomas, los depósitos gruesos fluviales correlacionables con la formación Clástica Aluvial del relleno de la Cuenca de México.

Las rocas que afloran en la son de edad cuaternaria (Fig. 4), y su posición estratigráfica y edad absoluta han sido establecidas gradualmente en los últimos años; el piedemonte está constituido por varios tipos de sedimentos, que Bryan (1948) y Arellano (1953) llamaron Formación Tarango, Bryan consideró que la Formación Tarango es de unos 300 m de espesor al suroeste de Mixcoac. Mooser et al (1992) reconocieron en el piedemonte de la Sierra de las Cruces las siguientes unidades litológicas: derrames piroclásticos, arenas azules de 270,000 años; erupciones piroclásticas Xolopo de 430,000 años; tres erupciones plinianas de pómez; derrames piroclásticos Cuquita; erupciones de nubes ardientes menores de polvo fino de menos de 600,000 años.

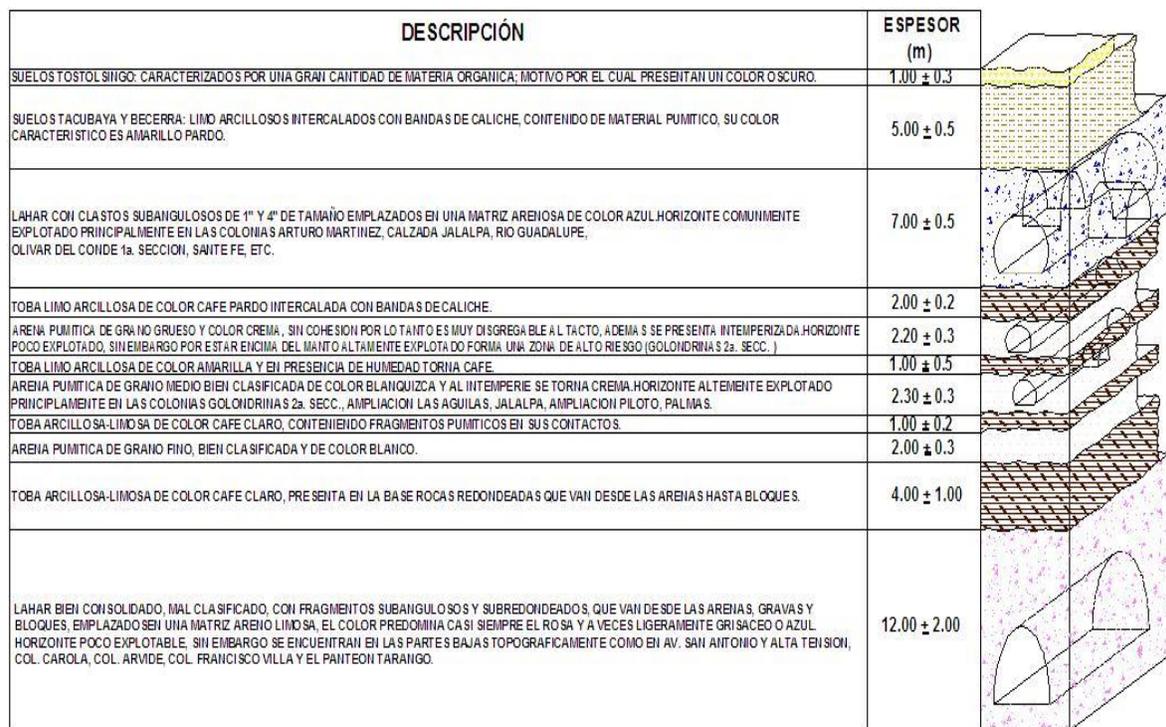


Figura 4. Columna Estratigráfica de la Alcaldía de Álvaro Obregón Fuente. (Alanis Alcantara A. Tesis de Posgrado 2011)

## 2.2 ZONIFICACION GEOTECNICA

Resumiendo, las rocas que afloran en la Alcaldía Álvaro Obregón son del Terciario-Cuaternario, su posición estratigráfica y edad absoluta han sido establecidos gradualmente en los últimos años, cabe mencionar que no de forma definitiva. En el área solo afloran rocas de origen volcánico, así como materiales derivados de éstas, cuyas edades son consideradas del Oligoceno al Reciente. El área está

constituida por una alternancia de depósitos vulcano-sedimentarios resultado de la actividad volcánica que dio origen al conjunto morfo-estructural de la Sierra de las Cruces y es indicio del fin del gran vulcanismo en la región.

La unidad más antigua consiste en rocas volcánicas andesíticas y dacitas del mioceno, con intercalación de depósitos de arenas pumicíticas, tobas arenosas y arcillosas, lahares de fragmentos de diversos tamaños en una matriz tobácea y arcillosa, por último, tobas alteradas, horizontes de pómez y suelos arcillosos.

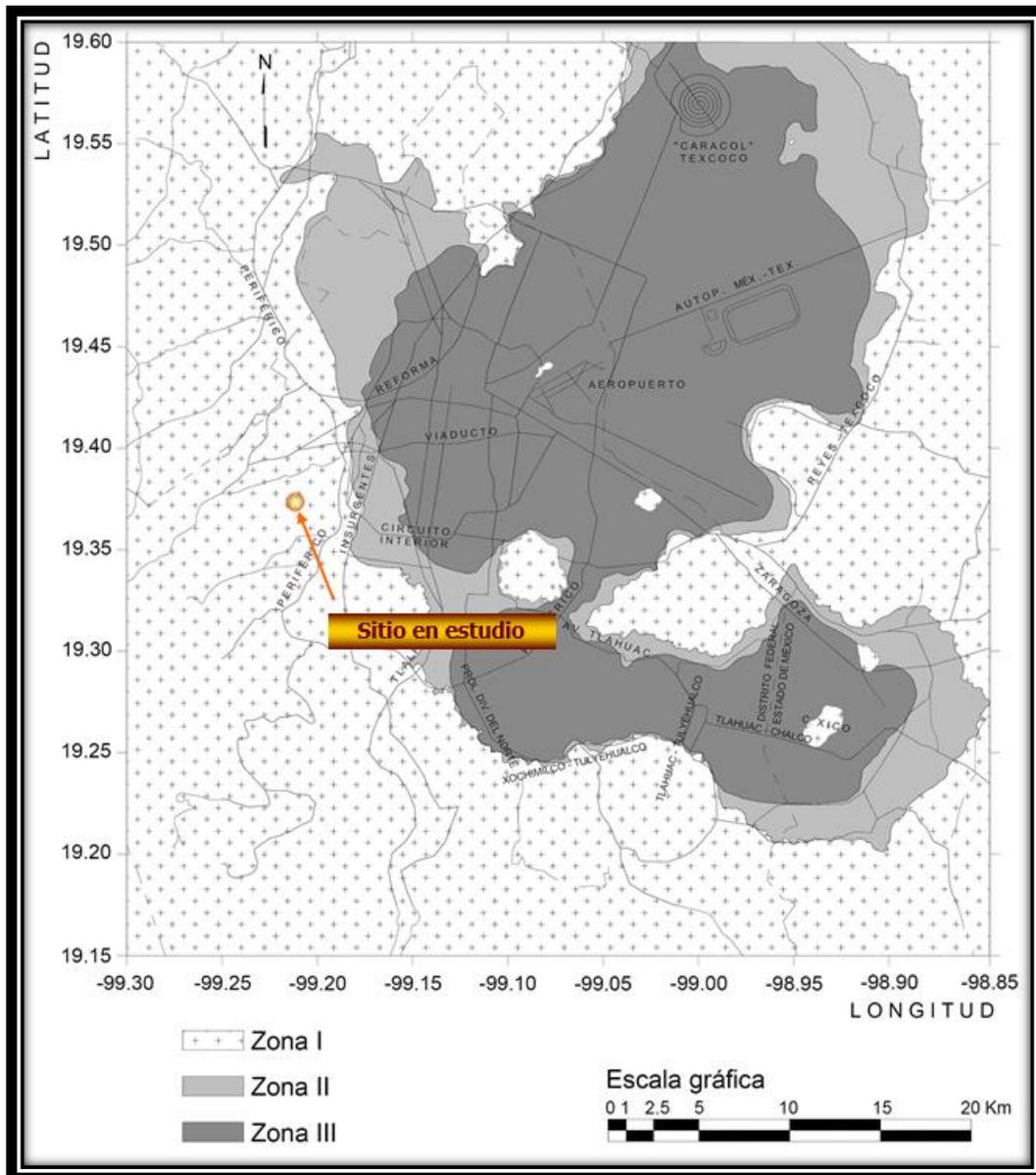


Figura 5. Zonificación geotécnica del valle de Ciudad de México

De acuerdo al reglamento de Construcciones de la Ciudad de México vigente (2004), La cual está dividida en tres zonas con las características generales (Arnal y Betancourt 2005): (fig. 5):

- a) Zona I. Lomas, formadas por rocas o suelos generalmente firmes que fueron depositados fuera del ambiente lacustre, pero en los que pueden existir, superficialmente o intercalados, depósitos arenosos en estado suelo o cohesivos relativamente blandos. En esta zona es frecuente la presencia de oquedades en rocas, de cavernas y túneles excavados en suelos para explotar minas de arena y de rellenos no controlados.
- b) Zona II. Transición, en la que los depósitos profundos se encuentran a 20 m de profundidad, o menos, y que está constituida predominantemente por estratos arenosos y limo arenosos intercalados con capas de arcilla lacustre; el espesor de éstas es variable entre decenas de centímetros y pocos metros.
- c) Zona III. Lacustre, integrada por potentes depósitos de arcilla altamente compresibles, separados por capas arenosas con contenido diverso de limo o arcilla. Estas capas arenosas son generalmente medianamente compactas o muy compactas y de espesor variable de centímetros a varios metros. Los depósitos lacustres suelen estar cubiertos superficialmente por suelos aluviales, materiales desecados y rellenos artificiales; el espesor de este conjunto puede ser superior a 50 m.

La descripción geomorfológica que conforman la Alcaldía de Álvaro Obregón, nos indica que ésta se localiza principalmente en la Zona I, es decir la zona de lomas.

### **3.- METODOS UTILIZADOS PARA LA DETECCION DE CAVERNAS**

En la zona de la alcaldía de Álvaro Obregón, se advierten colapsos de cavernas que a veces pasan inadvertidas porque en su momento eran zonas deshabitadas, pero una vez que se ha extendido la mancha de la población en el poniente de la ciudad de México, (Fig. 6), donde existían minas abandonadas resultando peligroso y con frecuencia ocurrían hundimientos, y esto aunado a la filtración de las aguas pluviales y drenajes rotos, debilitando estas minas ocasionando con frecuencia el derrumbe, por lo cual se convirtió en unos de los problemas actuales y serios que se presentan en esta alcaldía.

Con base a lo anterior, esta alcaldía (antes Delegación) comenzó a llevar a cabo estudios para la detección de estas minas, contando con la información posible de la ubicación de algunas minas, pero no se conoce su profundidad o volumen de las mismas o si estas han sido proceso de algún relleno o regeneración por parte de los habitantes del lugar, por lo cual resulta necesario realizar actividades de exploración para la detección de estas y en el mejor de los casos su ubicación real,

por lo cual enumeramos algunos métodos para la exploración de estas minas y cavernas.

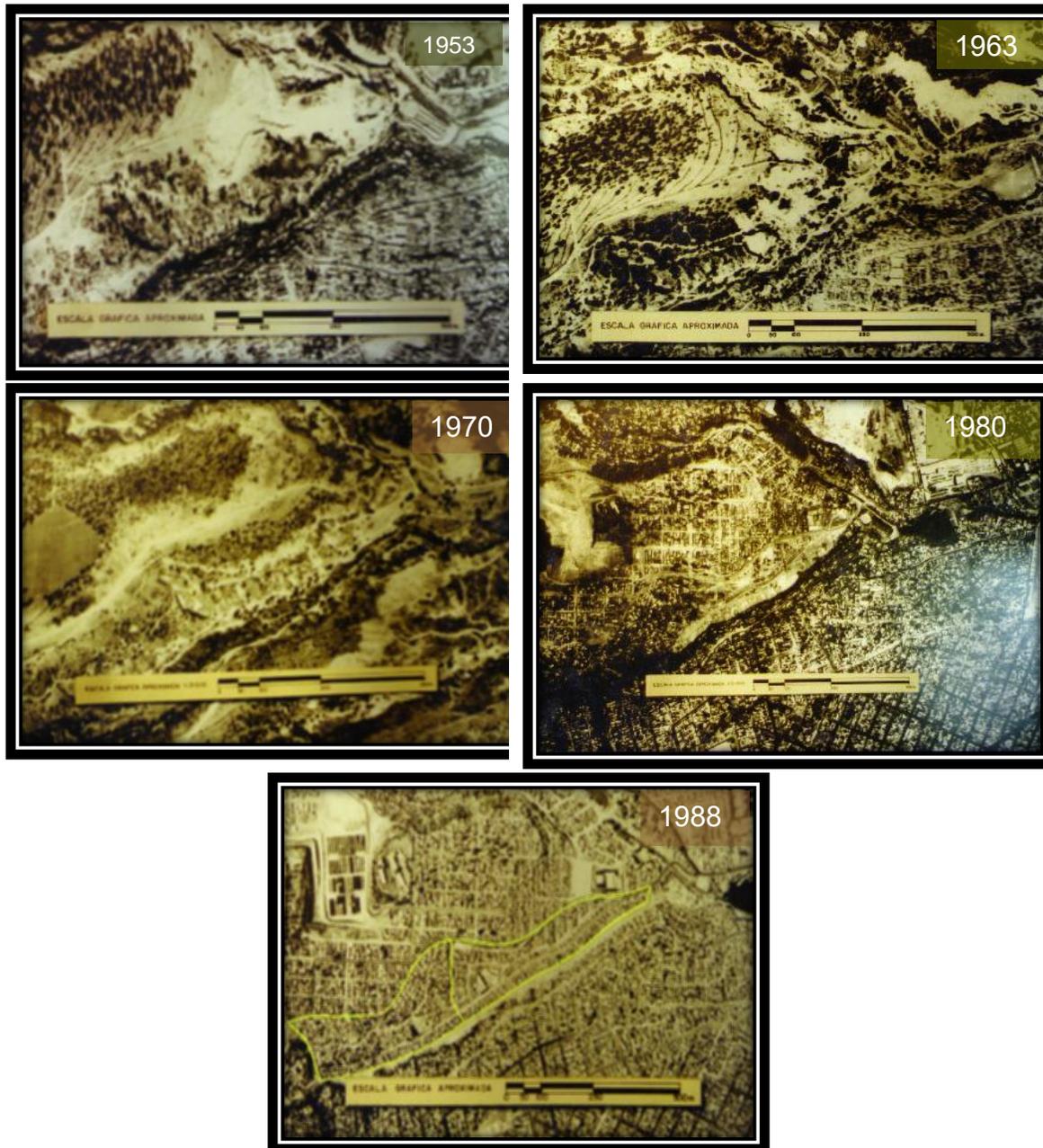


Figura 6. Estudio apoyado en secuencias de fotografías aéreas por ejemplo 1953, 1963, 1970, 1980 Y 1988. Fuente. (Alanis Alcántara A. Tesis de Posgrado 2011)

### 3.1.- FOTOINTERPRETACION

La metodología de la fotointerpretación está basada en la interpretación de fotografías aéreas de una misma zona, correspondientes a diversas épocas, ( fig. 6) de esta forma es posible reconstruir la historia y los procesos de explotación a

que han estado sometidas todas las zonas minadas, y esta es una herramienta que nos permite identificar los rasgos morfológicos, el tipo de roca, así como también los rasgos estructurales, y para la comprobación de la existencia de cavernas se debe a la recopilación de la información necesaria para evaluar la estabilidad comenzando con el reconocimiento de la zona, identificando las características geológicas del lugar e inferir los tipos de materiales que pudiera haber, como también la vegetación suele ser un indicador de las zonas minadas.

Observando los taludes de las barrancas para buscar los accesos de las minas, los cortes practicados para la extracción de los materiales y los derrames de los materiales de desecho que nos sirven como indicadores de la presencia de una mina, las fotografías aéreas también nos pueden dar indicios de los avances de las explotaciones de materiales a cielo abierto.

Posteriormente a esto se deberá hacer recorrido en campo, prestando atención a lo que observamos, como los daños estructurales que tengan las construcciones de la zona, (fig.7) las barrancas y cortes cercanos, así como investigar la existencia de las bocaminas, rellenos que pudiesen estar ocultos, aunque en las bocaminas son de acceso lateral en laderas no deberá descartarse la existencia de acceso o tiros verticales.

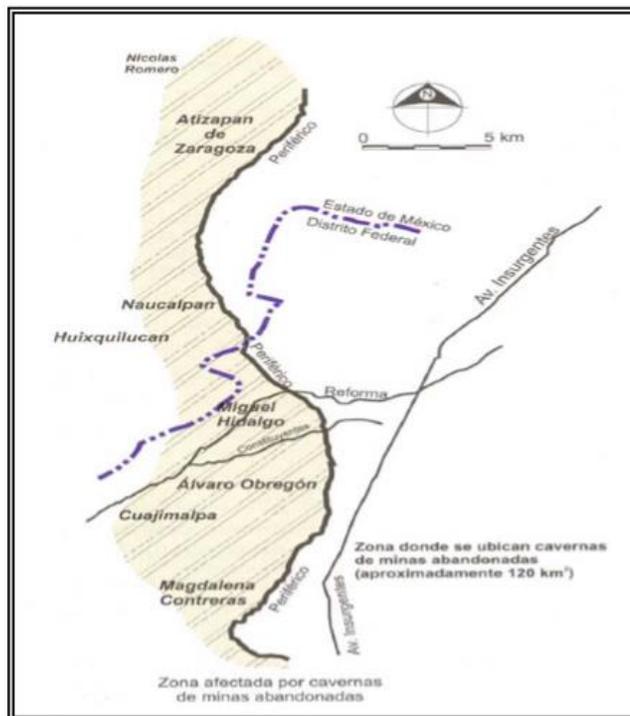


Figura 7. Área de la ubicación que se considera con problemas de suelos minados al poniente de la Ciudad de México. (Fuente: Síntesis Geotécnica de la Cuenca del Valle de México TGC. 2005)

Estas minas hay que inspeccionarlas buscando la presencia de las de arena, grava y materiales pumíticos que fueron o pudieron haber sido objeto de la explotación

subterránea, anotando su espesor medio y profundidad aproximada respecto a la superficie del terreno, en este recorrido nos servirá para conocer su estado y condiciones acceso, con miras a programar su estabilización.

