



200
42

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

" INSTRUMENTACION DE CIMENTACIONES DE
EDIFICIOS Y PUENTES "

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A N:

Luis Cuenca Vázquez

Luis Alarcón E. Islas



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AL Pasante señor LUIS CUENCA VAZQUEZ
P r e s e n t e .

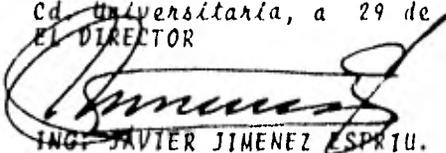
En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. José Springall Caram, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.

"INSTRUMENTACION DE CIMENTACIONES DE EDIFICIOS Y PUENTES"

1. Introducción
2. Investigación del subsuelo
3. Alcance de las mediciones
4. Instrumentos
5. Procesamiento de datos

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente,
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, a 29 de septiembre de 1981
EL DIRECTOR


ING. XAVIER JIMENEZ ESPRIU.

JJE/0611/81ho.

FACULTAD DE INGENIERIA
EXAMENES PROFESIONALES
60-J-256 T.E.

Al Pasante señor LUIS ALARCON E. ISLAS
P r e s e n t e .

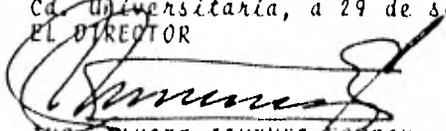
En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. José Springall Caram, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.

"INSTRUMENTACION DE CIMENTACIONES DE EDIFICIOS Y PUENTES"

1. Introducción
2. Investigación del subsuelo
3. Alcance de las mediciones
4. Instrumentos
5. Procesamiento de datos.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente,
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, a 29 de septiembre de 1981
EL DIRECTOR


ING. JAVIER JIMENEZ ESPRIU.

JJE/OBCH/sho.

I.- I N T R O D U C C I O N

Este trabajo se refiere al comportamiento de las masas del suelo en la vecindad de las estructuras de Ingeniería.

Los suelos pueden dividirse en dos grandes grupos de acuerdo con su origen:

- a) Suelos formados en el lugar por la disgregación de la roca madre y
- b) Suelos transportados y que fueron depositados por la acción de fenómenos como el viento, el agua y el hielo.

Estos dos grupos cubren un amplio rango de características físicas y químicas ya que los materiales que forman el manto base (del que provienen todos los suelos) tienen características que dependen de su origen.

Los procesos geológicos transforman a las masas de roca y suelo en terrenos con las mas diversas topografías y también determinan el comportamiento futuro del suelo, bajo la acción de las cargas.

Debido a que las capas que forman el manto tienen diferentes características de esfuerzo y deformación, es difícil determinar su comportamiento.

La erosión de los depósitos superiores provoca que el suelo se expanda en las capas interiores provocando grandes esfuerzos laterales que se confinan ya que el suelo no está descargado en el sentido horizontal. Estos depósitos se conocen como suelos sobreconsolidados.

En las arcillas sujetas a sobreconsolidación, se produce un sistema de grietas cerca de la superficie principalmente, que determina en gran parte el comportamiento de toda la masa de arcilla.

La alteración en la composición química en los poros también puede tener -

consecuencias importantes como es el caso de arcilas en que puede hacer variar su sensibilidad de alterarse y deformarse así, mientras estas arcilas son estables en su estado inalterado, son muy inestables ante cualquier cambio de las cargas externas por pequeño que sea, teniéndose como resultado consecuencias catastróficas.

De esta manera se ha visto la influencia de los factores geológicos en las masas de suelo.

Será muy importante para el proyecto de una obra el tener la mayor información geológica posible del sitio y completarse con estadísticas de pozos y minas, levantamientos topográficos e historia de algunas construcciones en la región. Toda esta información depende de la actividad constructiva en el área.

La información adicional se obtendrá haciendo una inspección del sitio, pozos de prueba, perforaciones muestreadoras, etc.

