

Anexo 1. Procedimiento para la realización de Calas volumétricas gigantes

1. OBJETIVO.

Este procedimiento permite determinar la densidad seca de un enrocamiento o suelo con partículas de 0,50 m de tamaño máximo, en el sitio.

2. ALCANCE.

Con el ensaye se podrá determinar en campo, la densidad seca de suelos compactados artificialmente, de depósitos de suelos naturales, de mezclas de suelos y de otros materiales similares. Los materiales deberán tener la suficiente compacidad de tal manera que se mantengan estables las paredes de la cala. Esta prueba se utiliza generalmente en suelos granulares no sumergidos.

3. DEFINICIONES.

Se denomina densidad seca a la masa de las partículas sólidas y secas por unidad de volumen. La densidad seca se calcula dividiendo la masa de los sólidos secos contenidos en la cala, entre el volumen de la misma. Frecuentemente la densidad seca obtenida se utiliza como base de aceptación respecto a una densidad seca especificada. Esta última se determina conforme a la construcción de un terraplén de pruebas en campo utilizando el equipo de construcción que normalmente se usará para la construcción de la estructura que se desee construir.

4. REFERENCIAS.

SARH, "Manual de Mecánica de Suelos", Ed. Gráfica Panamericana, 3a. ed., 1978.
ASTM, "Parte 19, Soil and Rock; Building Stones", ASTM, 1982, Easton, Md., USA.

5. RESPONSABILIDADES.

El Jefe de la Oficina de Cimentaciones es el responsable de la implementación de este procedimiento para su aplicación en campo. Los laboratoristas como ejecutores son los responsables de su aplicación y el Encargado o Jefe del laboratorio de Campo es el responsable de la verificación de su aplicación.

6. DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO.

La prueba consiste en excavar una cala (pozo) en el suelo y obtener su volumen y la densidad seca contenidos en ella, determinándose al mismo tiempo el contenido de agua del material.

6.1 Equipo y materiales

- Cuatro buretas con volumen aproximado de 1,5 metros cúbicos, con indicadores de nivel, montadas sobre un camión (una bureta de 0,4 m de diámetro y tres de 0,6 m de diámetro).
- Bomba de agua con 5 cm de diámetro (de entrada y salida), para llenado de buretas.

- Aros de acero de 0,75 y 1,5 m de diámetro y 0,20 m de altura con dispositivos indicadores de nivel. (El aro de 0,75 m de diámetro se utiliza para tamaño máximo de partícula de 0,15 m y el de 1,50 m para tamaño máximo de partícula de 0,50 m de diámetro).
- Ocho tambos con volumen de 0,2 m³ cada uno, para almacenar el material producto de la cala. Los detalles de las buretas se muestran en la fig. 1. Las dimensiones indicadas en ella son aceptables para materiales que tienen un tamaño máximo de partículas de 0,50 m y para una cala de aproximadamente 1 m³ de volumen.
- Cuando el tamaño de las partículas es mayor a 0,50 m se necesitan dispositivos y dimensiones de calas más grandes, además de una grúa tipo Hiab montada sobre el mismo camión, para izar los fragmentos de roca que no puedan ser movidos manualmente.
- Balanza con capacidad mínima de 9800 N y 1,0 N de exactitud.
- Balanza con capacidad de 196 N y 0,010 N de exactitud.
- Horno eléctrico con regulador de temperatura y desecador.
- Varios: cinta masking tape, franela, flexómetro, charolas de lámina, regla metálica para enrasar la superficie del suelo, cincel, martillo, espátula de cuchillo, nivel de burbuja, pico, pala redonda y pala cuadrada, barreta de acero de 1 m de longitud y membrana de polietileno de 0.003x4x4 m.

6.2 Calibración

Calibración de las buretas:

- Se limpian interiormente con agua y jabón.
- Se llenan las buretas y una a una se vacían en un recipiente aforado para determinar su volumen por unidad de altura, al mismo tiempo se hacen lecturas sobre el indicador de niveles para posteriormente tomarlo como referencia para determinar el volumen que se vierte dentro de la cala.
- Los resultados de la calibración se anotan en la Tabla 1.