También se deberá de considerar otros tipos de problemas comunes y asociados con ellas, como es la presencia de rellenos superficiales que suelen estar sueltos y que pueden ser producto de materiales de desecho por los mineros o por demolición de bóvedas de cavernas, así también, ver si hay la existencia de grietas o señales de la inestabilidad de la mina como hundimientos que posiblemente ocurrieron a consecuencia de la falla de los techos de las minas, la existencia de materiales caídos puede ser indicio de una mina inestable.( Fig. 8)



*Figura 8. Mina tapada y asentamiento de muro de vivienda e interior techo colapsado*

### **3.2.- METODOS GEOFISICOS**

Los métodos indirectos aplicados en el estudio del subsuelo funcionan en esta área son de suma importancia ya que han demostrado tener una efectividad, mediante anomalías, en detectar la presencia de estas pequeñas cavernas de origen minero, entre los que ha dado mejores resultados para este propósito es el de resistividad eléctrica, aplicando una corriente eléctrica continua al subsuelo por un par de electrodos y midiendo su diferencia potencial en otro par de electrodos, son capaces de identificar con cierta certeza las anomalías que generan esas discontinuidades del subsuelo.

El procedimiento es generar un campo eléctrico de corriente directa que se propague en el subsuelo mediante electrodos hincados en la superficie y separados

a una cierta distancia, la medición de ese campo eléctrico inducido por medio de otros dos electrodos permite deducir los cambios geológicos del sitio del estudio. Fig.9



*Figura 9. Equipo para la medición de la Resistividad Eléctrica*

El equipo de medición deberá estar compuesto por una fuente de poder, un voltímetro, un amperímetro, cuatro electrodos y cables conductores.

El cambio de potencial eléctrico medidos en la superficie permite deducir la distribución de las curvas de igual resistividad en el suelo y por correlación con ellas las características estratigráficas, materiales del sitio y el nivel freático, con esto podemos determinar la presencia de una caverna cuando la distribución de las curvas de igual resistividad se advierte que la curvas señalan un incremento importante de la resistividad.

El procedimiento para generar un campo eléctrico se debe de inducir en el terreno con una fuente de poder de corriente directa y dos electrodos, denominados corriente, ánodo y cátodo, que se hincan y se conectan los cables a la fuente de poder y a un amperímetro para medir la intensidad de la corriente inducida al terreno, entre los dos electrodos de la corriente se hincan otros dos que se identifican como electrodos de potencial que se conectan al voltímetro para medir la diferencia de potencial entre los puntos a distintas distancias. (fig. 10).

Con este procedimiento se deberá recurrir a los expertos en geofísica tanto en su operación como la interpretación, basándose en modernos programas de análisis computacional, ya que lo único que se puede definir son las zonas con anomalías

que señalen potencialmente la presencia de cavernas, lo que sí es necesariamente verificar estos puntos marcados en un plano donde se detectaron posibles cavernas mediante perforaciones con los métodos directos.

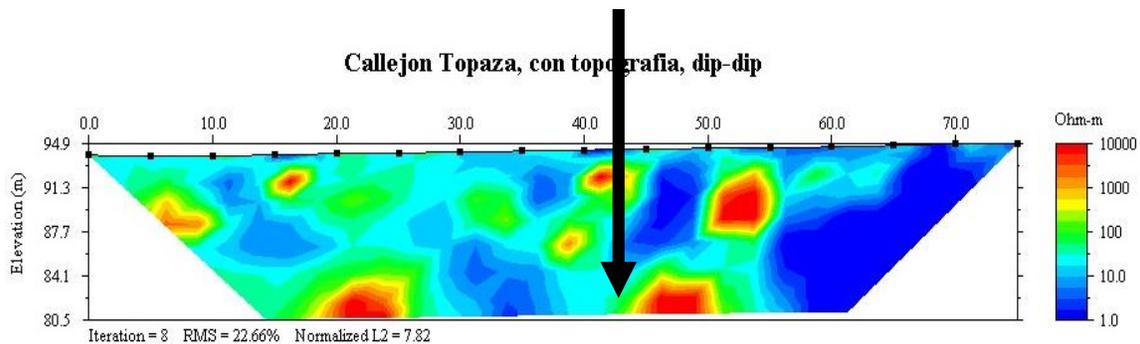
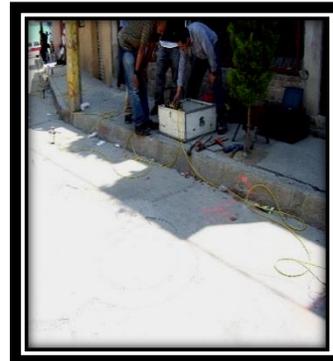
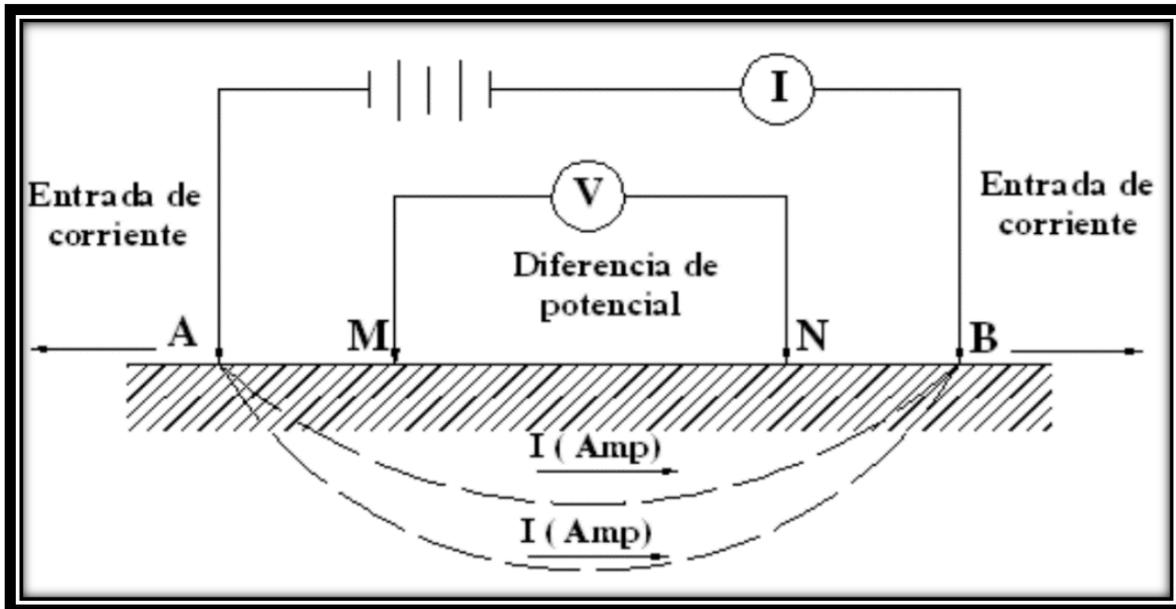


Figura 10. Arreglo de la Resistividad Eléctrica.  
Fuente. (Alanis Alcántara A. Tesis de Posgrado 2011)

### **3.3.- METODO DIRECTO PERFORACIONES**

En la exploración directa de cavernas se hace a través de perforaciones de pequeño diámetro con control electrónico por su certeza y precisión, porque además su costo es reducido y nos permite hacer más puntos de exploración.

También cuando se carece del sistema de sensores electrónicos se propone hacerlo mediante un control simple manual y la observación del operador es importante en la determinación de la existencia de estas minas o cavernas, que a continuación explicaremos estos métodos de perforación tanto simple como el de la perforación de control electrónico.

#### **3.3.1.- PERFORACION SIMPLE**

La perforación simple se practica con una perforadora rotatoria en seco empleando brocas tipo Drag o tricónicas de 7.5 y 10 cm, la maquina puede ser de motor de combustión o bien una máquina perforadora de operación neumática. Para la determinación de identificar la presencia de una caverna es observar las señales de avance de la perforación, en cual se deben de medir el tiempo de avance para cada 10 cm de penetración con la ayuda de un cronometro que mida en segundos, marcando las barras de perforación cada 10 cms. Anotar la presión del sistema hidráulico de avance de la perforadora o de la presión de aire de la maquina neumática. (fig. 11)

Recolectar el polvo en el separador ciclón para clasificar los materiales que se están perforando, también advertir la vibración y el cambio de intensidad del ruido durante la perforación, para inferir si se perfora en tobas o en materiales granulares, también a veces la necesidad de sustituir la broca de rotación por el martillo neumático es indicador de la dureza de la toba o de la presencia de bloques de roca. A veces la presencia de una caverna se puede detectar con mayor certeza con las máquinas neumáticas porque ocurre un brusco descenso de la barra al perder la broca su apoyo en el fondo de la perforación.

Cuando se advierte una caverna se debe a la pérdida del aire y entonces se operará únicamente el mecanismo de avance de la máquina para hacer descender la broca y advertir cuando vuelve a tener una reacción de apoyo en el fondo para con esta la maniobra y estimar la altura de la cavidad, siempre será conveniente realizar un sondeo con la extracción de las muestras de los materiales característicos del sitio inmediato a la perforación controlada para tener una base de correlación, de manera rendimiento que se tiene a veces en las zonas minadas es hasta 7 m/h.



Figura 11. Equipo de perforación simple neumático

### **3.3.2.- PERFORACION CON CONTROL ELECTRONICO**

Esta perforación es similar a la anterior, pero con mayor precisión y confiable, ya que cuenta con una adaptación de los controles usuales en la perforación petrolera con ayuda de sensores electrónicos, que están instalados en las partes motrices de la máquina perforadora, (Fig. 12), para medir las variables o parámetros de la perforación, los cuales son la velocidad de avance, rotación de la broca. Presión que se está aplicando, el par que trasmite a la broca y la presión del fluido de la perforación.



Figura 12. Equipo Rotatorio con control electrónico para hacer los sondeos.

Los sistemas de recopilación de datos son registrados todas las variables a cada 2cm de penetración y estos son graficados (fig. 13), a medida que se perfora, se obtiene una imagen inmediata del proceso. La presencia de las cavernas son detectadas como un incremento instantáneo con la velocidad de penetración, esto se anula la presión sobre la broca y la presión del fluido, esto facilita definir la posición del techo de la caverna con la precisión de 2 cm, después de hacer descender la broca hasta definir de nuevo que esta esté apoyada y la definir el fondo de la caverna, con esta técnica de exploración es recomendada para colectar los polvos durante la perforación y también hacer sondeos de correlación uno por cada 10 a 20 penetraciones con control electrónico.

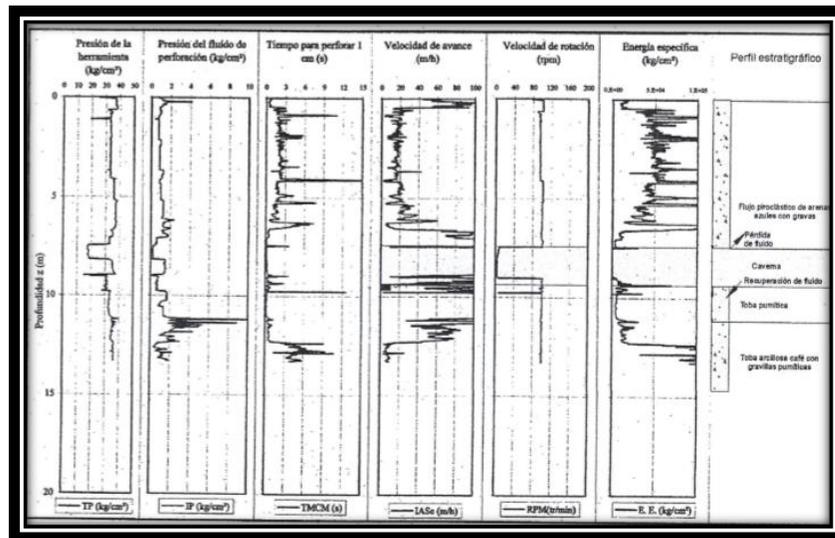


Figura 13. Grafica de los datos que se obtienen de la perforación con control electrónico.

La ventaja que tiene este método con respecto al método simple es que se obtiene un registro electrónico continuo del desarrollo de la perforación que una vez interpretado amplía la información, otra ventaja sería que al ser instrumental evita los errores que comenten los operadores por carecer de entrenamiento o por descuido durante la perforación y la otra ventaja sería la velocidad de avance que se puede lograr en la perforación.

En cualquiera de las perforaciones antes descritas se pueden introducir aparatos para observar las cavernas, colocando focos eléctricos o lámparas que al introducir el barreno genera un campo iluminado en el fuste del pozo y se vuelve oscuro cuando su posición coincide con una caverna.

Las perforaciones en pozos de diámetro mayores de unos 50 a 80 cms, pueden abrirse con máquinas para hacer los sondeos o para hacer pilas de cimentación, esto permite el acceso de una persona al interior de la caverna si las paredes son estables, en caso contrario se tendrá que instalar un ademe para evitar derrumbes ya que estos pueden taponear o atascar la broca, estos pozos pueden ser muy

útiles para hacer el levantamiento topográfico y facilitar la introducción de materiales para la estabilización de la caverna o mina.

#### **4. PROCEDIMIENTO PARA EL RELLENO DE CAVERNAS**

##### **4.1.- TOPOGRAFÍA**

Es de suma importancia hacer el levantamiento topográfico de la superficie explorada, para conocer su área de influencia y su volumen de vacío para saber el dato exacto para calcular su volumen, incluyendo la posición y nivel de cada perforación y sondeo, así como los detalles significativos, el plano deberá contener curvas de igual nivel. (fig. 14).

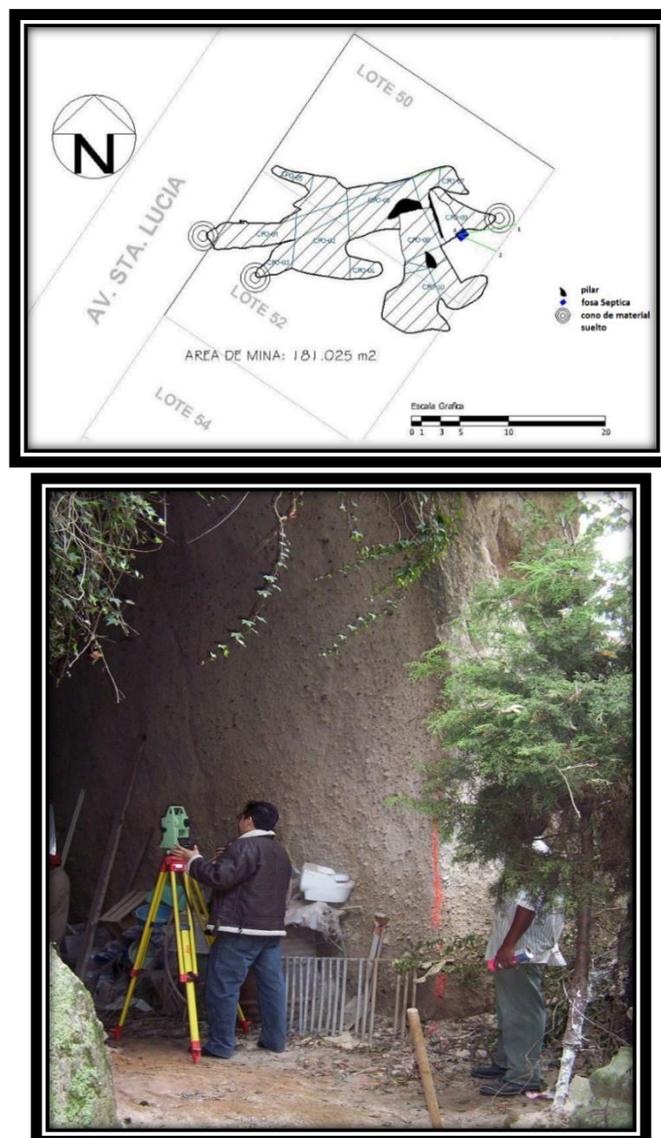


Figura 14. Levantamiento topográfico en superficie.

Existen programas de cómputo especialmente diseñados para interpretar este tipo de levantamientos que al mismo tiempo generan modelos tridimensionales pueden elaborar planos horizontales, cortes de las cavernas, así como el cálculo muy certero de su volumen, desarrollo, longitud, estos levantamientos de la caverna se deberá de ligar al topográfico superficial del área de estudio, también se deberá de definir la superficie de las paredes, bóvedas y pisos porque se requiere para evaluar la posible solución estructural.

#### **4.2.- PROCEDIMIENTO DE RELLENO**

Antes de iniciar esta parte del procedimiento de relleno de cavernas es necesario hacer un reconocimiento visual de la mina, hacer una inspección minuciosa de las características de los materiales explotados en las paredes, bóvedas y piso de las cavernas, asimismo se definirá cualitativamente las condiciones de alteración y fisuramiento del techo y de los elementos de soporte, como son las paredes y pilares, así también se tendrá que poner cuidado al observar los techos de las cavernas buscando huellas que hayan dejado las herramientas con que se excavo, si advertimos numerosas huellas de picos es una evidencia para poder decir que la caverna es estable, así también los techos ennegrecidos por el hollín de las lámparas de los mineros utilizaron también es una señal de que la caverna es estable.