La naturaleza de los estudios en el sitio dependerá de la magnitud de la estructura y desde luego de las condiciones generales del suelo. El objeto principal de estos estudios será determinar la naturaleza del suelo y obtener datos cuantitativos del comportamiento esperado.

De este breve repaso del comportamiento del suelo y de la influencia geológica se puede establecer la diferencia entre la mecánica de suelos y otras ramas de la ingeniería. Esta diferencia no estriba en la mecánica empleada sino en el comportamiento físico de un material que se encuentra en su estado natural como es el suelo comparado con otros materiales cuyas propiedades pueden controlarse dentro de límites muy pequeños durante su proceso de fabricación como en el caso del acero.

Es por todo esto que cada vez más la ingeniería recurra al campo de la instrumentación que permita observar el desempeño de una cimentación y así poder evaluar los diseños.

2.- INVESTIGACION DEL SUBSUELO

2.1 Exploración de Campo

Es importante hacer un estudio de las condiciones del suelo y del agua freática antes del diseño y construcción de las estructuras. El principal propósito, será determinar la conveniencia y las características del lugar ya que afectan directamente al diseño y a la construcción así como a la seguridad de las estructuras vecinas.

La información adecuada y confiable se obtiene normalmente con los siguientes métodos generales:

- a) Por medio de aparatos sensores aéreos, interpretación aerofotográfica y métodos geofísicos.
- b) La interpretación de pruebas mecánicas y físicas de muestras ligeramente alteradas, y.
- c) La recuperación de muestras inalteradas.

Los métodos de levantamientos por medio de fotografías aéreas y los métodos geofísicos se utilizan ampliamente en la ingeniería, sin embargo, aún carecen de la precisión que se tiene con los sondeos, aunque sí se tiene con ellos la ventaja de la rapidez y bajos costos para una exploración preliminar. El levantamiento con aparatos sensores aéreos aún se encuentra en estado de desarrollo y no es de uso general en la Ingeniería Civil.

La recuperación de muestras alteradas cubre la mayor parte de la investigación en el sitio. Estas muestras se obtienen para la arcilla por hincado o rotación de un tubo abierto desde la parte inferior de la perforación. Las muestras se sellan cuidadosamente para evitar la pérdida de humedad y se envían al laboratorio para almacenarse si es necesario, a temperatura y humedad constante o bien para hacer los ensayos de inmediato.

Se sabe que las muestras así obtenidas están sujetas a alteraciones en sus propiedades mecánicas debido a que la perforación destruye la estructura, al empaque y al transporte al laboratorio. Estas alteraciones varían de acuerdo con las condiciones del suelo, la habilidad del personal, con el equipo utilizado y con el grado de estratificación.

La recuperación de muestras inalteradas resulta muy costosa y difícil de programar. En arcillas blandas que son muy sensibles se usa un émbolo acoplado a un muestreador de diámetro mayor. Para obtener muestras de arcilla dura, de gran tamaño se hace un pozo a cielo abierto de donde se sacan bloques de suelo de las paredes y del fondo.

En arenas y gravas es imposible recuperar muestras con los métodos comunes y de estos materiales se necesita conocer la permeabilidad, contenido de agua, densidad, compresibilidad y ángulo de fricción interna.

Las pruebas en el sitio se usan cada vez más como es la de la veleta para determinar la resistencia de arcillas blandas y sensibles, las pruebas dinámicas utilizadas en gravas y arenas.

Existen también varios métodos para las pruebas de permeabilidad en el sitio para la mayoría de las condiciones del terreno.

Para medir el esfuerzo y deformación, existe inclinación por los métodos estáticos. El aparato cónico Holandés se emplea para valuar la calidad de las arenas y su variabilidad y por métodos semiteóricos se interpretan los datos de este aparato que se traducen en valores que corresponden a la resistencia y compresibilidad que se usan en el diseño. Para arcillas y rocas no muy duras se utili-

za en el campo equipo que sirve para trabajos pequeños en el laboratorio, como es el caso del aparato "caja de esfuerzo cortante" que es cuadrado de 60 cm - de lado y es muy común usarlo en lugares grandes donde se necesita conocer la - resistencia de arcillas fisuradas.