6.3 Determinación de la densidad seca en campo

- Se llenan las buretas con agua y se trasladan al sitio de la excavación de la cala.
- Enrasar a nivel la superficie del suelo en el sitio donde se va a hacer la determinación de la densidad seca.
- Se coloca el aro sobre la superficie del suelo previamente nivelada y enrasada.
- Se coloca la membrana de polietileno sobre el aro y el suelo, se vierte agua de las buretas, hasta un nivel que se determina mediante el indicador de nivel, que se adosa al aro, previamente se toma la lectura inicial de las buretas a utilizar. fig. 2.
- Al quedar lleno el aro hasta ese nivel, se toma nuevamente la lectura de las buretas utilizadas para determinar el volumen de agua utilizado (vol₁).
- Se regresa el agua a las buretas mediante la bomba y se toman las lecturas correspondientes.
- Se procede a excavar el material existente dentro del aro, teniendo cuidado de no mover este último, el material excavado se deposita en el interior de los tambos, para su

posterior traslado al laboratorio. (El material excavado corresponde a todo el espesor de una capa).

- Una vez extraído todo el material de la cala, nuevamente se coloca el polietileno y se procede al llenado con agua hasta la marca que indica el indicador de nivel (que debe ser el mismo tomado para la determinación del vol₁) y se hacen las lecturas correspondientes de los niveles en las buretas (vol₂).
- Por diferencia de volúmenes se determina el volumen del material excavado.
- En el laboratorio, se pesa el material extraído, se criba y cuartea para tomar una parte de aproximadamente 10 kg masa del material que pasa la malla de 7,6 cm para secarlo y determinar su contenido de agua.
- Se calcula la densidad seca del material siguiendo la secuencia de la Tabla 1 A-1.

7. Ejemplo de determinación del volumen de una cala.

	Lect Inicial (1)	Lect. Final (2)	(1)-(2)	Vol/cm (lts)	Vol de agua	Vol cala (lts)
Bureta 1	0	0	0	0.707	0	
Bureta 2	163	93	70	2.83	198.1	
Bureta 3	0	0	0	2.83	0	
Bureta 4	0	0	0	2.83	0	
						198.1

Bureta 1	0	0	0	0.707	0	
Bureta 2	160	45	115	2.83	325.45	
Bureta 3	155	43	112	2.83	316.96	
Bureta 4	162	87	75	2.83	212.25	
				Suma	854.66	656.56

Tabla 1 A-1

En primer término se hace la lectura entre el material colocado (sin la excavación) y la marca del indicador de niveles (Normalmente se usa una bureta para este paso, vol₁=198,1 litros =0,1981 m³) Al finalizar la excavación de la cala se hace la lectura de las buretas que se usaron para medir el volumen entre el fondo de la excavación y la marca del indicador de niveles. (aquí normalmente se usa más de una bureta, vol₂=854,66 litros=0,8547 m³). La diferencia entre las dos lecturas corresponde al volumen del material excavado. (Vol. = vol₂ – vol₁=854,66 litros-198,1 litros= 656,56 litros=0,6566 m³)

Nota: Los volúmenes se pueden determinar en litros (l) o metros cúbicos (m³).