También se pueden observar en los techos fisuras que pueden ser de origen geológico y estar en toda la masa de la toba, a veces con relleno de arcilla seca, en general esas fisuras geológicas son estables. Pero por lo contrario las fisuras frescas pueden estar conformando bloques inestables que cuando llegan los vecinos suelen escuchar el ruido del impacto en el piso, otras veces las raíces de los árboles, formando cortinas de hilos vegetales húmedos, suelen en general en condiciones inestables.

Las cavernas se califican como inestables (fig. 15), cuando el techo se observa que ha tenido desprendimientos recientes de material, la variación de colores en el techo es el indicador que debe identificarse junto con los conos de material suelto que conforman los caídos locales.

Al hacer recorridos en estas se ha comprobado que la gente que saben de la existencia de la caverna han procedido a rellenarla con desechos y basura e incluso son usadas como fosas sépticas.

Después del reconocimiento visual se deberá hacer un levantamiento topográfico en el interior de la caverna (fig. 14), aplicando los métodos de topografía de minas, el empleo de aparatos de estaciones de trabajo dotadas con distanciometros laser estos sintetifican el levantamiento topográfico de las cavernas, se deben de identificar suficientes puntos para detallar el contorno de las cavernas posición y dimensiones

de los pilares que se encuentren, la ubicación de las grietas y fisuras, y se deben de medir los suficientes puntos en el piso para definir su configuración. En cada punto se debe de medir la altura de la bóveda y el ancho de la misma con el distanciometro laser portátil.



*Figura 15. Caídos del techo de una caverna inestable*

Una vez que se cuenta con la información fundamental como es la planta de la mina, secciones y volumetría, así como con el espesor de suelo existente entre el techo de las diferentes secciones de la mina con el terreno natural en superficie, se presenta a continuación una alternativa basada en la experiencia y recabada en la publicación: “Simposio sobre cimentaciones en Zonas minadas”, editada por la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos SMMS.

El procedimiento para rellenar la cavidad se realizará en cuatro etapas:

- Delimitación de las áreas por rellenar.
- Relleno por bloques
- Colocación de Relleno fluido
- Inyección de sello a base de mortero

#### **4.2.1.- DELIMITACIÓN DE LAS ÁREAS POR RELLENAR**

Debido a que estas minas en ocasiones cuentan con ramificaciones muy largas y de secciones pequeñas, es necesario delimitar el volumen a rellenar mediante una frontera o barrera que impida el paso del relleno fluido de la segunda etapa. Cuando

la mina es de gran volumen se sugiere utilizar piedra o mampostería junteada para conformar diques de límite o muros de tabique rojo recocido, sin embargo, en este caso también se recomienda no rellenar los ramales menores a 50 cm de sección, debiendo colocar una contención conformada por costales rellenos con tepetate, conforme a lo indicado en el punto siguiente, que cierren el espacio a rellenar. Después de colocar los costales, se deberá ejecutar un zampeado de mortero en proporción 1:6, para evitar que se pierda el relleno fluido durante su vaciado. Las ramificaciones por contar con una sección pequeña no representan peligro alguno al nivel de terreno natural ya que a esa profundidad se presenta un fenómeno de arqueo que salvaguarda a las instalaciones y/o construcciones en superficie.

En las zonas donde exista material suelto en el piso de la mina, este deberá removerse hasta encontrar material más consistente o bien compactar el material suelto. En cualquier caso, se deberán retirar escombros, basura y materia orgánica no perteneciente a la cavidad.

#### **4.2.2.- RELLENO CON BLOQUES**

Las minas de esta zona son relativamente pequeñas por lo que es difícil y poco práctico rellenarlas mediante materiales granulares compactados. Los arcos pequeños dificultan y retrasan el proceso de compactación, por ello se sugiere el relleno por bloques para completarlo con relleno fluido.

El uso de bloques hace eficiente el proceso por tiempo y economía, ya que es más corto el periodo de tiempo necesario para acomodar costales que para compactar, además que el relleno fluido, al trabajar como matriz de empaque, rigidiza a los bloques.

El relleno con bloques se realizará por medio de costales rellenos con material de banco, inerte y sano, tipo tepetate, el cual deberá cumplir con las características de calidad indicadas (tabla 1), a continuación:

Estos costales se preparan previamente a nivel de superficie y se bajarán a la cavidad por la lumbrera mediante malacates para que el personal en el interior los acomode. Los sacos deberán ser “bien llenados” para que generen huecos entre ellos que permiten que el relleno fluido se introduzca.

En caso de que los costales no se puedan llenar consistentemente o queden mal sellados, será necesario dejar una separación entre ellos de 5 cm. El acomodo de los costales será tal que las capas de costales queden entrelazadas o cuatrapeadas, para ello se colocarán los costales del nivel más bajo (primera “cama”), perpendiculares a la longitud de la cavidad y la segunda capa de costales se colocará perpendicular a los primeros (fig. 16) y así sucesivamente se cambiará la

dirección de acomodo de capas hasta dejar un espacio entre el techo de la mina y los costales de 10 cm.

Tabla 1. Características del relleno Tepetate

CARACTERISTICAS	RANGO
Tamaño máximo de las partículas T.M.A	1 ½"
Porcentaje de material retenido en la malla #4 (4.76 mm)	Menor al 45%
Porcentaje de material que pasa la malla #200 (0.076mm)	menor del 50%
<b>Características que debe tener el material que pasa por la malla no 200</b>	
Límite Líquido	menor de 50%
Índice Plástico	menor de 25 %
Contracción Lineal	Menor de 6%

Para lograr lo anterior, será necesario realizar un escalonamiento durante la colocación de los costales desde el fondo de la cavidad hacia el acceso de la misma, para lograr que la última cama de costales quede lo más cerca posible del techo. Este espacio para sello de techo será inyectado del fluido de acuerdo a lo indicado en el punto 4.1.3.

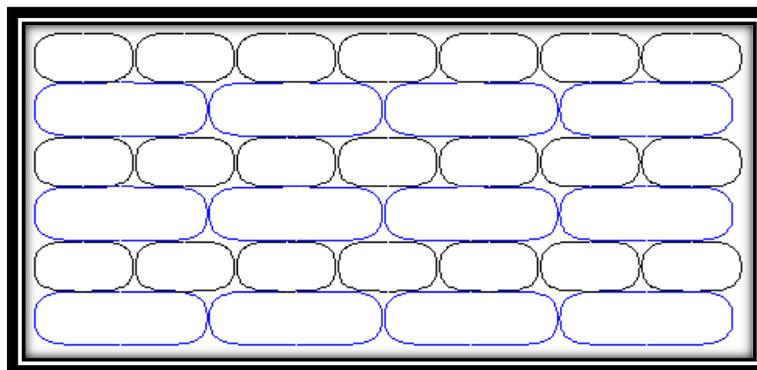


Figura 16. Acomodo de costales entrelazados.

Los costales se acomodarán por etapas de 5 o 6 capas, para proceder a vaciar el relleno fluido indicado en el punto 4.1.3. Una vez que el relleno haya fraguado, se colocara otra etapa de 5 o 6 capas de costales, para interrumpir nuevamente esta actividad y colocar el relleno fluido. Esta secuencia se seguirá hasta llegar a la última cama de costales y el techo de la mina, que es donde se realizará la última etapa

de vaciado de relleno fluido y lograr que llene los huecos dejados por los costales colocados.

La lumbrera (fig.17), se podrá rellenar del mismo modo ya indicado con costales llenos de tepetate, con la previsión de dejar un ducto de comunicación con el espacio de sello de techo, con un diámetro mínimo de 25 cm, pudiendo ser tubería de PVC rígido RD-32 o de otro material más resistente, a partir del cual se introducirá la tubería para realizar la inyección de sello en el área tributaria correspondiente. Ver el punto 4.1.4.



*Figura 17. Hechura de lumbrera para acceso a cavidad existente*

Otra forma de rellenar la lumbrera será con material inerte producto de banco tipo tepetate con las mismas características de calidad indicadas para el material que llenará los costales. Éste se colocará en capas de hasta 50 cm de espesor en la parte inferior de la lumbrera, hasta llegar al último metro para llegar a la superficie, a partir de donde las capas serán de 20 cm de espesor ya compactado. En ambos casos, la compactación se llevará de acuerdo a la Norma Proctor Estándar, al 80% de su PVSM para las capas inferiores, al 90% para las primeras tres capas de 20 cm y al 95% para las dos últimas capas. De igual forma se dejará un ducto de comunicación con el espacio de sello de techo con un diámetro de 25 cm de tubería de PVC rígido con RD-32 o algún otro material de mayor competencia.

En cualquiera de las dos opciones para realizar el relleno de las lumbreras, como la lumbrera se localiza sobre una vialidad, deberá considerarse el espesor y características de la estructura del pavimento para restituirlo, conforme a las indicaciones de la Alcaldía de Álvaro Obregón.

#### **4.2.3.- COLOCACIÓN DEL RELLENO FLUIDO**

Se utilizará una mezcla de relleno fluido para rellenar los huecos existentes entre los costales. El material se fabricará en el sitio o bien se traerá de Planta; en ambos casos, será necesario implementar las tuberías necesarias para lograr llegar con el relleno hasta el fondo de las cavidades.

Se considera que la altura generada entre la superficie y la zona de trabajo, generará la presión necesaria para realizar el vaciado del material, sin embargo, es importante contar con una bomba con las características adecuadas para lograr que el relleno fluido penetre en los huecos dejados por los costales previamente colocados, una bomba Moyno para lodos 3L6, o similar cumplirá con esta función. Una vez terminado el vaciado de una zona específica de trabajo, se deberá dejar por lo menos un día de laborar en el sitio, para continuar con otras 6 capas de costales y repetir el proceso. Esto garantiza que las oquedades sean llenadas con el relleno fluido. Ver fig.18.

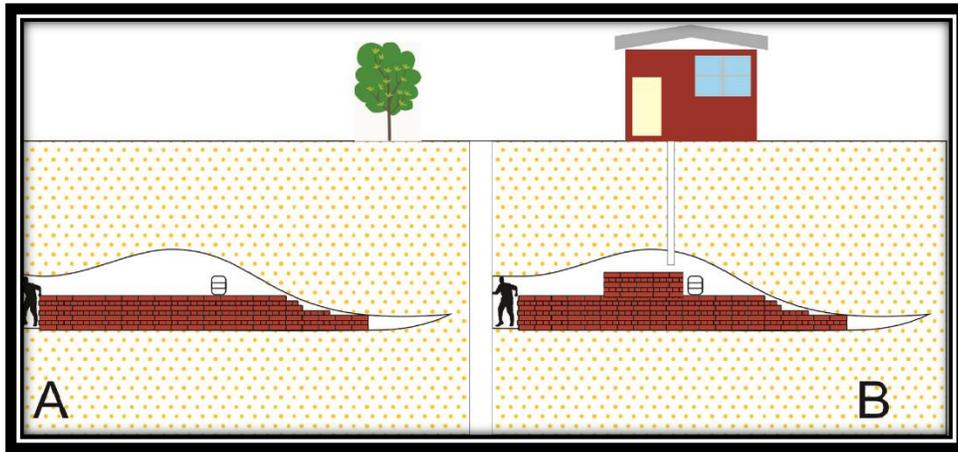


Figura 18. A. Relleno de fluido en primeras 6 capas de costales, B. Relleno en bloques en la segunda etapa.

En caso de realizar la mezcla del relleno en el sitio, ésta se mezclará con la ayuda de una revolvedora de un saco y se introducirá entre los costales con el auxilio de una bomba de lodos, tal como ya se comentó previamente.

El relleno fluido deberá de colocarse a la brevedad posible, ya que el incremento de tiempo aumenta el grado de fraguado y disminuye el trabajo de la mezcla, lo cual incide de manera directa en la eficiencia para rellenar los huecos existentes entre los costales. Se recomienda colocar la mezcla en un lapso menor a una hora.

La dosificación del relleno y las características de los materiales que lo conformarán, se indican enseguida:

#### **Cemento:**

Se utilizará cemento Portland tipo I normal, envasado en sacos de 50 Kg. O a granel, de las marcas conocidas en el mercado de materiales para la construcción. En general la dosificación de éste será de 8% en peso del suelo.

#### **Suelo:**

Será una toba volcánica areno-limosa o areno-arcillosa, disgregada, libre de materia orgánica y basura, que cumpla con las siguientes características:

- Tamaño máximo de las partículas T.M.A. =  $\frac{3}{4}$ "
- Porcentaje de material retenido en la malla #4 (4.76 mm), menor al 20%
- Porcentaje de material que pasa la malla #200 (0.076mm) menor del 50%

Además, el material fino que pasa la malla 200, deberá cumplir con los siguientes parámetros de laboratorio:

Limite Líquido	menor de 50%
----------------	--------------

Índice Plástico	menor de 25 %
Contracción Lineal	menor de 6%

**Agua:**

El agua a utilizar será potable, libre de impurezas y materia orgánica, a simple vista limpia y con un PH entre 7 y 9. En general la dosificación de agua será del 15 % del peso seco de la mezcla suelo-cemento, pudiéndose variar  $\pm 5\%$  en función del trabajo lograda.

**Aditivos:**

Con objeto de disminuir el sangrado de la mezcla una vez colocada y facilitar el bombeo, se adicionará a la mezcla una arcilla especial denominada “bentonita sódica”, la cual se agregará en una proporción de un 4% en peso del suelo considerado.

A manera de ejemplo, la siguiente tabla 2, se da dosificación de una mezcla que cuenta con las especificaciones indicadas anteriormente para formar un metro cúbico de material ya colocado.

*TABLA 2. Cantidades para la lechada por m3*

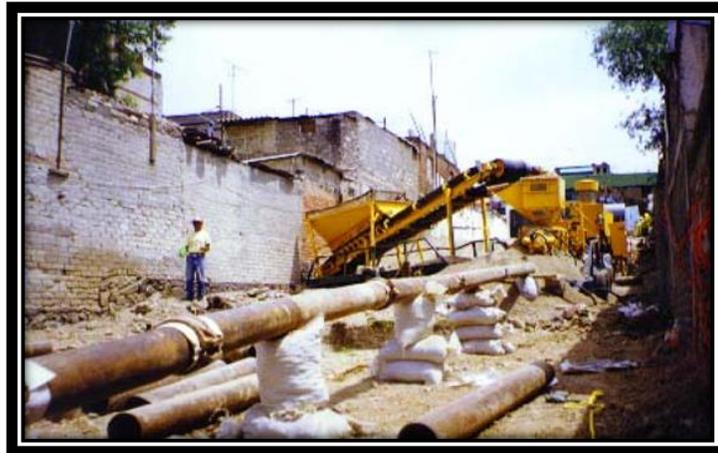
MATERIAL	PESO (Kg.)	VOLUMEN APARENTE (lts.)	VOLUMEN REAL (lts.)
Cemento	112	75	35
Suelo	1401	934	561
Bentonita	56	37	26
Agua	378	378	378
		<b>Total</b>	<b>1000</b>

Esta dosificación podrá variar en función del trabajo de la mezcla para ser bombeada y colocada eficientemente. La cantidad de agua podrá incrementarse según la necesidad, hasta en un 5% de la suma del peso del cemento y el suelo, en cuyo caso se deberá modificar la cantidad de suelo para ajustar el volumen real a 1.0 m<sup>3</sup>.

Es importante mencionar que la dosificación podrá variar en función del peso volumétrico del suelo a utilizar, así como de su contenido natural de agua, ya que el peso del agua que contenga este material deberá considerarse como parte del peso del agua recomendado para agregar a la mezcla.

#### **4.2.4.- INYECCION DE SELLO A BASE DE MORTERO**

Una vez concluidas las etapas de relleno por bloques y relleno fluido, se procederá a sellar el techo de la cavidad, así como las posibles fisuras producto de la contracción superficial de la última etapa de vaciado del relleno fluido (fig.19).



*Figura 19. Equipo para bombeo del fluido para el sello en las costaleras*

Para el sello de cuerpos con una longitud de desarrollo considerable, será necesario realizar una segunda perforación para sello, y con ello asegurarse de que la inyección tenga una calidad controlada y de que sella el techo de la mina. También será necesaria una segunda perforación de sello cuando las alturas de los arcos de los cuerpos difieran significativamente sin embargo en esta mina se puede prescindir de perforaciones secundarias ya que es una mina relativamente pequeña y de alturas similares.

El relleno de sello constará de un mortero constituido por agua-cemento-arena-bentonita, la cual al igual que para el caso del relleno fluido contará con una dosificación tentativa recomendada (tabla 3), que podrá modificarse en el sitio en función del manejo y/o trabajo que ésta ofrezca para ser introducida eficientemente. Con estas reservas, se propone la siguiente dosificación.

La arena utilizada en la mezcla, deberá contar con una graduación de fina a media, esto es, el diámetro máximo de las partículas será de 0.60 mm, lo cual equivale a que todo el material utilizado deberá pasar la malla No. 30, de acuerdo con la designación establecida por las Normas ASTM para la determinación de la granulometría de suelos. De igual forma, el material a utilizar, deberá quedar contenido en la malla No. 200. En este último caso, se podrá permitir un porcentaje máximo del 20% de suelo fino que pase la malla No. 200.

