

CAPÍTULO 7

PROPUESTA DE INSTRUMENTACIÓN

La instrumentación tiene por finalidad la observancia del comportamiento de la estructura para cuantificar desplazamientos horizontales, asentamientos, y variación de la presión intersticial en la masa de suelo . Debe orientarse fundamentalmente a la investigación de movimientos en la cortina y su variación, de la posición del nivel piezométrico y presiones de agua, y de la situación de las superficies de debilidad. Otros de sus objetivos son: prever cualquier situación que afecte la operación del depósito, con la idea de que ante cualquier signo de inestabilidad se ajuste el proyecto original. También nos permite verificar las hipótesis planteadas en la etapa de diseño.

Para diseñar un adecuado sistema de monitoreo que permita detectar cualquier comportamiento anómalo, es necesario saber dos cosas: la primera, qué vamos a medir; y la segunda, por cuánto tiempo y con qué frecuencia.

Las variables a medir pueden ser:

- Movimientos superficiales.
- Movimientos en el interior del terreno.
- Movimientos de apertura de grietas y entre diferentes puntos.
- Presiones intersticiales y sus variaciones.
- Aceleración a diferentes alturas de la cortina, entre otras.

El tiempo de observación y medida de la instrumentación depende de la velocidad del proceso a controlar, al menos debería de ser de un ciclo meteorológico anual o mayor, puesto que si los estudios se realizan en un periodo de sequías, las medidas, posiblemente no serán efectivas cuando cambien las condiciones y se den época de lluvia. Es importante planear una buena accesibilidad a los lugares en donde esté ubicada la instrumentación.

Es esencial que se lleven registros durante la construcción y operación del depósito, servirán como apoyo al monitoreo y suministran información sobre el comportamiento del mismo. En caso de una falla, estos resultados permitirán realizar una evaluación de los factores que contribuyeron a dicha falla.

Siempre deberá tenerse a la mano un juego completo de planos del sitio antes del almacenamiento y de los jales depositados según lo proyectado.

Deberán realizarse inspecciones visuales y prestar especial atención en lo siguiente:

- Presencia de fisuras paralelas o transversales a la cortina.
- Presencia de grietas en el propio talud.
- Presencia de grietas en el suelo al pie del talud o cualquier desplazamiento visible.
- Cualquier depresión visible de la corona del talud o expansión al pie del talud.
- La presencia visible de infiltración al pie del talud. Esto lo indicaría la humedad en la superficie, concentraciones locales de vegetación o erosión excesiva en la superficie del talud.
- La aparición de cualquiera de estas señales de advertencia puede indicar que el talud es inestable y que se requieren medidas correctivas.

Para el monitoreo de la estructura se propone la colocación de los siguientes elementos de instrumentación:

- Referencias superficiales.
- Piezómetros
- Inclínómetros de pozos.

7.1. REFERENCIAS SUPERFICIALES

Para medir los desplazamientos en superficie, existen tres métodos que a continuación se describen:

- Métodos geodésicos

Este tipo de métodos permite medir movimientos horizontales y verticales, obteniendo una precisión media del orden del centímetro. Se pueden utilizar tres sistemas:

- Triangulación: medida de ángulos desde dos o más bases fijas.
- Trilateración: medida de distancias desde tres o más bases fijas.
- Poligonación: medida de ángulos y distancias desde al menos tres bases fijas.

- Nivelación

Este método mide movimientos verticales, obteniendo precisiones de hasta un milímetro en itinerarios de 1 km. La medida de dichos movimientos se efectúa respecto a bases de referencia fija, y por el procedimiento de lectura y tratamiento de datos, es rápido y sencillo.

- Colimación

Con este método se miden movimientos horizontales perpendiculares a la línea al plano de colimación. La medida de movimientos horizontales de los puntos de control se realiza respecto a un plano vertical de colimación fijo.

En cualquiera de los tres sistemas es importante asegurar que las bases topográficas o de referencia sean fijas y estén situadas fuera de zona inestables.

Propuesta

Se recomienda para la instalación de las referencias superficiales, la realización de una excavación superficial donde quede alojado un muerto de concreto de 20 cm de diámetro y 40 cm de longitud, con una punta metálica de 100 cm de longitud, en la que se indique con un corte en cruz el punto preciso de medición. Este elemento se protegerá con un registro de tapa metálica.