Actualmente también es muy empleado en el campo el método de placa de prueba, ya sea en la base de las excavaciones o pozos, en las paredes de trincheras.

Llevar estas pruebas a esta escala y a este grado de sofisticación es muy cos toso por lo que se llevan al cabo en combinación con otro tipo de pruebas y un muestreo en segunda escala.

Durante los estudios de campo, también se toman muestras y se hacen medicio-- nes del agua freática. Las muestras permiten cuantificar los sulfatos solu-- bles, cloruros y el grado de acidez o alcalinidad que se presentan.

La determinación de aguas freáticas requiere de un aparato sensible llamado piezómetro y cuyo propósito es determinar con exactitud la posición del nivel de aguas a diferentes profundidades.

Las pruebas a gran escala ya están formando parte del proceso de la investiga-- ción en el sitio y así es ya común hacer pruebas de carga para pilas y pilo-- tes, taludes de prueba, pruebas de compactación para la selección de materia-- les, pruebas de secado y pruebas de deformación en gran escala como es la que se hace con el "tanque de agua" como carga.

Con todos estos métodos y tipos de prueba, sólo es necesario una mínima super-- visión.

Se deberá estar conciente de que todas las investigaciones en el lugar tienen limitaciones debido a que sólo una pequeña parte de la masa del suelo se muestra para describirse cuantitativamente, por lo tanto, es usual, que las recomendaciones de diseño vayan acompañadas de expresiones como "errores y omisiones" o de "errores en las suposiciones". Por esta razón es importante que todas las consideraciones generales dadas en el reporte del diseño, se expongan de tal manera que el ingeniero sólo obtiene una idea parcial de las condiciones del terreno. Así se puede ver que el proceso de diseño está muy lejos de ser perfecto debido a que los materiales no pueden describirse con un alto grado de precisión.

2.2 Filosofía de los análisis y comportamiento esperado en Mecánica de Suelos

Todos los suelos tienen diferentes partículas, pero algunas son tan pequeñas que sólo se pueden observar al través del microscopio. Las partículas no tienen una forma regular y así se pueden encontrar desde la forma redonda hasta la angulosa en gravas y arenas, y en forma laminar en las arcillas y acicular cuando éstas contienen minerales.

Debido a que las partículas no están adheridas firmemente, tienen libertad de desplazarse unas con respecto a otras y así el comportamiento del suelo está regido por las leyes que corresponden a una estructura de partículas. Debemos observar que ésta es otra diferencia entre la mecánica de suelos y la mecánica de fluidos.

Cuando una masa de suelo se somete a una carga, ésta se transmite al través del suelo a los puntos de contacto de las partículas adyacentes por lo que se produce una deformación pequeña en ellas.

La suma vectorial de la carga individual cambia en los puntos de contacto igualándose con el cambio de la carga externa aplicada, mientras que el movimiento de la masa del suelo es la suma vectorial de los desplazamientos individuales de las partículas. Estas deformaciones son del tipo elástico o plástico.

La deformación plástica ocurre cuando la fuerza cortante entre partículas adyacentes es igual a la resistencia al corte.

Cuando las partículas deslizan una con respecto a otra, tienen lugar un reacomodo de las partículas en el momento en que el deslizamiento en el punto de contacto provoca una deformación irreversible.

Se deduce así, que el comportamiento carga - deformación de los suelos no es lineal aún en niveles de carga muy pequeños. Desde un punto de vista fundamental, el sistema de la fuerza en los puntos de contacto de cada partícula controla el comportamiento pero es imposible hacer una relación carga - deformación para un suelo que tiene un gran número de puntos de contacto.

El estudio del suelo, por lo tanto, recae en la medida de constantes paramétricas de un elemento del suelo (muestra) que tiene un gran número de partículas.