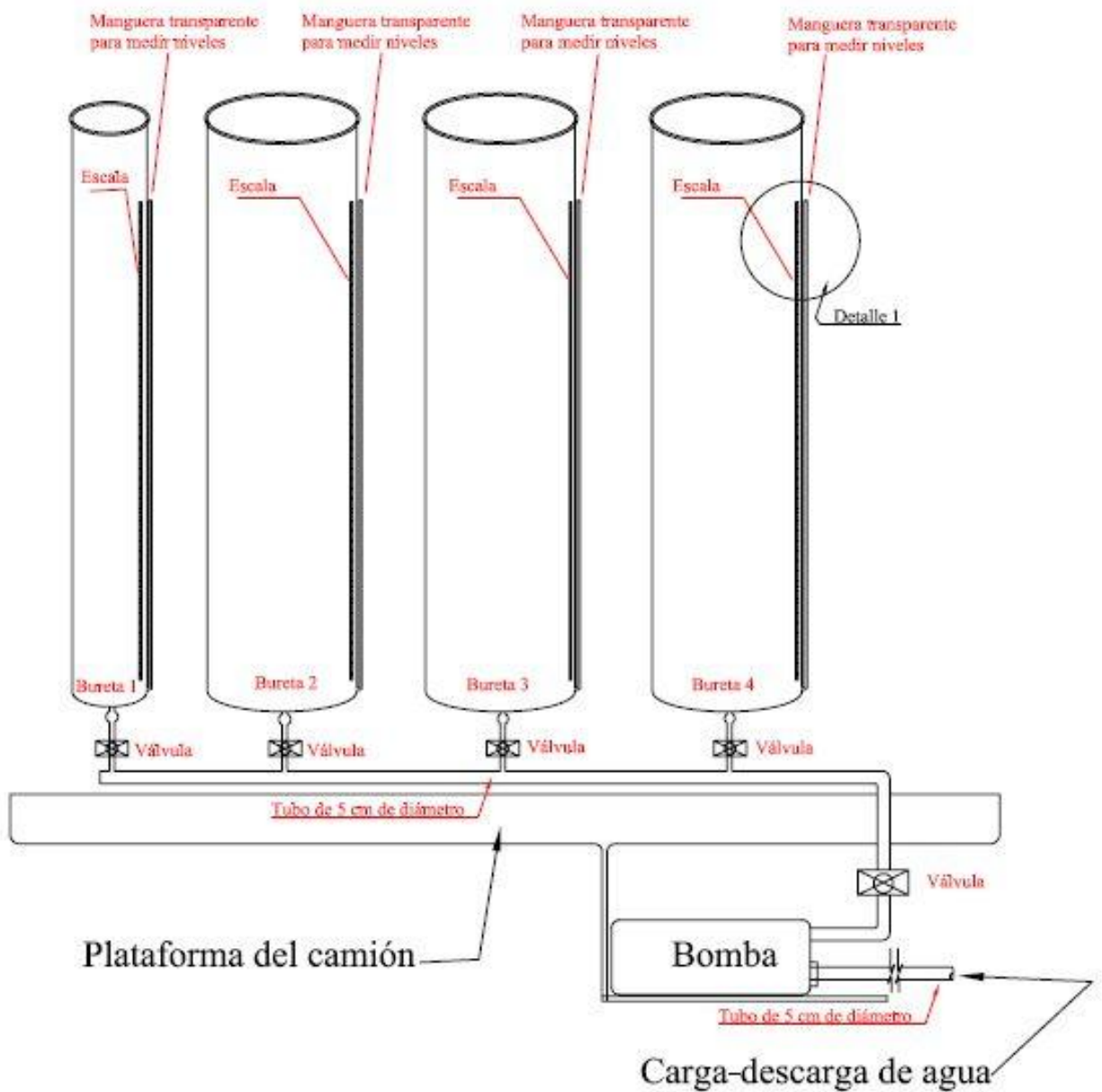
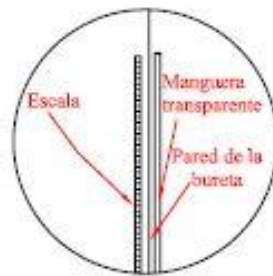


Figura 1 A-1. Esquema que muestra el acomodo de las buretas para las pruebas de las Calas Gigantes



Figura 2 A-1. Realización de una Cala gigante en el material T de la cortina de ECC del P.H. La Yesca, se pueden observar las buretas utilizadas en la medición del volumen de la excavación.

Anexo 2. Prueba de permeabilidad Matsuo Akai

1. OBJETIVO

Detallar el procedimiento así como las actividades necesarias para la adecuada ejecución de la prueba de permeabilidad de campo Matsuo-Akai, la cual permite determinar el coeficiente de permeabilidad, k , del manto rocoso o estrato de suelo donde se desea efectuar el ensaye.

2. ALCANCE

La prueba de permeabilidad de campo Matsuo-Akai, es aplicable para estimar la permeabilidad de un suelo o de un manto rocoso fisurado, siempre y cuando estos se localicen por arriba del nivel freático.

3. DEFINICIONES

Permeabilidad: Propiedad de algunos materiales de permitir el paso de fluidos a través de ellos sin modificar su estructura interna.