*TABLA 3. Cantidades para el mortero del sello*

<b>MATERIAL</b>	<b>PESO (Kg.)</b>	<b>VOLUMEN APARENTE (lts.)</b>	<b>VOLUMEN REAL (lts.)</b>
Cemento	136	91	42
Arena	1699	1133	679
Bentonita	14	9	7
Agua	272	272	272
		<b>Total</b>	<b>1000</b>

La dosificación recomendada está diseñada para rellenar oquedades importantes, sin embargo, si resulta demasiado espesa para el sistema de bombeo empleado, la cantidad de agua podrá incrementarse hasta lograr una relación agua-cemento en el volumen aparente igual a 4, sin modificar la cantidad de cemento y bentonita, pero si la cantidad de arena, hasta ajustar el volumen real a 1.0 m<sup>3</sup>.

Esta inyección se realizará desde la superficie a una presión creciente desde la presión atmosférica hasta un máximo de 1.5 kg/cm<sup>2</sup>, con el fin de sellar sin producir más fisuras en las paredes laterales de la cavidad y modificar las presiones de suelo existentes en el sitio. Ver figuras 20, 21 y 22.



*Figura 20. Relleno por bloques y relleno de fluido en la mina y apuntalamiento por la caída de bloques*

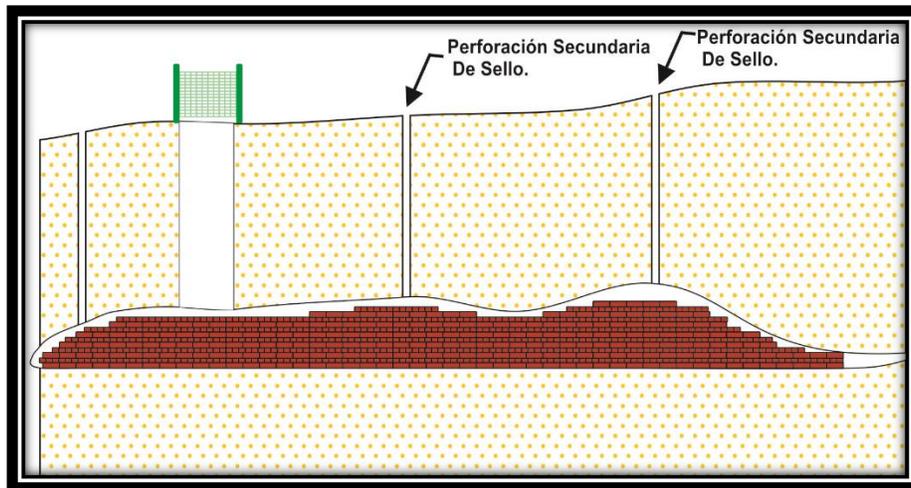


Figura 20. Relleno por bloques y relleno de fluido en la mina.

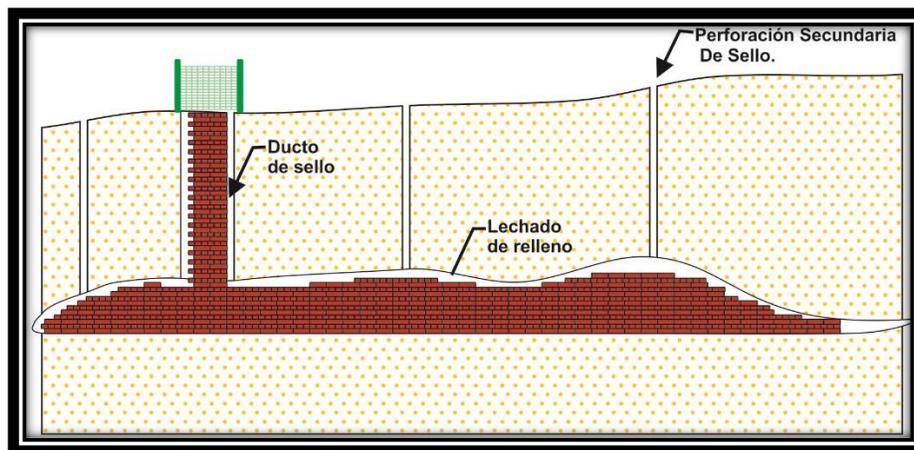


Figura 21. Relleno de lumbrera, y ducto de sellado

## 5.- CASOS DE APLICACIÓN

Para esto después de haber realizado las perforaciones para la ubicación de las cavernas en la zona de estudio (fig. 22), se presentan en un plano de acuerdo a su levantamiento topográfico en superficie, posterior se hará el levantamiento en el interior de la caverna la cual tomaremos como ejemplo la mina encontrada en el callejón del mercado, Col. Olivar del Conde, y la mina de la Av. Santa Lucía y Flores Magón perteneciente a la Alcaldía de Álvaro Obregón, se analizó el material encontrado en la perforación simple se describió como un material limo arenoso amarillento muy compacto conocido coloquialmente como tepetate. Este material se encontró prácticamente en toda la perforación.

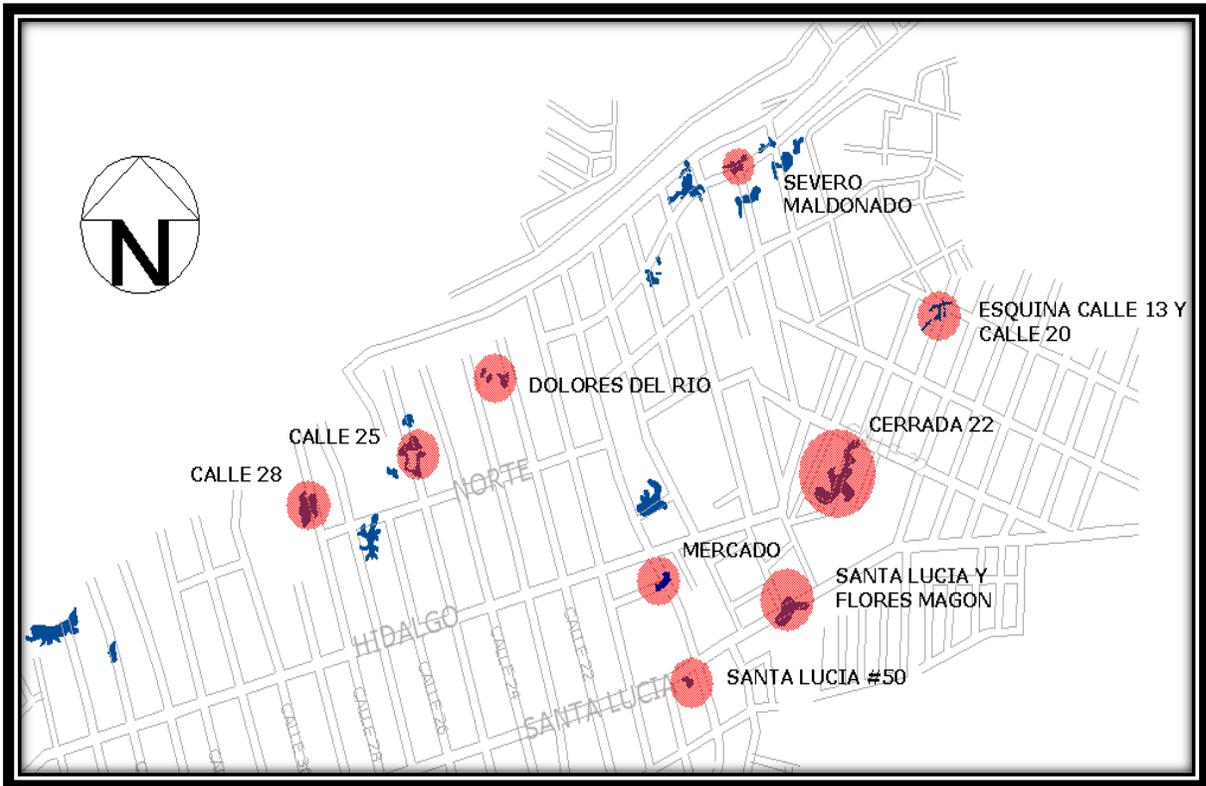


Figura 22. Localización preliminar de minas, (círculo rojo)

### 5.1.- MINA CALLEJON DEL MERCADO

Se realizó una lumbrera de acceso a la mina en la misma ubicación, donde se ejecutó el sondeo que detectó la cavidad antes descrita, terminada la lumbrera, se bajó al interior de la cavidad y se pudo acezar al interior de la mina, desde donde de forma simple se puede describir como una cavidad previamente tratada, y en la que existen dos cuerpos sin tratar. Estos cuerpos tienen longitudes de 5.90 m y 2.60m y alturas máximas de 1.70 y 1.83 m. compuesta por cinco módulos principales en dirección noreste-suroeste, sin columnas naturales detectadas.

Para el levantamiento topográfico, el área en planta de la mina se dividió en 2 cuerpos de geometrías más sencillas que mediante la obtención de áreas, a partir de secciones ubicadas a cada 3.0 m sobre un eje de trazo y obteniendo las alturas a cada metro en dichas secciones se determinó de manera aproximada el volumen de la mina. El eje de trazo y los 2 cuerpos pueden apreciarse en la fig.23.

La información en detalle del interior de la mina fue obtenida mediante un levantamiento topográfico del interior, esta información a detalle se puede observar en el anexo 1, pero es preciso mencionar que el área levantada a nivel de superficie fue de 303.712 m<sup>2</sup> mientras que el área al interior de la mina fue de 29.27 m<sup>2</sup> con un volumen del interior de 30.71m<sup>3</sup> (tabla 4).

TABLA 4 Resumen del levantamiento topografico

Cuerpo	Longitud de desarrollo (m)	Ancho máximo (m)	Altura máxima (m)	Sección Máxima (m <sup>2</sup> )	Área en planta (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
1	5.90	4.20	1.83	5.11	23.03	22.92
2	2.60	3.20	1.70	4.24	6.24	7.79
$\Sigma =$					<b>29.27</b>	<b>30.71</b>

Es necesario comentar que la lumbrera fue protegida en superficie mediante polines de madera y en varillados, o malla ciclónica; con objeto de evitar accidentes para las personas que transitan por el lugar.

## 5.2.- MINA AV. SANTA LUCIA Y FLORES MAGON

El siguiente ejemplo es de una caverna grande que atraviesa una de las calles principales de la alcaldía se trata de la Av. Sta. Lucia y Flores Magón ver la fig. 18, la cual las condiciones son algo diferente debido al tránsito continuo de esta calle. Para el levantamiento topográfico, el área en planta de la mina se dividió en 24 cuerpos de geometrías más sencillas que mediante la obtención de áreas, a partir de secciones ubicadas a cada 3.0 m sobre un eje de trazo y obteniendo las alturas a cada metro en dichas secciones se determinó de manera aproximada el volumen de la mina. El eje de trazo y los 24 cuerpos pueden apreciarse en la figura 24.

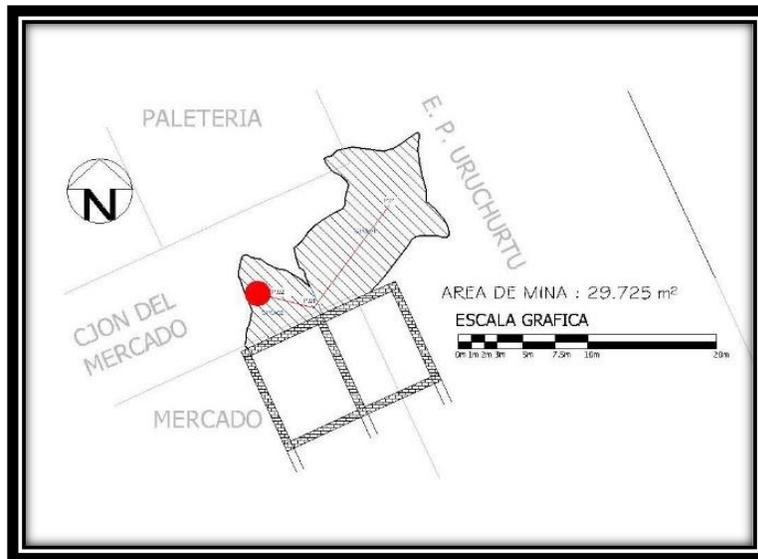


Figura 23. Topografía de los cuerpos levantados

La información en detalle del interior de la mina fue obtenida mediante un levantamiento topográfico del interior, esta información a detalle se pudo observar en el anexo 2, pero es preciso mencionar que el área levantada a nivel de superficie fue de 3079.366 m<sup>2</sup> mientras que el área al interior de la mina fue de 482.32 m<sup>2</sup> con un volumen del interior de 1048.32 m<sup>3</sup> (tabla 5).

TABLA 5 Resumen del Levantamiento Topográfico

Cuerpo	Longitud de desarrollo (m)	Ancho máximo (m)	Altura máxima (m)	Sección Máxima (m <sup>2</sup> )	Área en planta (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
1	4.70	5.00	1.40	4.31	17.65	16.43
2	5.00	4.00	1.40	4.28	16.50	17.08
3	8.30	7.16	1.28	5.61	48.35	39.46
4	11.60	8.40	2.55	41.40	71.81	206.18
5	5.10	3.90	1.88	6.38	16.58	23.73
6	4.40	1.94	1.86	2.84	11.26	9.44
7	3.40	5.00	3.85	14.20	12.07	29.74
8	6.60	3.20	2.86	4.29	16.43	25.74
9	5.30	2.63	4.80	12.98	12.50	47.60

10	11.54	3.77	8.82	18.50	32.78	152.13
11	2.54	2.54	5.10	12.04	5.70	23.73
12	12.00	3.44	4.70	9.69	35.22	73.43
13	4.10	3.50	2.98	8.84	12.20	26.09
14	7.74	2.92	2.66	6.20	16.99	24.62
15	9.50	3.16	3.00	7.47	27.17	63.32
16	8.30	5.43	3.63	13.27	30.26	77.68
17	12.60	3.25	3.23	8.94	33.63	72.95
18	1.50	1.90	2.20	3.27	2.28	2.95
19	2.80	2.80	3.20	8.34	7.10	21.06
20	5.90	3.22	2.25	5.94	16.87	28.80
21	4.80	2.20	2.52	4.39	9.71	19.60
22	3.00	1.70	3.00	4.67	4.35	10.19
23	5.50	2.88	2.00	4.31	14.97	18.40
24	3.00	4.00	2.60	6.69	9.98	17.82
$\Sigma =$					<b>482.32</b>	<b>1048.18</b>

Es necesario comentar que la lumbrera fue protegida en superficie mediante polines de madera y en varillados, o malla ciclónica; con objeto de evitar accidentes para las personas que transitan por el lugar.

Para el relleno el material se podrá fabricar en el sitio o bien se traerá de Planta; en ambos casos, será necesario implementar las tuberías necesarias para lograr llegar con el relleno hasta el fondo de las cavidades. Se considera que la altura generada entre la superficie y la zona de trabajo, generará la presión necesaria para realizar el vaciado del material.

Una vez concluidas las etapas de relleno por bloques y relleno fluido, se procederá a sellar el techo de la cavidad, así como las posibles fisuras producto de la contracción superficial de la última etapa de vaciado del relleno fluido. Para el sello de cuerpos con una longitud de desarrollo considerable, será necesario realizar una segunda perforación para sello, y con ello asegurarse de que la inyección tenga una calidad controlada y de que sella el techo de la mina.

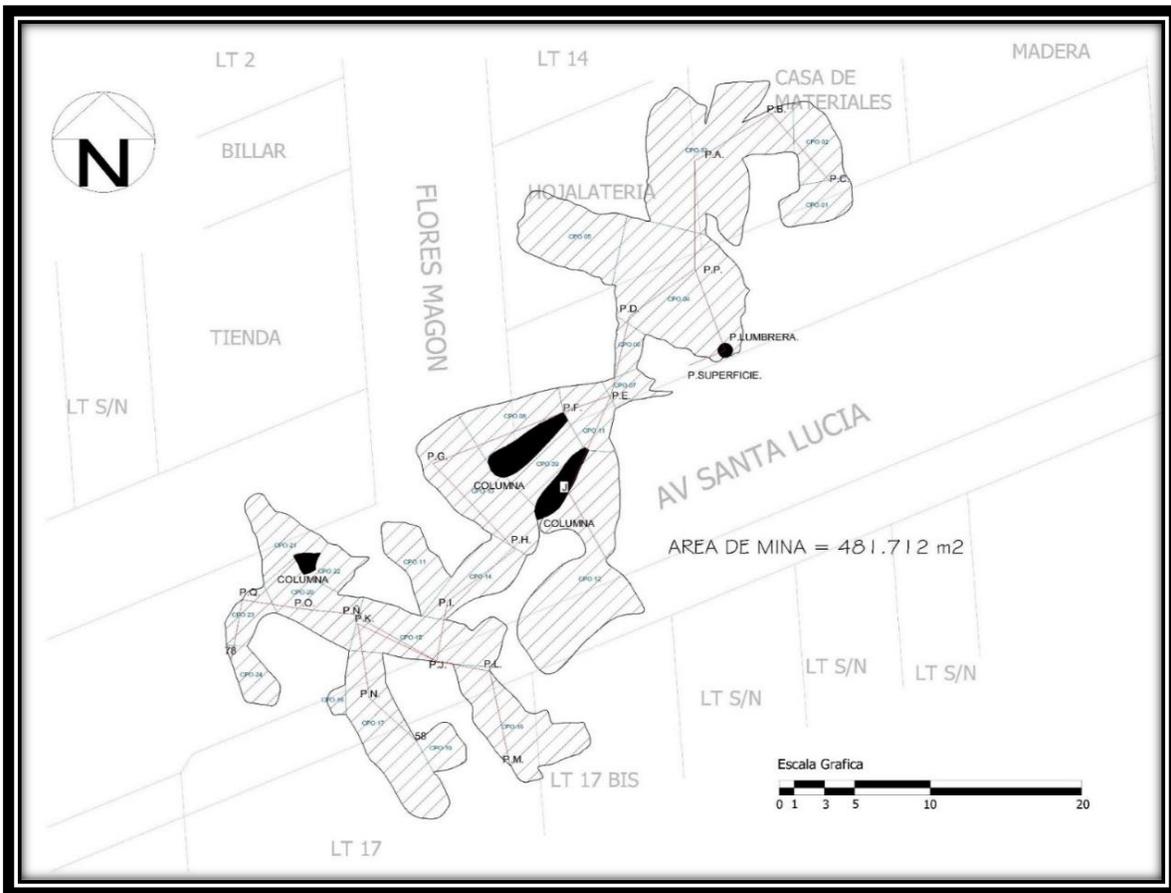


Figura 24. Cuerpos levantados topográficamente al interior de la mina

También será necesaria una segunda perforación de sello cuando las alturas de los arcos de estos cuerpos difieran significativamente. De hecho, en la figura 25, se muestra la ubicación que deberán tener las perforaciones adicionales, realizadas a partir de la superficie y que servirán para introducir el relleno de sello. Los números adjuntos a cada perforación, indican la secuencia a seguir para efectuar esta actividad.