Las referencias superficiales deberán ser colocadas sobre la cara “aguas abajo” sobre el eje que define el corte A-A’ y a la altura de cierre, a una distancia máxima entre cada referencia de 30 m en el sentido A-A’ y 40 m en el sentido ortogonal a éste.

Las lecturas en los puntos de referencia se realizarán mediante levantamientos topográficos de precisión. Para ello, se tomará como referencia un banco fijo alejado del sitio, totalmente ajeno a los movimientos que la cortina pueda desarrollar. Las coordenadas pueden ser tomadas mediante estación total.

7.2. PIEZÓMETROS

Antes de recomendar un piezómetro, me gustaría introducir al lector en el funcionamiento de éste.

Un piezómetro funciona de acuerdo con lo establecido por el Teorema de Bernouilli:

$$H = z + \frac{u}{\gamma_w} + \frac{v^2}{2g}$$

H	Carga hidráulica
z	Altura geométrica
u/γ_w	Altura de presión
$\frac{v^2}{2g}$	Altura de velocidad

Bernouilli demostró que la carga hidráulica total se mantiene constante para un fluido incompresible sujeto a flujo permanente y estacionario. Por lo tanto, entre dos puntos cualesquiera en un fluido en movimiento se mantiene la energía global dada por H. Un caso particular corresponde a situaciones donde el agua está en reposo y la carga total se mantiene ya que, aunque la viscosidad no sea nula, al no existir movimiento no tiene sentido pensar en obstáculos que se opongan a él y al ser nula la velocidad del fluido, el Teorema de Bernouilli queda expresado como:

$$h = z + \frac{u}{\gamma_w}$$

donde:

h Altura piezométrica

Por la ecuación de Bernouilli se sabe que $h_A = h_B$, la altura piezométrica de A resulta:

$$h_A = z_A + \frac{u_A}{\gamma_w} = z_A = h_B$$

$$h_B = z_B + \frac{u_B}{\gamma_w}$$

$$u_B = \gamma_w (z_A - z_B) = \gamma_w c$$

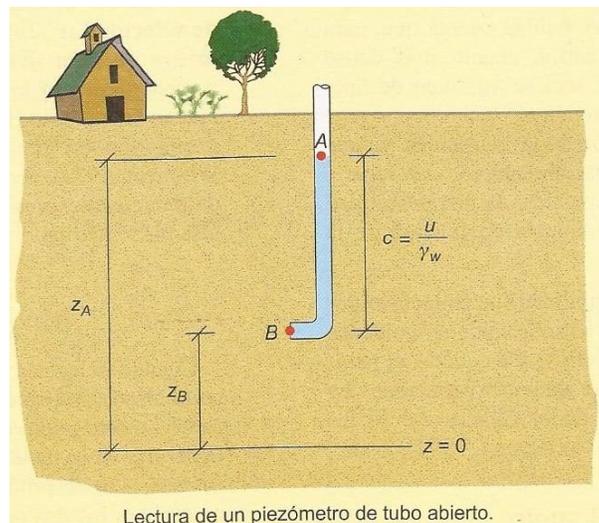


FIGURA 7.1. Piezómetro de tubo abierto

(González *et al.*, 2002)

Por lo que la altura del agua que mide un piezómetro de tubo abierto en cualquier punto del terreno es igual a la presión de agua en dicho punto dividida por el peso específico del agua.

Los piezómetros miden el nivel piezométrico, este se define en un punto como la altura que alcanza el agua, sobre una horizontal de referencia cuando se deja este a presión atmosférica.

Tipos piezómetros

– Tubería piezométrica ranurada

Consiste en la instalación de una tubería de PVC, ranurada y abierta en sus dos extremos, colocada a lo largo de todo el sondeo. En el interior de la tubería se mide la altura que alcanza el agua, generalmente varias horas después de la perforación y a lo largo de días o periodos más largos.

La altura medida representa la profundidad del nivel freático, que corresponderá a la altura piezométrica sólo si el terreno atravesado es un acuífero libre, en régimen estacionario, de alta permeabilidad, homogéneo e isótropo (González *et al.*, 2002).

– Piezómetro abierto

Consiste en aislar un tramo de sondeo, mediante tapones bentoníticos, e instalar una tubería ranurada, exclusivamente en el citado tramo y abierta en su extremo superior, midiendo la altura del agua correspondiente a dicho tramo o altura piezométrica del mismo (González *et al.*, 2002).