Coefficiente de Permeabilidad (k): Se define como la velocidad del agua en flujo laminar a través del suelo cuando está sujeto a un gradiente hidráulico unitario. Sus unidades son las correspondientes a los de velocidad, es decir, cm/s.

El coeficiente de permeabilidad, k , no es una propiedad constante del material, sino que depende del tamaño y forma de las partículas que componen el suelo, de su relación de vacíos, forma y arreglo de los poros, del contenido de materia orgánica, de la solubilidad de sus componentes, y de las propiedades del agua.

4. REFERENCIAS

- CFE, **Manual de Diseño de Obras Civiles**, Capitulo. B.2.2, Propiedades físicas y mecánicas de los suelos, México, 1980.
- SRH, **Manual de Mecánica de Suelos**, Ed. Gráfica Panamericana, 5a. Ed, 1970.

5. RESPONSABILIDADES.

Es responsabilidad del Jefe de la Oficina de Cimentaciones, la implantación de este procedimiento. Es responsabilidad del ingeniero en campo, verificar la correcta aplicación y utilización del contenido de este procedimiento, según el alcance establecido. Es responsabilidad de los Laboratoristas, como elementos ejecutores, conocer el contenido de este procedimiento y aplicarlo correctamente, en las actividades que se desarrollan en el Laboratorio de Mecánica de Suelos.

6. DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO

6.1 Equipo mínimo requerido

- Recipiente con capacidad de 1,000 litros o más según se requiera.

- Manguera de 25 mm de diámetro, de longitud suficiente para alcanzar la zanja.
- Válvula de globo de 25 mm ϕ , para la regulación de los gastos adicionados.
- Sistema para el control de niveles con una aproximación, de 1 mm. (Figura 1 A-2)
- Aforador de gasto tipo doméstico, recomendable más no indispensable, que puede ser sustituido por un sistema de medición de gasto, conformado por un recipiente de volumen conocido y un cronómetro.
- Herramientas de uso general para realizar la excavación (palas, picos, barretas, etc.), que se requieran según las características del material.
- Flexómetro de 3 m de longitud.
- Cronómetro.

6.2 Ejecución de la prueba.

1. Se deberá observar, de ser posible antes de realizar la excavación de la zanja, que el manto en el cual se desea realizar el ensaye sea un medio homogéneo, esto con ayuda de cortes y/o excavaciones previas cercanas al lugar seleccionado.
2. Se procurará que la superficie donde se excavará la zanja sea sensiblemente horizontal.
3. En una primera etapa de la prueba, se marcarán en planta, con cal, las dimensiones de la excavación, procurando que las líneas sean ortogonales.
4. Se excavará la zanja con una geometría regular, teniendo como dimensiones iniciales en su plantilla a **B** como ancho y a **L** como largo, con una equivalencia de **L=2B**; y con una profundidad igual a + 80 cm o igual al espesor de la capa colocada, cuando se trate de rellenos artificiales.
5. Es práctica común en campo que **B** sea igual a 1 m, deduciéndose las equivalencias correspondientes para el dimensionamiento de la excavación.
6. La excavación se realizará empleando la herramienta adecuada, dependiendo de las características y naturaleza del material y de su disponibilidad en el sitio, pero se deberá tener cuidado en que la zanja tenga taludes 1:1 en sus paredes, así como guardar la geometría de la misma.
7. Posteriormente, la zanja se llena de agua hasta alcanzar un tirante (**h**) tal que se encuentre por debajo del nivel de terreno de 5 a 10 cm, suministrando agua para mantener el tirante inicial
8. Saturación del material: Este tirante podrá variar dependiendo del tipo de material con que se esté trabajando, quedando a criterio del responsable del ensaye determinarlo en el sitio, ya que este paso tiene como finalidad lograr la saturación del material, que en el caso de tratarse de materiales granulares, se recomienda sea de 24 horas como mínimo y en el caso materiales finos, hasta de 72 horas.
9. Una vez que se observe que se ha estabilizado el tirante, es decir, que el gasto que se suministra a la zanja sea igual al gasto que se filtra por el material, se montará la estructura que contiene el sistema de control de niveles tal como se ilustra en la figura 1 A-2.
10. A continuación se selecciona algún nivel arbitrario como referencia y se inicia la toma de lecturas de gasto contra tiempo, anotándose en intervalos de tiempo determinados acordes al tipo de material que se esté ensayando. El gasto promedio que se obtenga de las lecturas en esta etapa se identificará como **Q₁** para efectos de cálculo posteriores. Una vez obtenido éste, se suspende el suministro de agua a la zanja, dando por terminada la primera etapa de la prueba.