Las perforaciones para introducir el relleno de sello contarán con un diámetro mínimo de 4", llevándolas hasta localizar la cavidad en proceso de tratamiento. En principio dadas las características del material existente, no será necesario utilizar ademe para contener las paredes de dichas perforaciones. Sin embargo, conviene no dejar por mucho tiempo abiertas las perforaciones sin utilizarlas.

La dosificación debe está diseñada para rellenar oquedades importantes, sin embargo, si resulta demasiado "espesa" para el sistema de bombeo empleado, la cantidad de agua podrá incrementarse hasta lograr una relación agua-cemento en el volumen, sin modificar la cantidad de cemento y bentonita, pero si la cantidad de arena, hasta ajustar el volumen real a 1.0 m3.

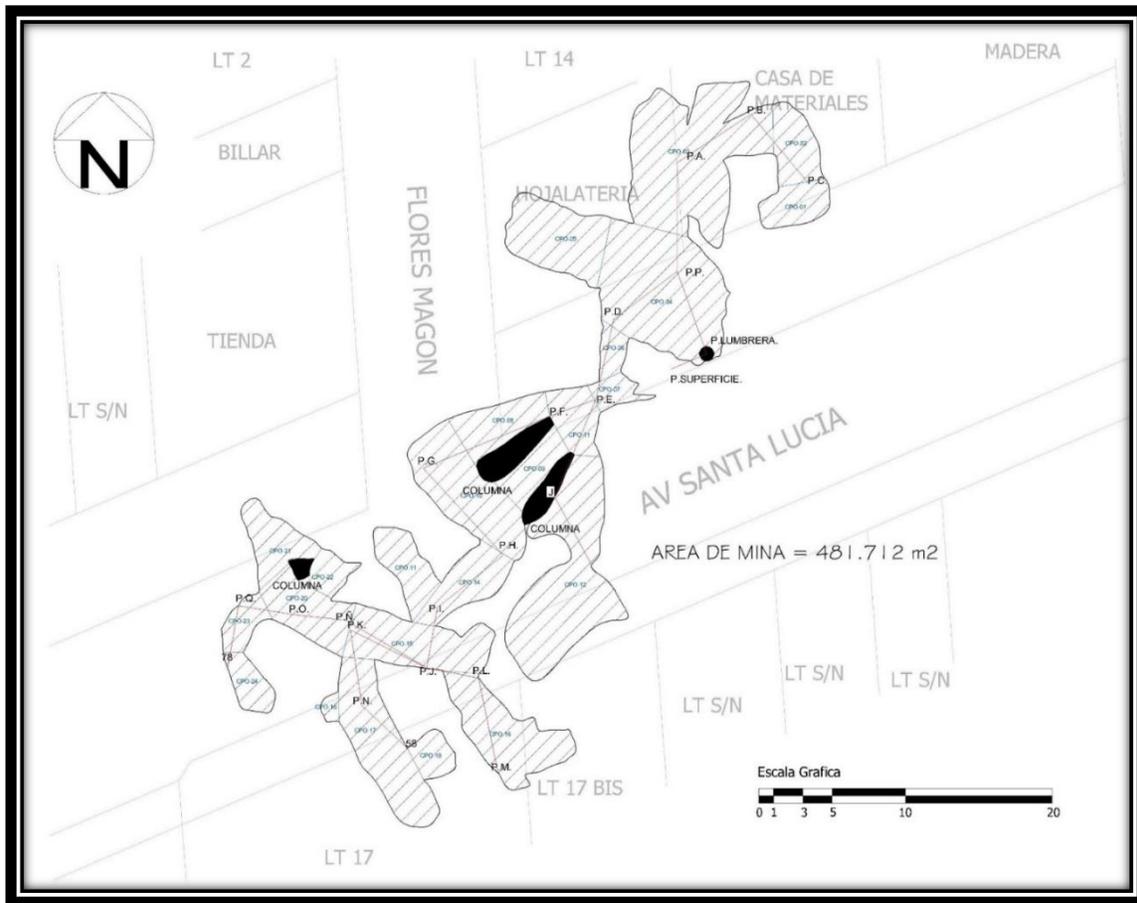


Figura 25. Ubicación preliminar de perforaciones secundarias (círculos rojos). La ubicación definitiva dependerá de la accesibilidad a los predios y las condiciones de los mismos y circulación en la avenida

## 6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las rocas que afloran son del Terciario-Cuaternario, son rocas de origen volcánico, El área está constituida por depósitos vulcano-sedimentarios resultado de la actividad volcánica que dio origen al conjunto morfo-estructural de la Sierra de las Cruces y es indicio del fin del gran vulcanismo en la región. La unidad más antigua consiste en rocas volcánicas andesíticas y dacitas del mioceno, con intercalación de depósitos de arenas pumíticas, tobas arenosas y arcillosas, lahares de fragmentos de diversos tamaños en una matriz tobácea y arcillosa, por último, tobas alteradas, horizontes de pómez y suelos arcillosos, pertenecientes a la Zona Geotécnica I de Lomas (Formación Tarango).

La fotointerpretación en conjunto con las entrevistas de los habitantes de la zona nos permite hacer un reconocimiento superficial del sitio eficientemente, posteriormente con apoyo de la exploración geofísica nos va a permitir obtener

resultados mejores con un equipo de resistividad eléctrica confiable y con un experto en la interpretación.

Las afectaciones también se deben de forma general al desplazamiento del material en la capa somera debido al reblandecimiento del terreno y por la saturación de la capa que le subyace, esta saturación actúa de modo lubricante entre las capas y estas tienden a desplazarse por simple gravedad, otro factor son las vibraciones del paso vehicular ya que algunas cavernas o minas pasan debajo de estas y con el tiempo y el movimiento de en estas áreas tienden a ocasionar oquedades o asentamientos debido a la caída del techo o en las viviendas se presentan fracturas en los muros y a veces asentamientos debido a que están construidas encima de las minas abandonadas que posteriormente la misma gente las usa como depósitos de basuras para rellenar estas oquedades.

Para la inspección de la caverna se debe de comprobar que el techo no se esté disgregando y se esté acumulando este material suelto en el piso, esto es indicio de una caverna de riesgo porque está ocurriendo la migración ascendente y progresiva de la caverna es decir es inestable.

La estabilidad de la mina se puede hacer mediante el proceso de relleno, lo cual es recomendable las cuatro etapas que son la delimitación de las áreas a rellenar, relleno en bloques o costales de arena, relleno con fluido en las oquedades y sello mediante la inyección de mortero, estas mezclas descritas en este trabajo se deberán ensayar directamente con los materiales de banco con los que se trabajara, para poder establecer la dosificación exacta de cada mezcla en función de la manejabilidad y el equipo de trabajo.

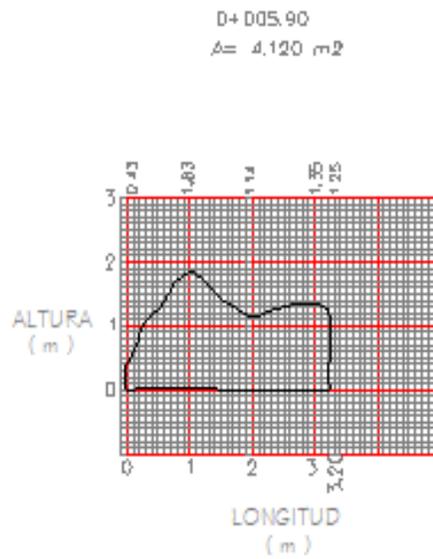
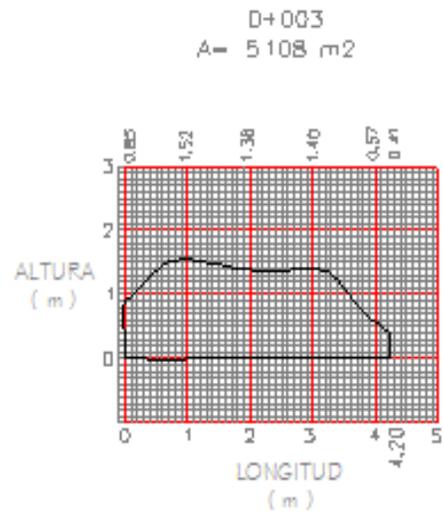
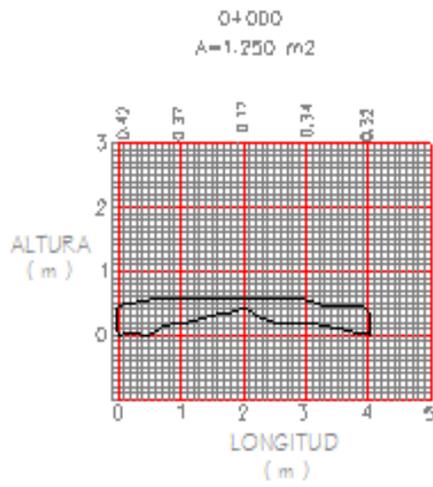
Como recomendación deberá hacerse perforaciones controladas electrónicas, pero a falta de este equipo se podrá realizar con un equipo simple de perforación vigilando, y si se requiere de muestreo deberá ser sin aplicar agua para no alterar físicamente el material extraído en cual es usando un equipo rotatorio convencional, pero con aire como fluido de perforación.

## **REFERENCIAS:**

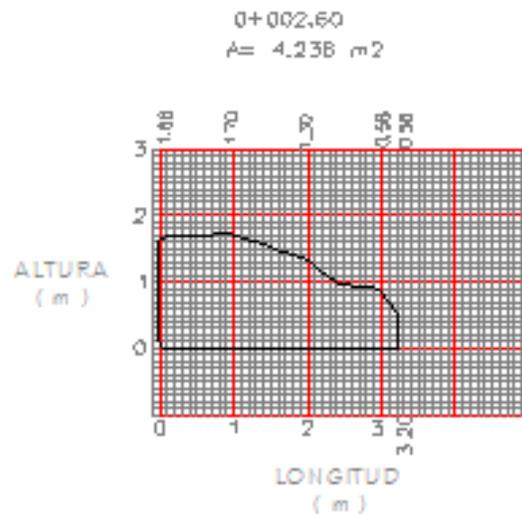
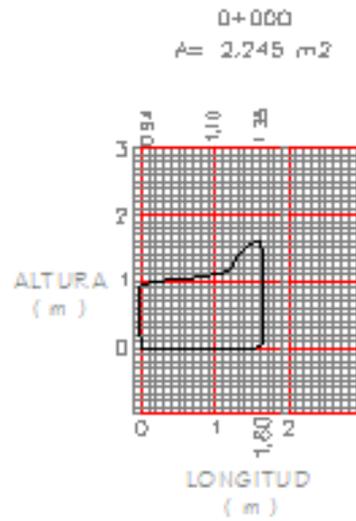
- Alanis Alcantara A. Tesis de Posgrado E.S.I.A. TICOMAN IPN 2011
- Campos Madrigal E. Silva Romo, Proyecto Verificación de campo de las zonas de Riesgo y Levantamiento de Geología, Facultad de Ingeniería, UNAM 1994, PAG 12.
- Dirac S.A. de C.V. Informe del Estudio Geotécnico para la Atención de cavidades de la Colonia de Olivar del Conde, inédito 1978.
- Experiencias Geotécnicas en la Zona Poniente del Valle de México, Cimentaciones en Zonas Minadas de la Ciudad de México: Simposio. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. 1976.
- Gaceta oficial de la Ciudad de México, 2018. Pag. 82-91.
- Melgoza Carlos A. Soiltec S.A. Metodología para la detección de zonas minadas o de relleno, con base en estudios de fotointerpretación. 1997.
- Mooser Federico, Montiel Arturo, Zúñiga Ángel Nuevo Mapa Geológico del Sur-Poniente del Valle de México, Investigaciones Eléctricas C.F.E.
- Ortiz R. y Chávez J. Estudio preliminar sobre caracterización de Morteros para la inyección de minas localizadas en el Municipio de Atizapán, Edo. De Mex. Pag.877-888.
- Pérez Ortiz Cancino L., Tratamiento de Zonas minadas del Poniente del Valle de México, 2004.
- Santoyo V. Enrique, León P. Elvira, TGC Ingeniería S.A. de C.V. Metodologías para verificar la existencia y la estabilización de túneles y cavernas de minas abandonadas en Poniente del Valle de México.2003.

***ANEXO 1.- MINA CALLEJON DEL MERCADO COL. OLIVAR DEL  
CONDE***

## SECCIONES CUERPO 1



## SECCIONES CUERPO 2





Inicio de actividades para el estudio de 21 Cavidades dentro del perímetro Delegacional



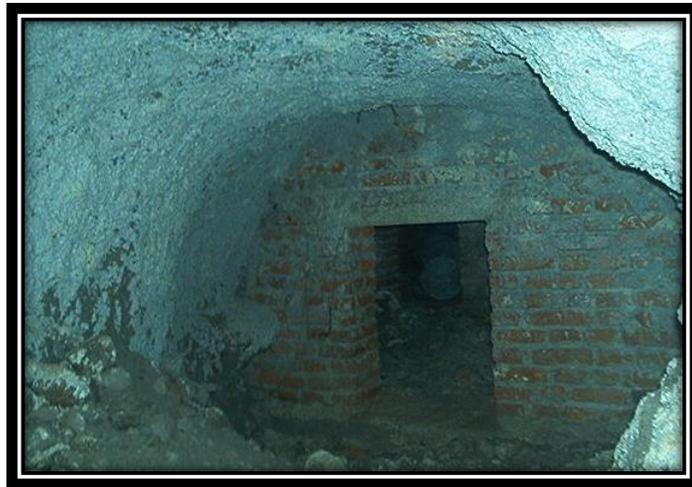
Hechura de la lumbrera para acceso a la cavidad



Seccionamiento de la cavidad del callejón del mercado.



Construcción de muros localizada dentro de la cavidad

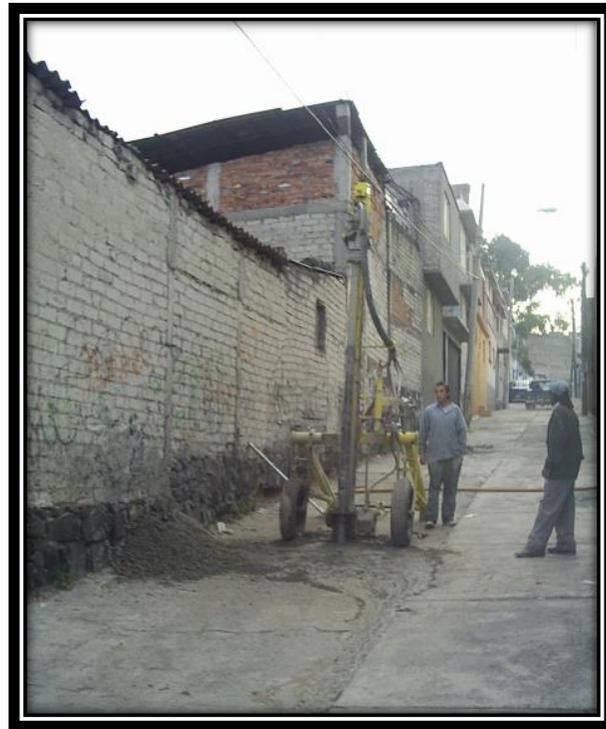


Desechos de construcción dentro de la cavidad

***ANEXO 2.- AV. SANTA LUCIA Y FLORES MAGON***



Equipo de perforacion Rotaria para la ubicación de las cavidades de la zona.



Equipo de perforacion simple neumatico



Perforaciones realizadas para la localización de cavernas



Material producto de la excavacion de la lumbrera para acceso a la caverna.



Lumbrera hecha para acceso a caverna localizada en la calle de Santa Lucia.



Hundimiento del terreno sobre la calle desplome del techo de la caverna existente en la calle.



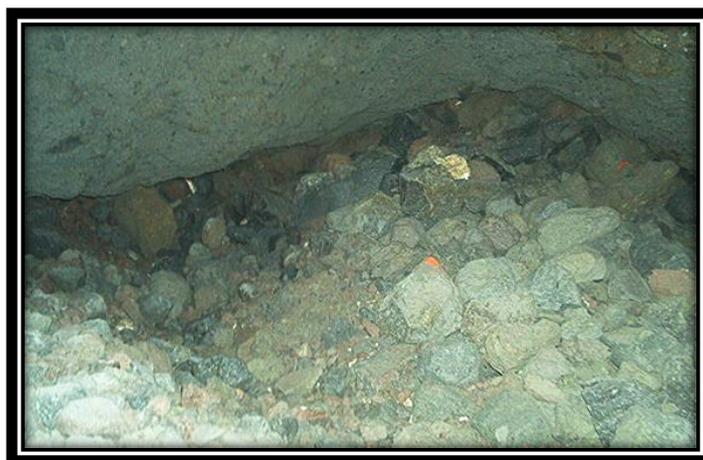
Derrumbe de los techos de una caverna inestable



Trazo de la Caverna y material de demolición rellenado por los habitantes de la propiedad.