– Piezómetro cerrado

Consiste en instalar un transductor en un punto previamente aislado de un sondeo, registrándose la presión intersticial en dicho punto que se transmite a una unidad de lectura situada en el exterior del sondeo.

El transductor puede ser neumático, de resistencia eléctrica o de cuerda vibrante. Los neumáticos, situados entre el sensor y la unidad de lectura, están indicados para distancias menores de 200 m, siempre que no se requiera automatizar el proceso de medida. Los transductores de resistencia eléctrica pierden precisión con las variaciones de temperatura. Los de cuerda vibrante permiten transmitir la señal a distancias de más de 1000 metros sin pérdida de precisión.

Este tipo de piezómetros se utiliza en terrenos poco permeables, debido a que su tiempo de respuesta es corto. Permite, además, la lectura de las presiones intersticiales en varios niveles dentro del mismo sondeo. Tiene la ventaja de quedar menos afectados por los posibles movimientos del terreno. Sin embargo, suponen un mayor costo que los piezómetros abiertos (González *et al.*, 2002).

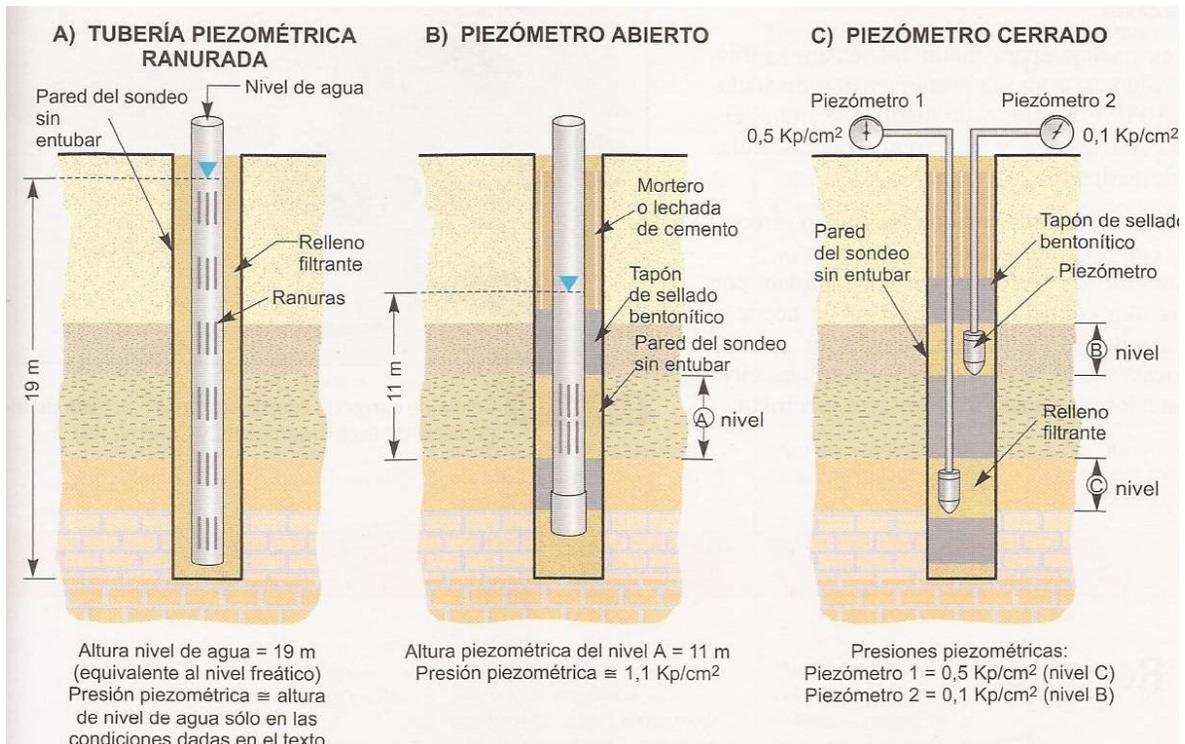


FIGURA 7.2. Tipos de piezómetros
 (González *et al.*, 2002).

Propuesta

La empresa cuenta con tres piezómetros de cuerda vibrante instalados en el depósito de jales, se recomienda que lleven un registro que contenga una presentación gráfica de las lecturas en secciones a escala al depósito.

Llevar un control permanente de los piezómetros que se tienen instalados y de la presión en los puntos de medición del túnel y elaborar un modelo de comportamiento del agua alojada en la masa de suelo.