11. La siguiente etapa consiste en ampliar la zanja en el sentido longitudinal al doble de su longitud inicial. Cabe aclarar que en caso de existir agua remanente en el fondo de ella, ésta deberá ser extraída antes de continuar con la excavación de esta etapa, observándose los mismos cuidados descritos para la primera fase detallados en el punto 3 de esta sección.
12. De manera similar, se repiten los pasos 4 y 5 para obtener un gasto denominado como Q_2 para efecto de cálculo.
13. La diferencia entre estos gastos (Q_1 y Q_2) es el gasto de absorción del terreno para la longitud complementaria de zanja; de esta manera se elimina el efecto de los extremos.
14. De acuerdo con las condiciones enunciadas se puede estimar el coeficiente de permeabilidad aplicando las siguientes fórmulas:

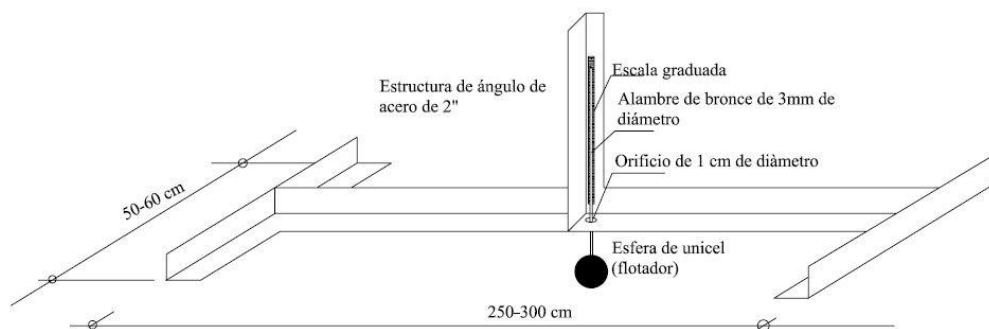
$$k = \frac{q}{\Delta L(B + 2h)} \quad \text{si } y < \frac{3}{2}(h + 2B)$$

$$k = \frac{q}{\Delta L(B - 2h)} \quad \text{si } y > \frac{3}{2}(h + 2B)$$

donde:

- ΔL : Longitud adicional excavada, en cm
- K : Coeficiente de permeabilidad, en cm/s
- q : Gasto de absorción, en cm^3/s ($Q_2 - Q_1$)
- h : Tirante de agua, en cm
- B : Ancho de la sección, en cm
- y : Profundidad del manto permeable, en cm

PRUEBA DE PERMEABILIDAD TIPO MATSUO-AKAI



ESTRUCTURA PARA CONTROL DE NIVELES

Figura 1 A-2 Estructura para control de Niveles de la prueba de permeabilidad Mtsuo Akai