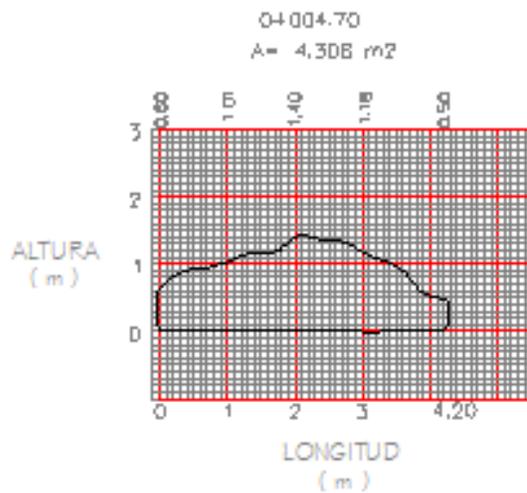
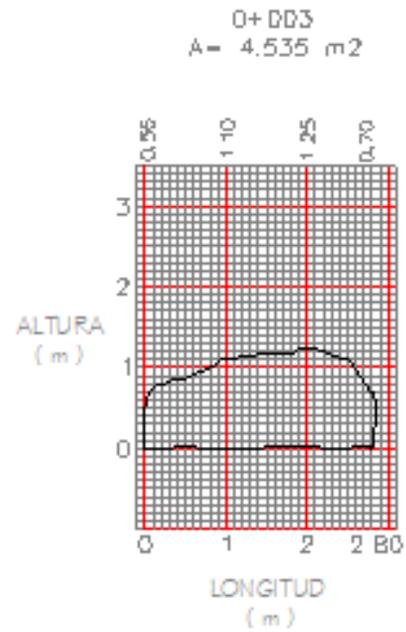
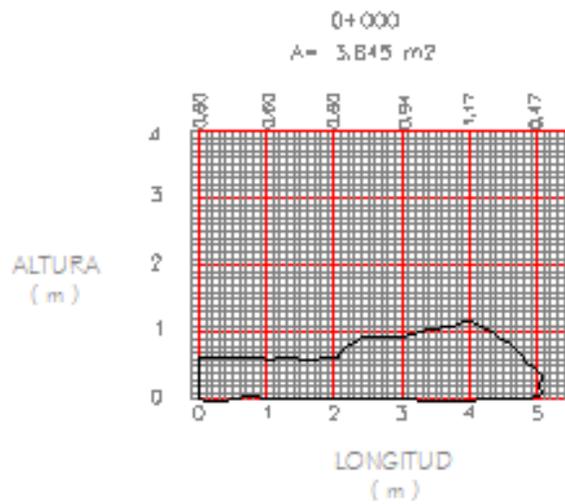


Trazo de la Caverna para su levantamiento topografico.

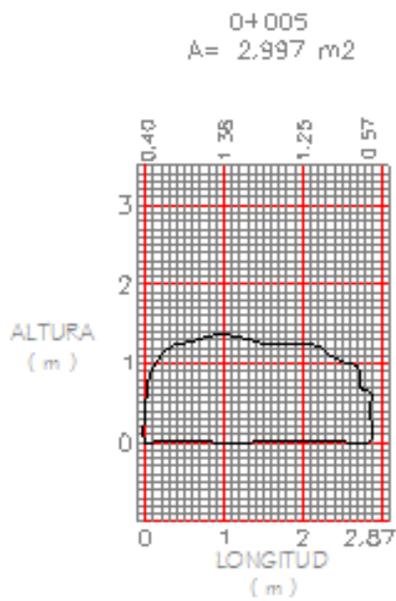
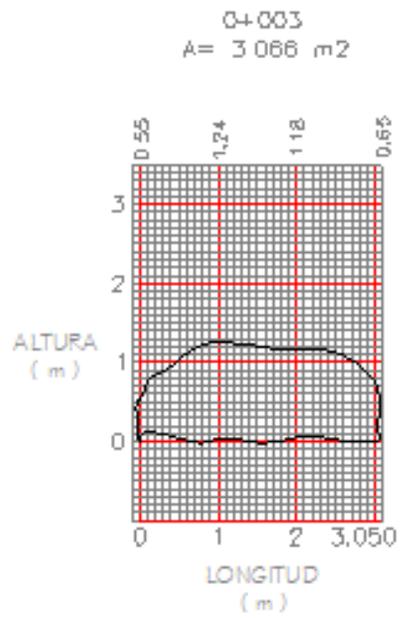
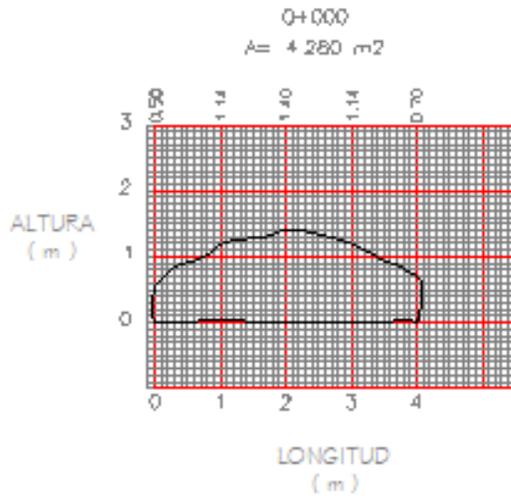


Caverna rellena por los habitantes con material de escombros.

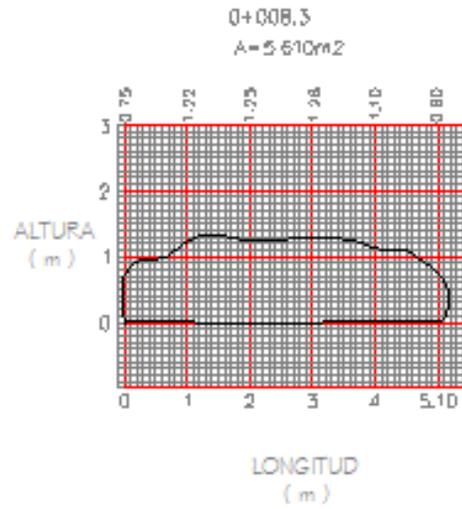
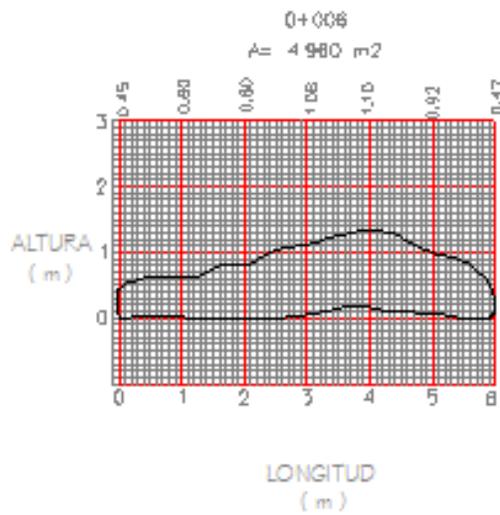
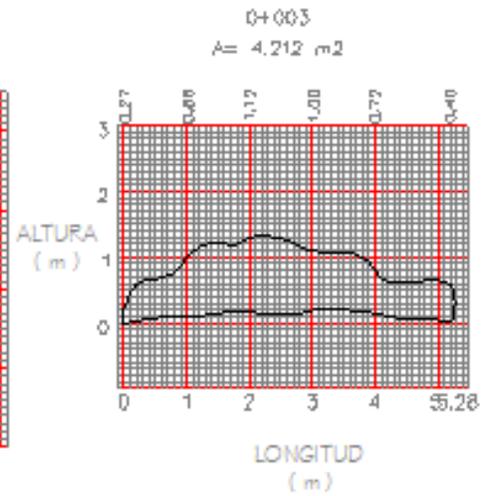
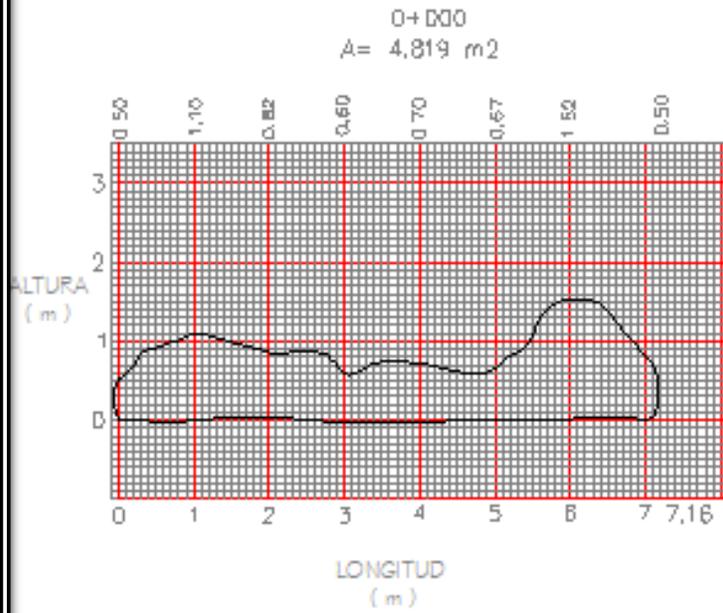
## SECCIONES CUERPO 1



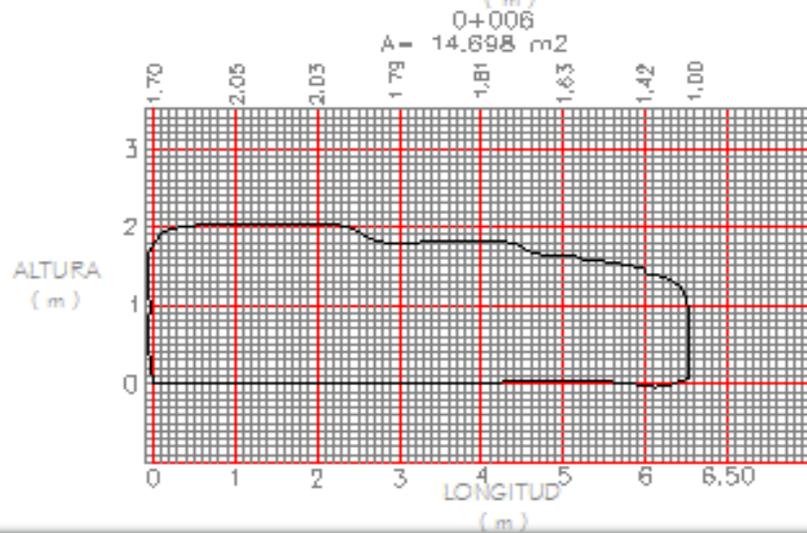
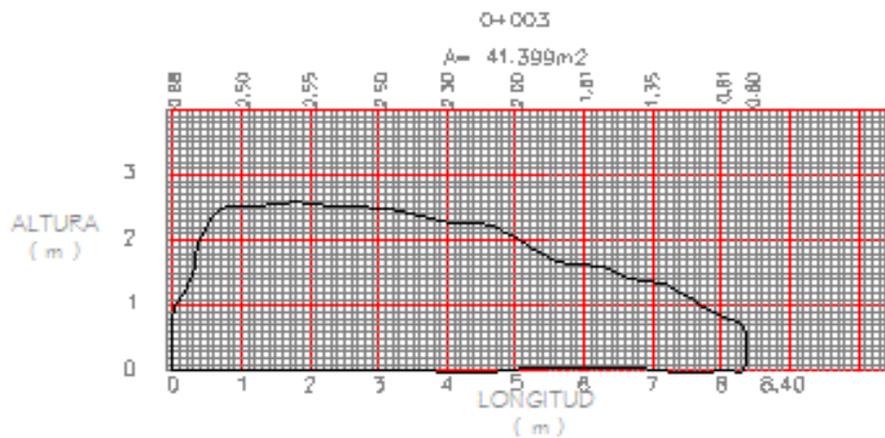
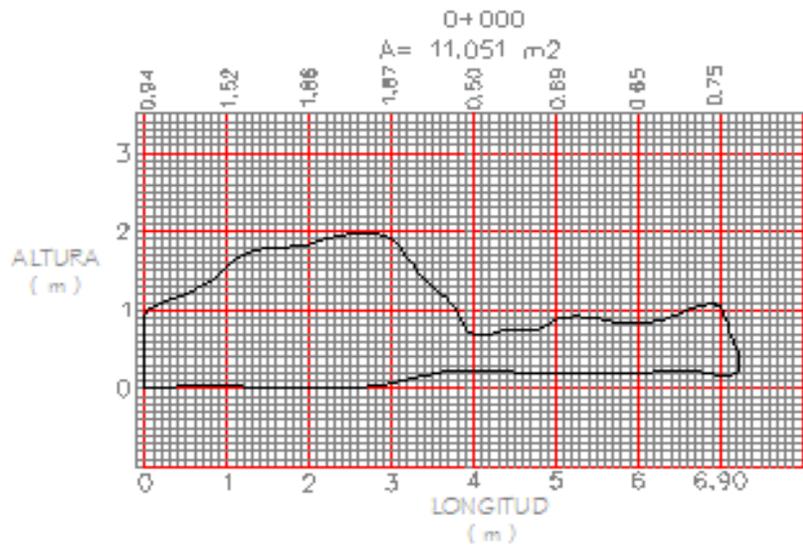
## SECCIONES CUERPO 2



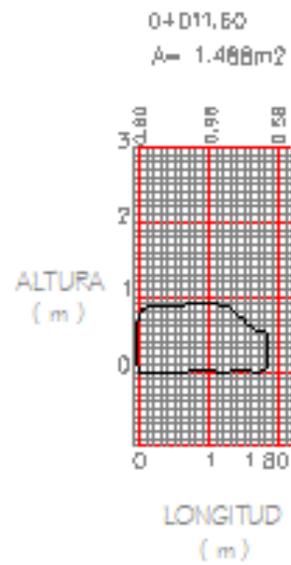
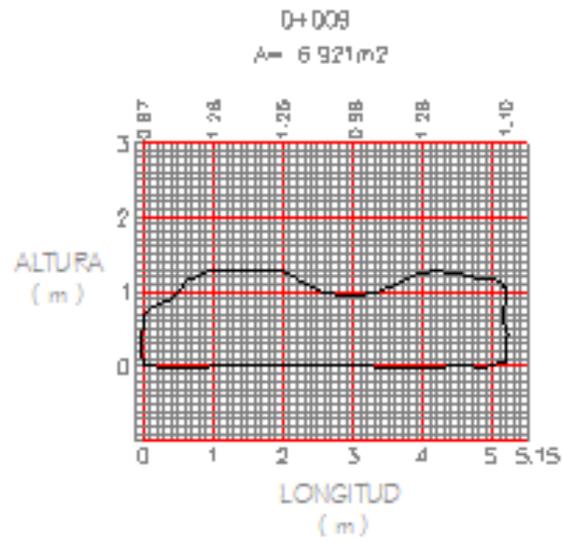
## SECCIONES CUERPO 3



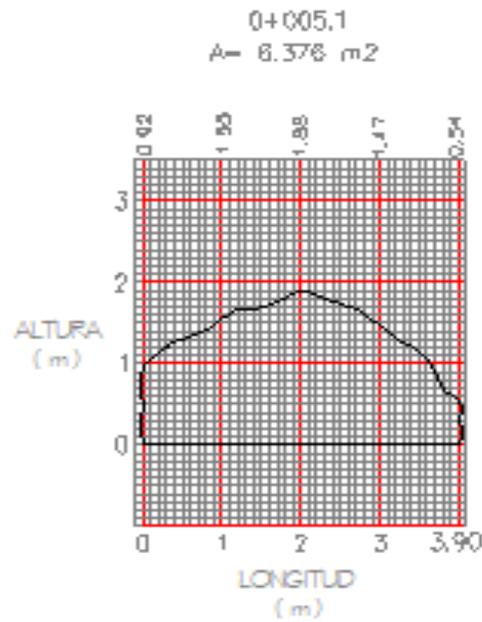
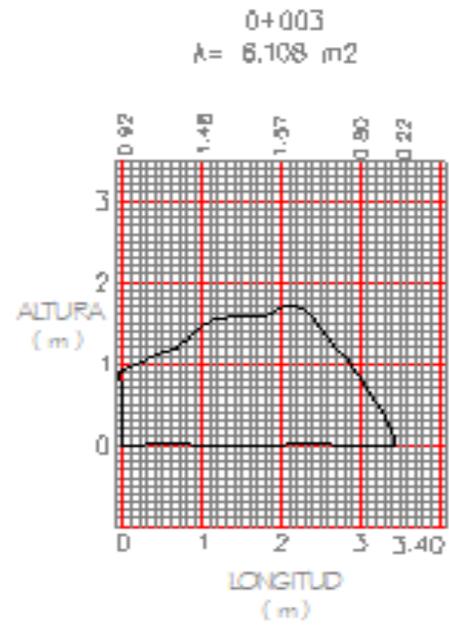
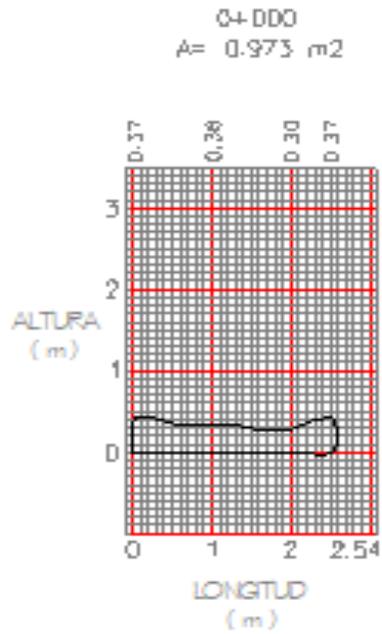
## SECCIONES CUERPO 4