7.3. INCLINÓMETROS

Los inclinómetros constituyen uno de los principales métodos de investigación de deslizamiento y, en general de control de movimientos transversales a un sondeo. Consisten en la medida de inclinaciones en diversos puntos del interior de un sondeo mediante una sonda que transmite una señal eléctrica proporcional a la inclinación. Las diferencias entre las medidas realizadas en diversos puntos y los tiempos en que se toman las medidas, permiten conocer y cuantificar los movimientos transversales al sondeo. En la siguiente figura se muestra un ejemplo de las lecturas tomadas por un inclinómetro, en las que se detectan dos superficies de rotura situadas a 8 y a 18 m de profundidad (González *et al.*, 2002).

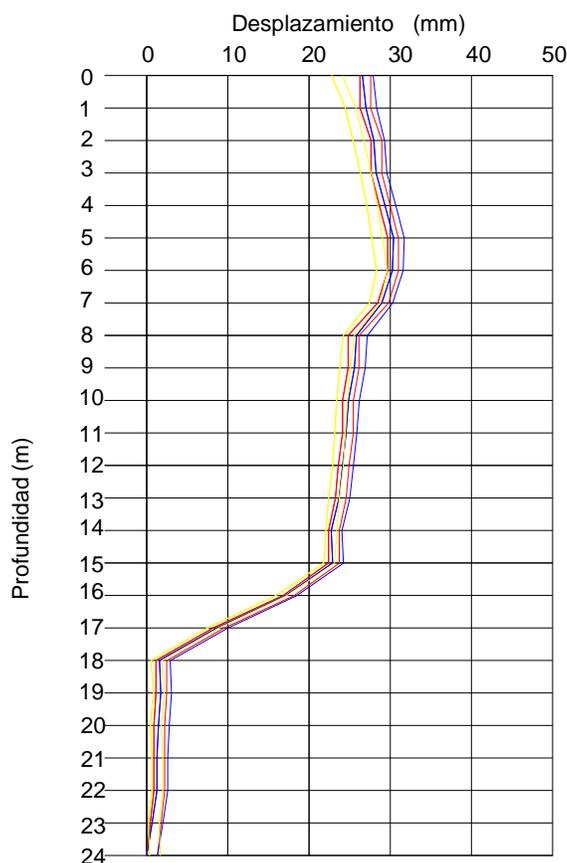


FIGURA 7.3. Perfil de lecturas inclinométricas
(González *et al.*, 2002).

Los inclinómetros pueden ser de resistencia eléctrica, de cuerda vibrante y servoacelerómetros. Es importante asegurarse que la tubería del inclinómetro se situó por debajo de la zona de posible movimiento.

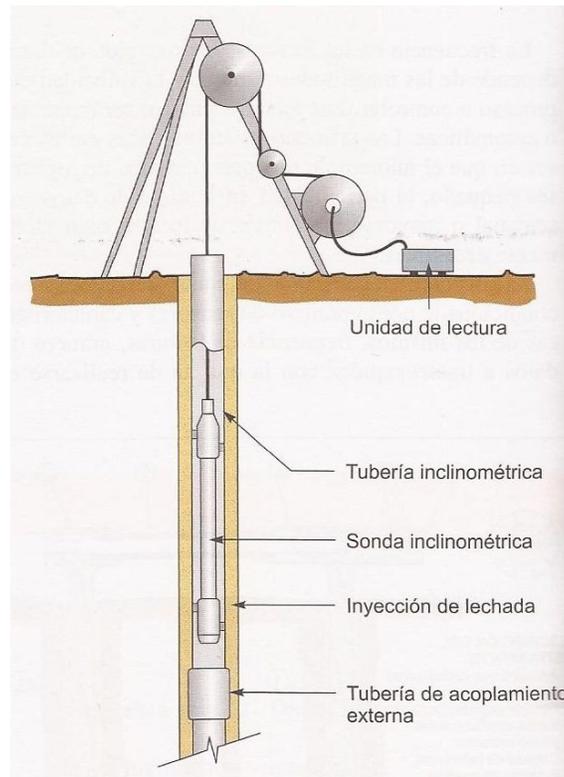


FIGURA 7.3. Instalación de sonda inclinométrica
(González *et al.*, 2002)

Propuesta

Instalar un inclinómetro de cuerda vibrante al centro la berma actual (cota 1839) que al menos supere en profundidad (cota 1807) el plano de transición entre los jales consolidados y los jales nuevos.

Llevar un registro de las lecturas en una bitácora de control.