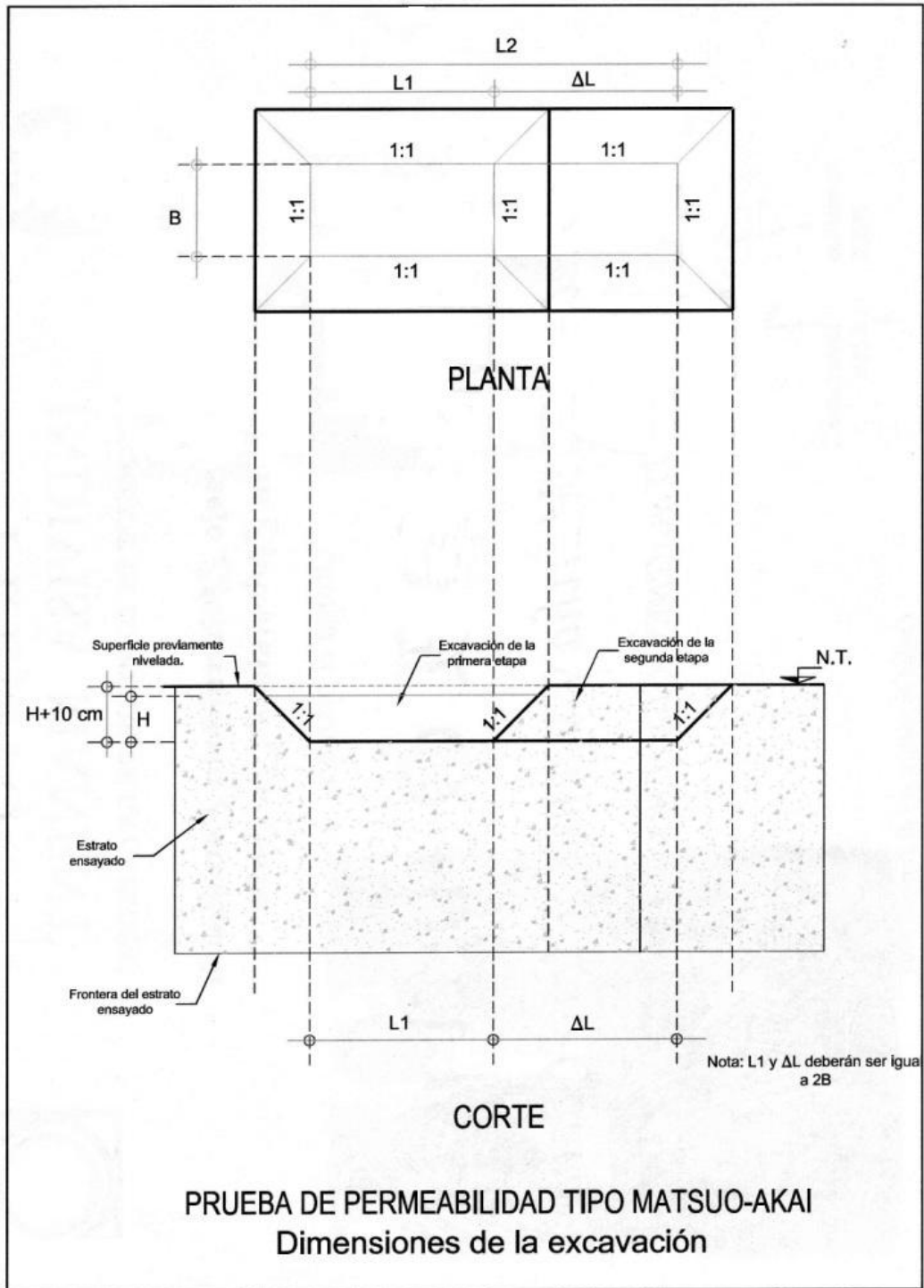


Figura 2 A-2 Esquema que muestra las dimensiones de la excavación en la prueba de permeabilidad Matsuo Akai.

Anexo 3 Control de calidad en la mezcla de inyección

La inyección en el macizo rocoso es un tratamiento que consiste en la introducción de una mezcla prefabricada en la roca a base de cemento, agua y aditivos, todo mediante un proceso que controla la presión y el volumen. La finalidad de este procedimiento es el de mejorar las condiciones del suelo para que éste tenga un bajo nivel de permeabilidad y para mejorar sus condiciones mecánicas, incrementando su resistencia y mejorando su modulo de deformabilidad.

La elaboración de la lechada se realiza en un turbomezclador de altas revoluciones que permita la homogenización de los diferentes elementos de la mezcla, pero algunos de los componentes utilizados se miden en el sitio, y es el personal que manipula estos equipos los encargados de medir las cantidades establecidas para la fabricación de la lechada. Es por ello que es necesario llevar un muestreo aleatorio en todos los frentes de trabajo, en donde CFE planteó que se obtuvieran muestras de lechada a cada 5 barrenos inyectados, tomándose preferentemente en la válvula de purga ubicada en el brocal del barreno, efectuando pruebas índice y de resistencia mecánica.