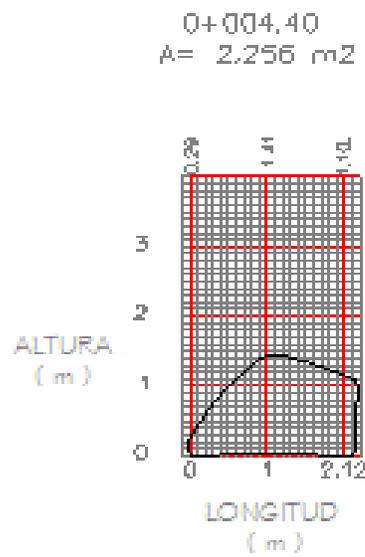
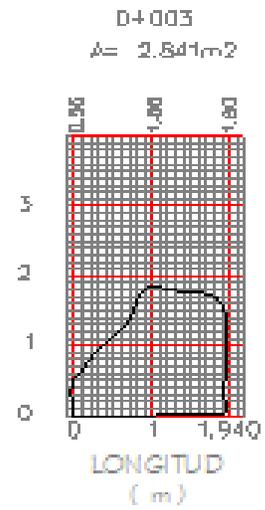
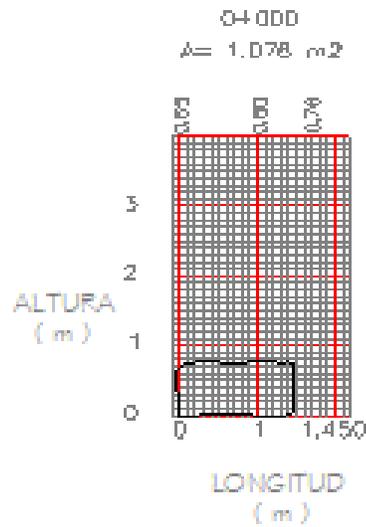
## SECCIONES CUERPO 4



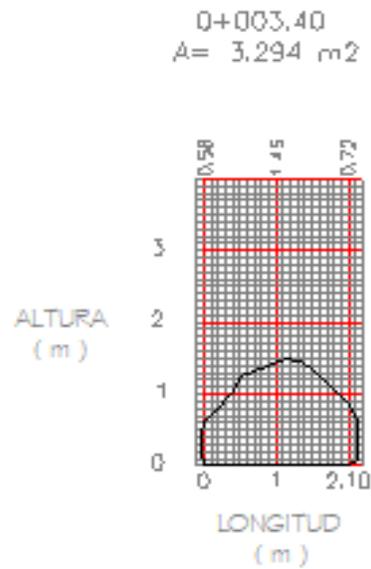
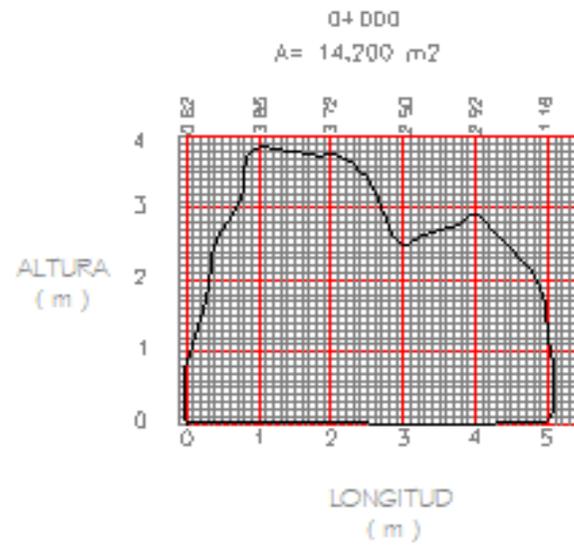
## SECCIONES CUERPO 5



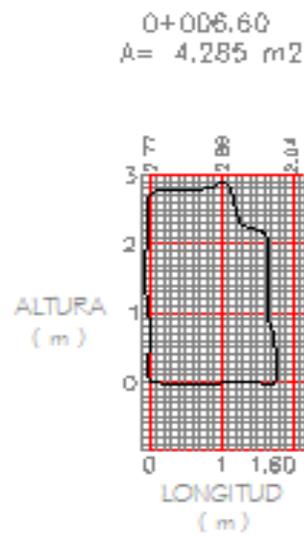
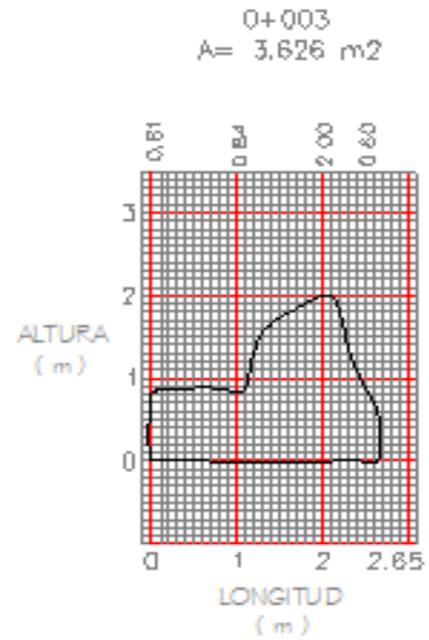
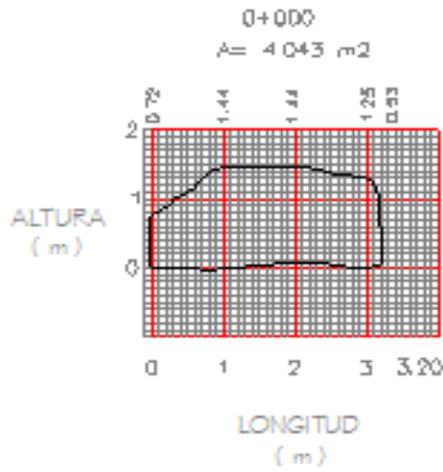
# SECCIONES CUERPO 5



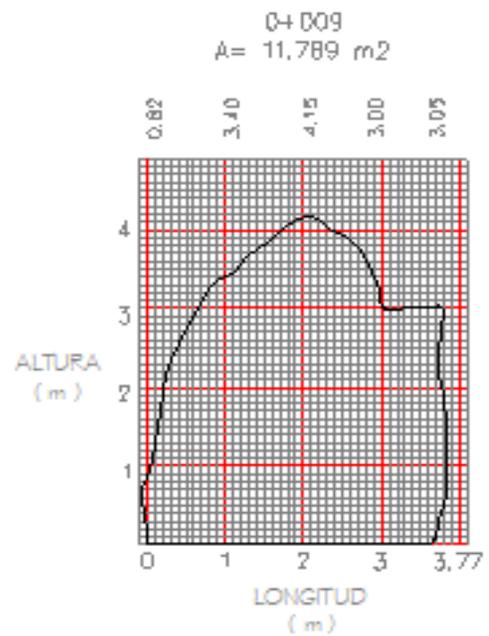
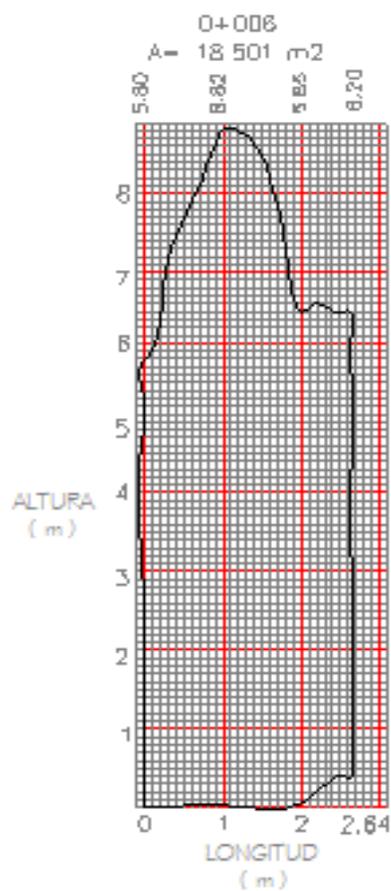
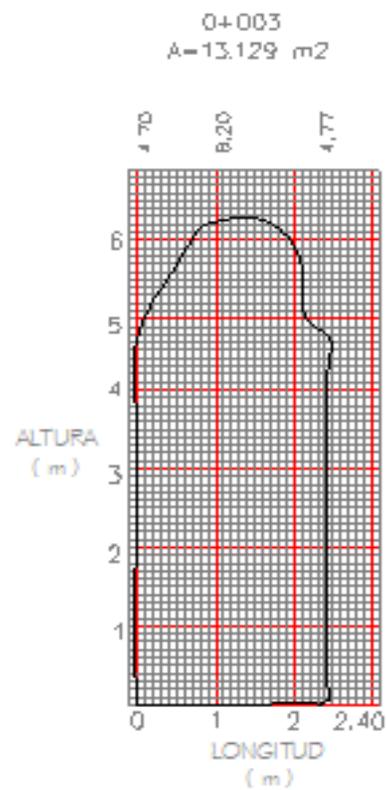
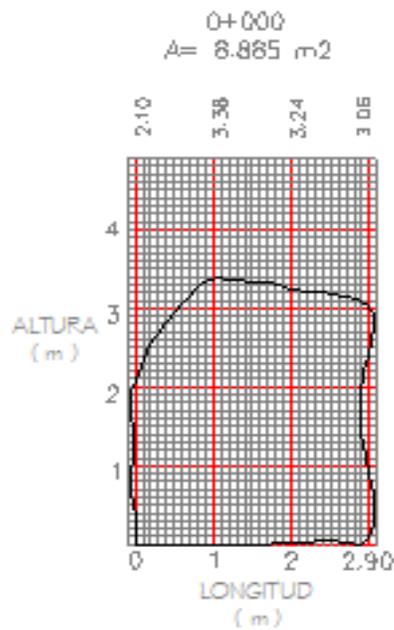
## SECCIONES CUERPO 7