Las pruebas índice y de resistencia que se llevarán a cabo son las siguientes:

- Viscosidad con cono Marsh: mide el tiempo en segundos que tarda en escurrir 946 ml de lechada de un total de 1500 ml. El procedimiento para realizar la prueba consiste en humedecer el cono y el vaso, se tapa con un dedo el orificio de salida del cono, se pasa la mezcla a través de la malla del cono y se llene hasta llegar al nivel de aforo marcado en la parte inferior de la malla, correspondiente a 1500 ml. Posteriormente se deja caer libremente la mezcla a través del orificio mientras que se acciona simultáneamente el cronómetro hasta que en el vaso donde se está vertiendo la mezcla se llegue a la marca de los 946 ml. Una vez alcanzada la marca se detiene el tiempo y se obtiene directamente la viscosidad al cono Marsh.
- Densidad o Peso Volumétrico: se obtiene mediante el uso de la balanza de lodos, llenándose de mezcla la copa de la balanza con un volumen de 200 ml golpeándose ligeramente para eliminar las burbujas de aire y se cierra la tapa con un ligero movimiento rotacional. Se limpia el excedente de mezcla y se coloca en la base para que se equilibre y se pueda tomar su lectura.
- Decantación o sedimentación: se toma una muestra de 250 ml y se vacía en la probeta graduada, colocándola en una superficie lisa y nivelada registrando el tiempo de inicio de la prueba para que al paso de 2 horas, una vez que la mezcla se haya estabilizado, tomar la lectura correspondiente y calcular la decantación con la siguiente fórmula:

$$D = \frac{V_o - V_f}{V_o} \times 100$$

Donde: D = decantación o sedimentación, en %
Vf = volumen final de sólidos, en ml
Vo = volumen original, en ml

- Cohesión con placa: para la realización de esta prueba es necesario contar con una placa de acero inoxidable de 100 x 100 mm y un espesor de 15 mm, contando con una superficie rugosa para lo cual debe rayar la placa en ambas caras y sentidos a cada 5 mm. Se pesa la placa para obtener M1, se sumerge y saca la placa provista de un sujetador en un recipiente con mezcla, dejándose escurrir libremente la lechada hasta que deje de gotear, y se obtiene su peso M2. La cohesión de placa se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$CP = \frac{M2 - M1}{As}$$

Donde: CP = cohesión con placa, el valor obtenido estará dado en g/cm².
M1 = masa propia de la placa con el sujetador, en g.
M2 = masa de la placa con el sujetador cubierto con mezcla, en g.
As = área superficial de la placa en ambas caras, en cm².

- Coeficiente de filtrado y espesor de costra “cake”: en esta prueba se utilizará una celda de 200 ml preparada con un empaque y un papel filtro Whatman No. 41 donde se vaciará la mezcla para posteriormente colocarla en el marco sujetador, colocando un recipiente en la parte inferior para recibir la descarga del agua filtrada. Se ajusta el regulador de presión a 0.4 MPa (4.078 kg/cm²) y se abre la válvula del aire, accionando simultáneamente el cronómetro. La prueba tendrá una duración máxima de 30 minutos o hasta el momento en que comience a salir exclusivamente aire, deteniéndose el cronómetro. Una vez conociéndose el volumen filtrado, el tiempo de la prueba y el espesor de la costra “cake” (sólidos retenidos), se usa la siguiente fórmula para obtener el coeficiente de filtrado:

$$CF = \frac{Vf}{Vt} \times T^{-0.5}$$

Donde: CF = Coeficiente de filtrado
Vf = Volumen de agua filtrada, en ml
Vt = Volumen total inicial, en ml
T = Tiempo, en minutos

Una vez desarmado la celda de filtrado, se retira el “cake” y se mide su espesor en mm.

- Resistencia a la compresión simple: la prueba consiste en aplicar un esfuerzo máximo a una muestra cilíndrica con relación de esbeltez (H/D) de 2.5 a 3.0, aplicando incrementos de carga constante de 200 kg/min hasta llegar al punto de falla. Las probetas deben ensayarse a las edades de 7, 14 y 28 días.