## SECCIONES CUERPO 8

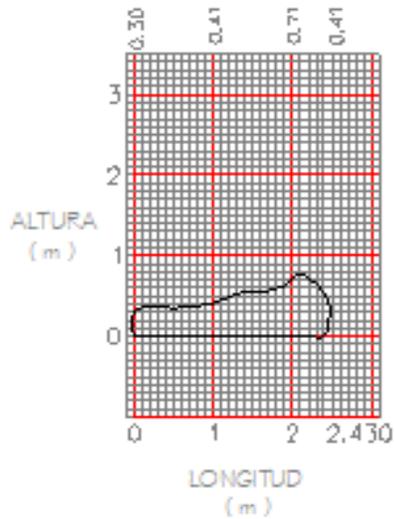


## SECCIONES CUERPO 10

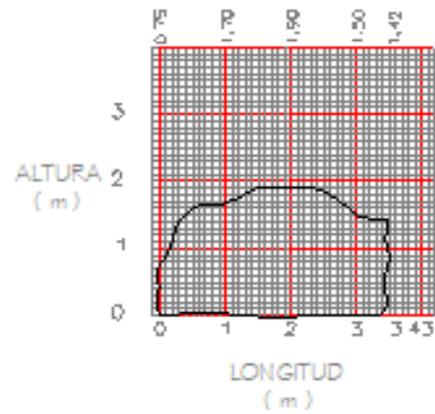


## SECCIONES CUERPO 12

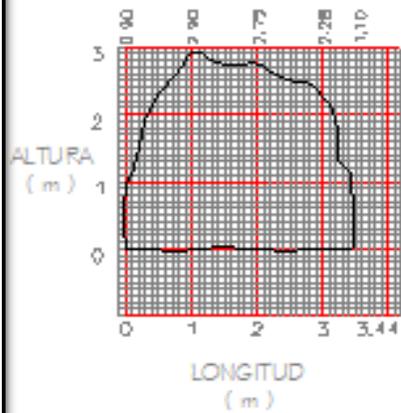
0+000  
A= 1.156 m<sup>2</sup>



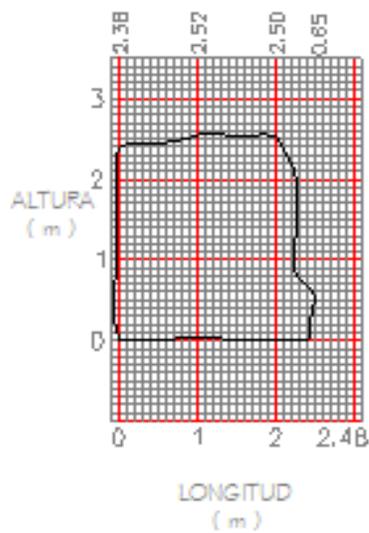
0+003  
A= 5.353 m<sup>2</sup>



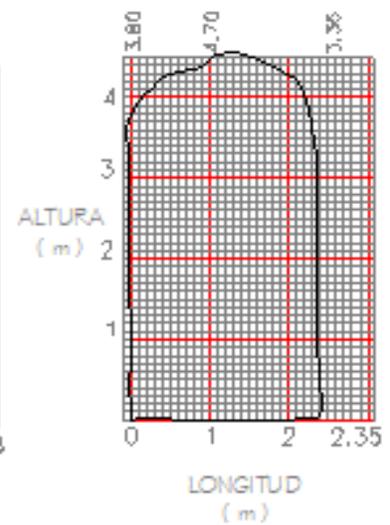
0+006  
A= 7.984 m<sup>2</sup>



0+009  
A= 5.716 m<sup>2</sup>

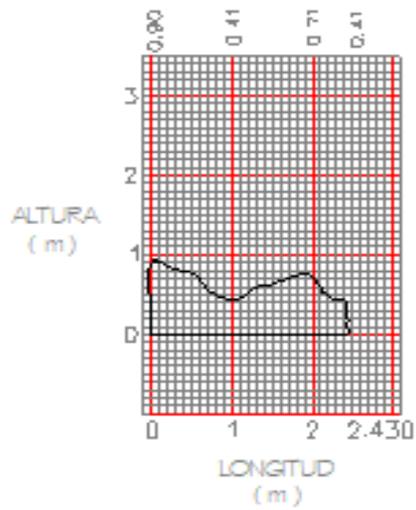


0+012  
A= 9.891 m<sup>2</sup>

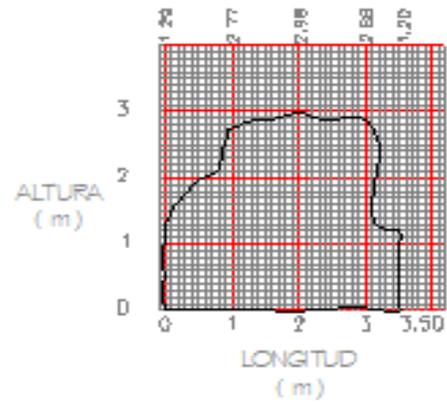


## SECCIONES CUERPO 13

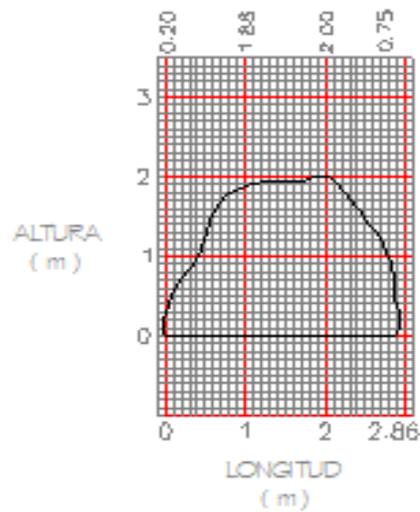
0+000  
A= 3,789 m<sup>2</sup>



0+003  
A= 8,840 m<sup>2</sup>

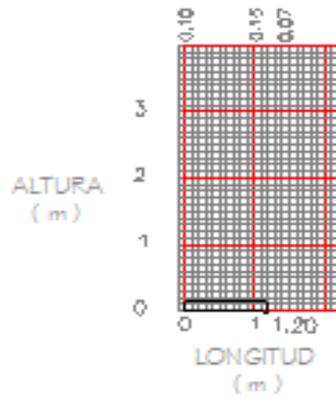


0+004 10  
A= 4,163 m<sup>2</sup>

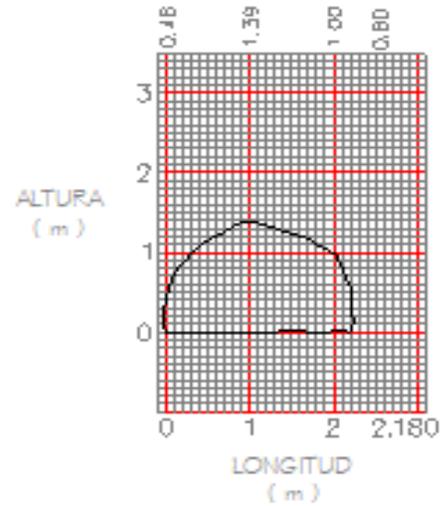


## SECCIONES CUERPO 14

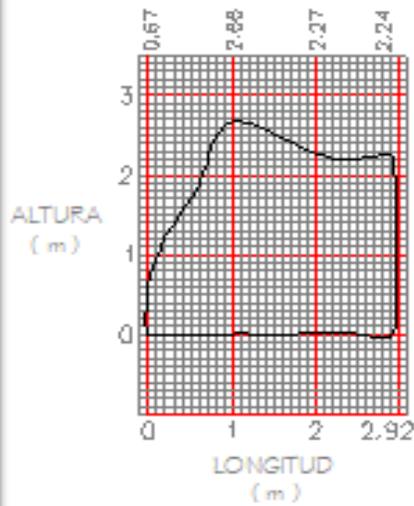
0+000  
A= 0,147 m<sup>2</sup>



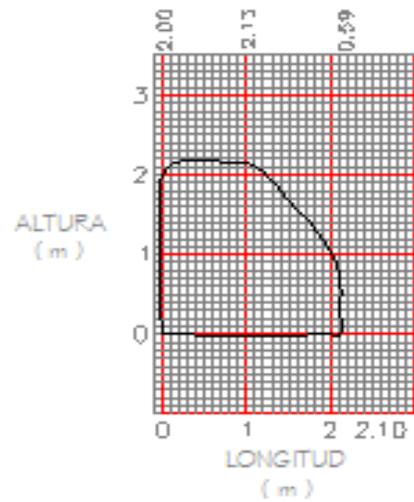
0+003  
A= 2.284 m<sup>2</sup>



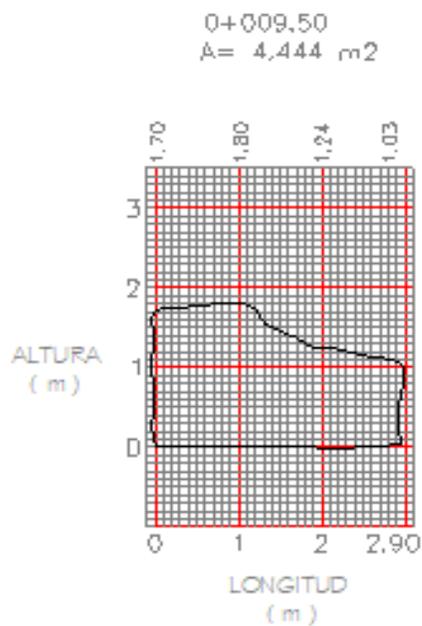
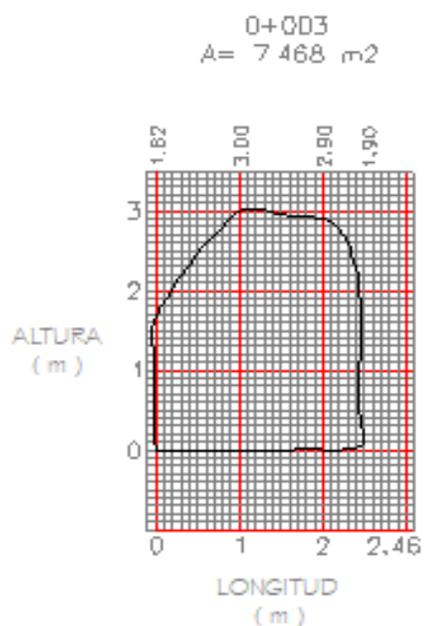
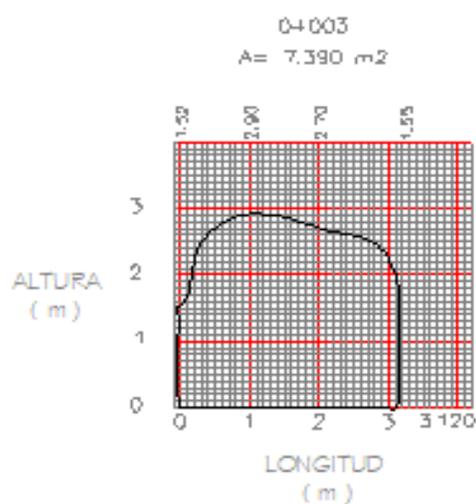
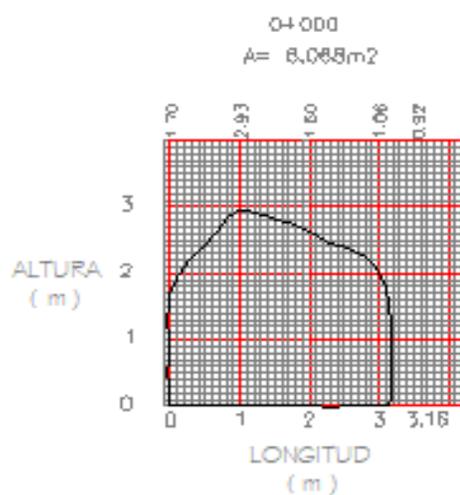
0+006  
A= 6.205 m<sup>2</sup>



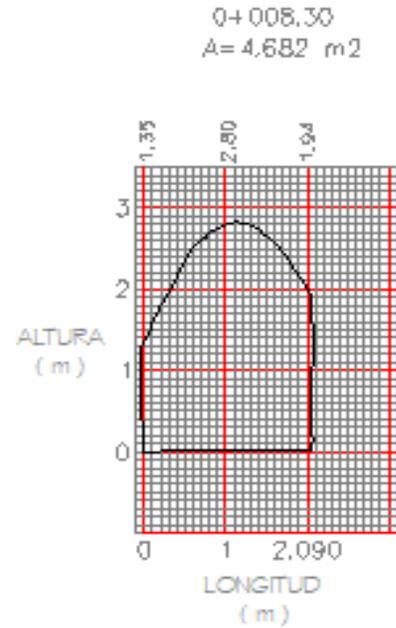
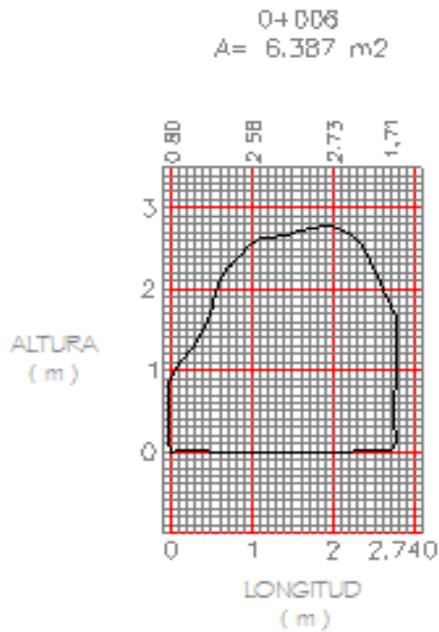
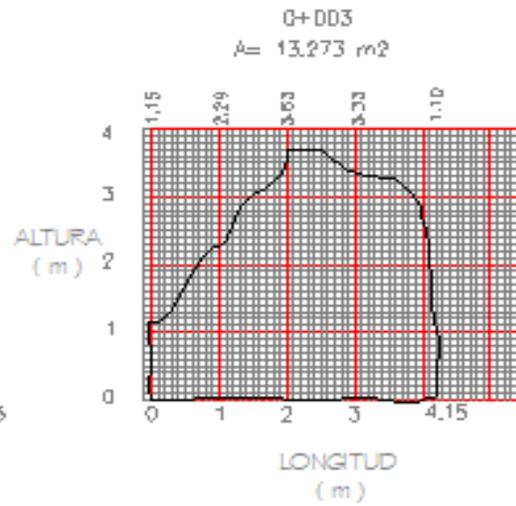
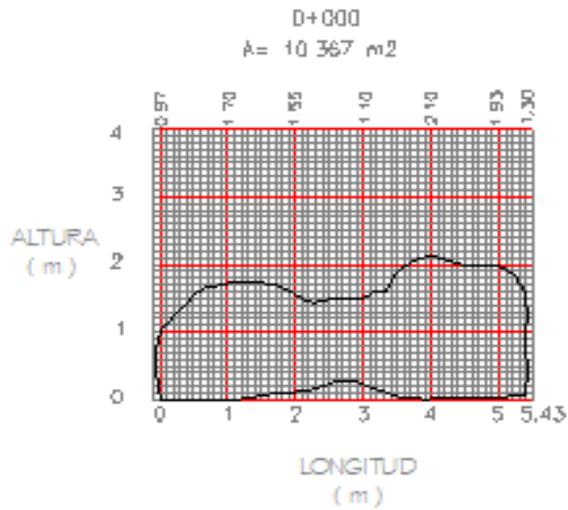
0+007,74  
A= 3.561 m<sup>2</sup>



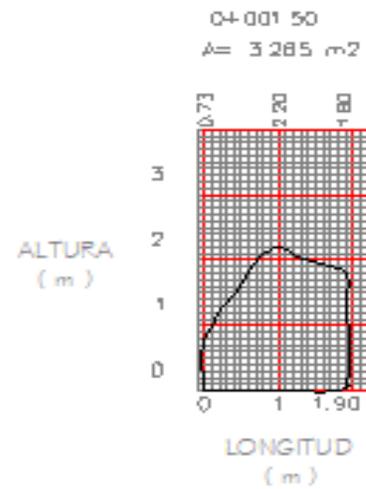
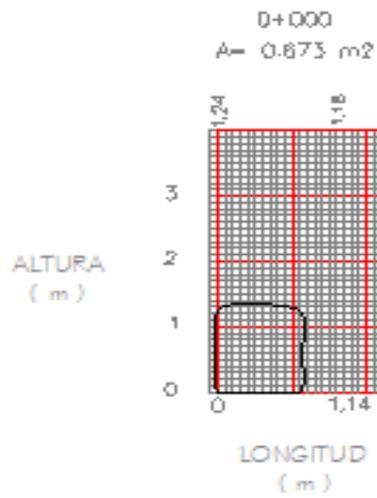
## SECCIONES CUERPO 15



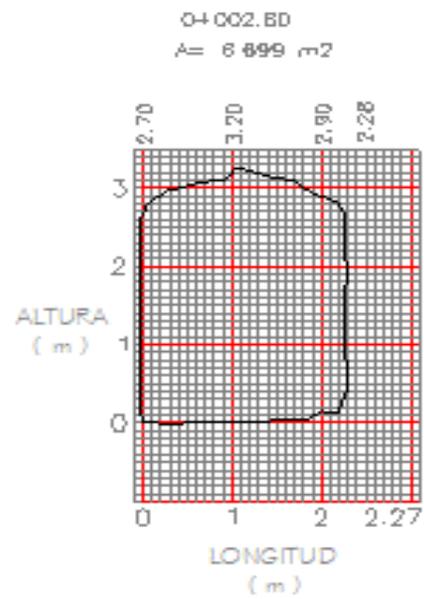
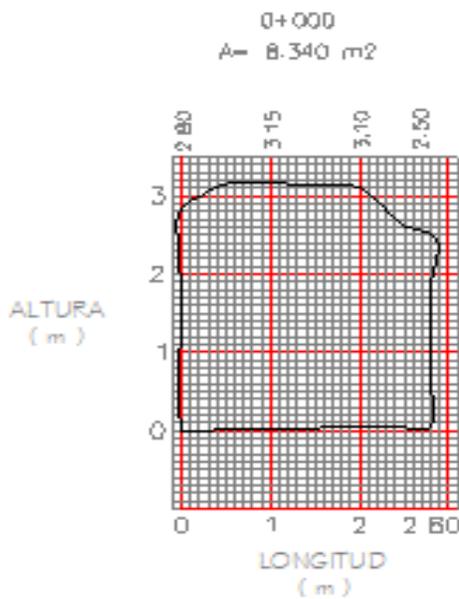
## SECCIONES CUERPO 16



## SECCIONES CUERPO 18

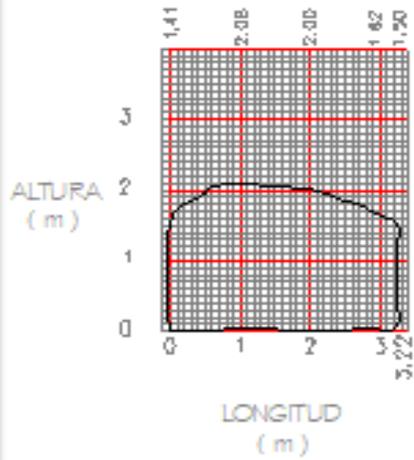


## SECCIONES CUERPO 19

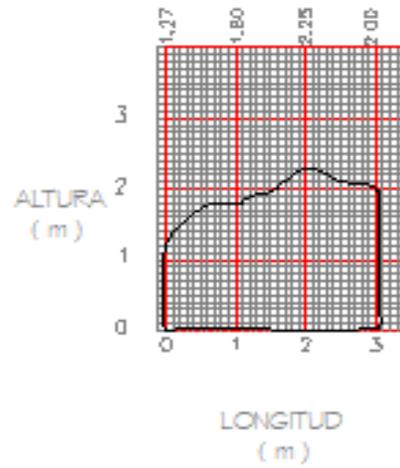


## SECCIONES CUERPO 20

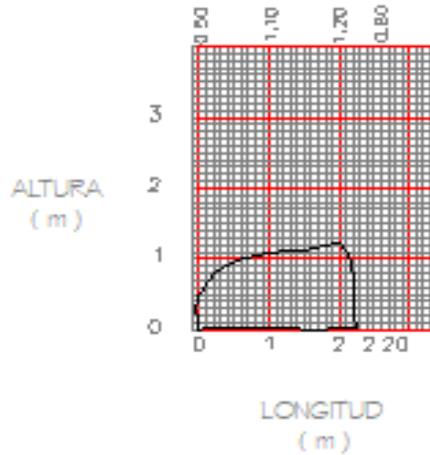
0+000  
A= 5.938 m<sup>2</sup>



0+003  
A= 5.585 m<sup>2</sup>

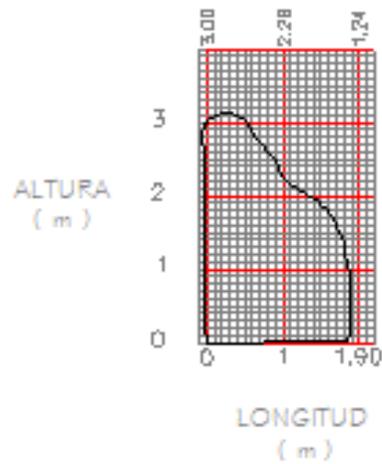


0+005.90  
A= 5.585 m<sup>2</sup>

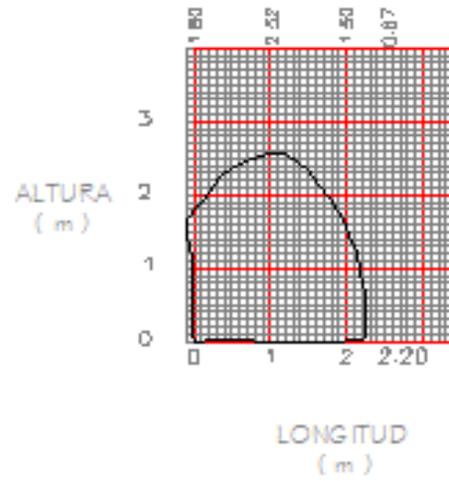


# SECCIONES CUERPO 21

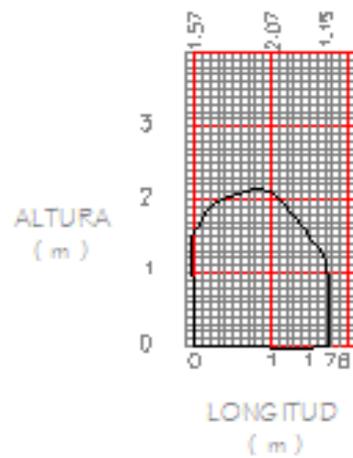
0+000  
A= 4 224 m<sup>2</sup>



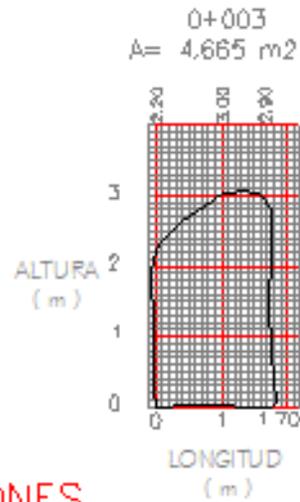
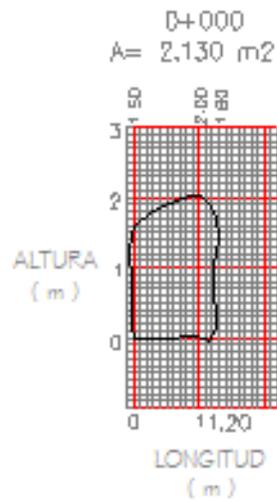
0+003  
A= 4,387 m<sup>2</sup>



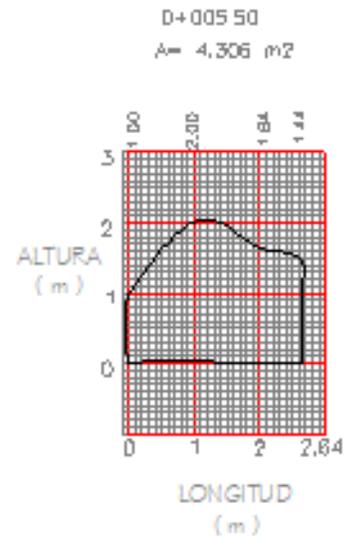
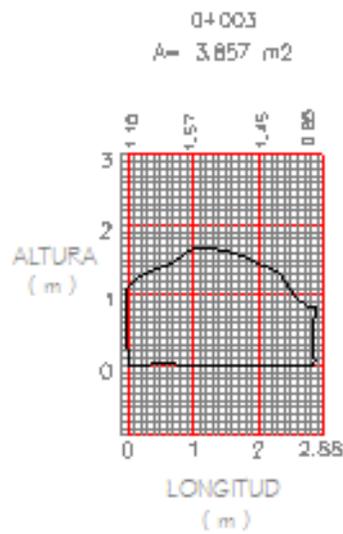
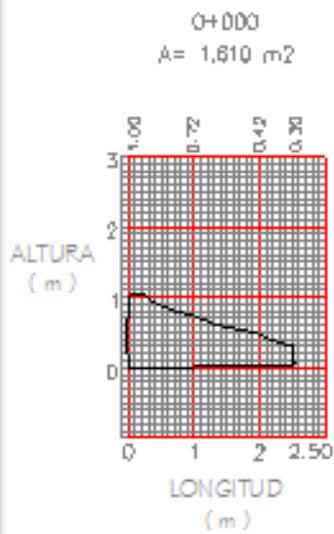
0+004,80  
A= 3,044 m<sup>2</sup>



## SECCIONES CUERPO 22



## SECCIONES CUERPO 23



# SECCIONES CUERPO 24