Los espacios individuales de los suelos naturales están llenos de aire, agua o de ambos, por lo tanto, los suelos comprenden dos fases, una mineral y otra de poro. Estas fases tienen una interacción química y física ya que el agua, el aire o ambos pueden circular al través del suelo y alterar las fuerzas en los puntos de contacto entre partículas. Además, cuando se aplica una carga a una masa del suelo, parte es tomada por la estructura mineral y parte por el líquido.

que se encuentra dentro del poro. La carga se reparte en las dos fases de acuerdo con su rigidez. Toda la carga aplicada es resistida por un incremento en la presión del poro en su suelo totalmente saturado, debido a que el agua es prácticamente incompresible. Sin embargo, el agua puede fluir lentamente al través de los poros, y la carga es transmitida lentamente a las partículas del suelo con el tiempo dependiendo ésta del tamaño de los poros. Este proceso se conoce como consolidación.

Puesto que el agua escapa de los poros, el suelo se comprime una cantidad que depende de la diferencia entre el esfuerzo aplicado y el esfuerzo en el agua de los poros. Esta diferencia es conocida como presión efectiva.

En la práctica se ensayan normalmente elementos representativos del suelo que van a soportar las cargas de cimentación y utilizando las Teorías de Mecánica de Suelos, se comprobará la estabilidad y se determinarán las deformaciones por medio de hipótesis muy simplificadas que se discutirán en la sección 1.4.

Los resultados de los ensayos para determinar el comportamiento esfuerzo-deformación de un elemento de suelo serán de gran importancia para el análisis. En seguida se hará un breve repaso de las pruebas comunes.

La prueba de compresión unidimensional provoca esfuerzos a lo largo del eje vertical en una muestra de suelo, mientras que en el sentido horizontal está impedida la deformación por lo que la deformación axial es igual a la deformación volumétrica.

Para encontrar la resistencia última se utiliza mucho la prueba triaxial, aunque tiene limitaciones (Roscoe 1970).

Esta prueba proporciona una gráfica esfuerzo-deformación, cuya tangente nos da la medida del módulo de deformación del suelo.

Muchas otras pruebas del laboratorio se usan para definir y clasificar el suelo.

Es muy complejo el comportamiento del suelo sometido a carga, por lo que se utilizan equipos de prueba muy complicados, métodos de preparación de muestras y teoría de análisis.

2.3 Cimentaciones

Las cimentaciones se tratan de localizar cerca de la superficie del terreno en cualquier tipo de suelo por razones de economía.

El diseño se hará para que una cimentación se comporte satisfactoriamente bajo la acción de cargas durante la vida útil de la estructura, por lo que se dispone de muchos tipos de cimentación, según la resistencia del terreno.

La elección de la mejor cimentación entre un número de posibles soluciones, también depende del costo.

Por todo lo anterior, se ha visto que todos los problemas del suelo son muy complicados por lo que Mecánica de Suelos es incapaz de determinar con precisión el comportamiento del suelo como se vió en 1.3, además recordemos que éste tiene muchas características de las cuales sólo se puede comprender una parte y no se puede cuantificar con exactitud. Tales como:

- 1.- El comportamiento carga-deformación no es lineal en el suelo natural.
- 2.- El comportamiento es sensible al esfuerzo, tiempo y ambiente.
- 3.- El suelo natural varía tanto en el plano como en elevación y sólo una muy pequeña parte del suelo es estudiada en cada obra, por lo que, para describirlo se hace con ayuda de pequeñas muestras que se obtienen en áreas aisladas.
- 4.- Todos los suelos son sensibles a sufrir alteraciones durante el proceso de obtención de muestras, y así los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio pueden diferir de las que se obtienen en el sitio. También se pueden producir errores adicionales con los métodos de ensaye debido a los aparatos utilizados y a la forma de preparar la prueba.

Debido a la naturaleza y a la diversidad de masas de suelo y también a que se presentarn muchos factores desconocidos en el modelo teórico que utilizan los principios de Mecánica de Suelos, no se puede representar el problema real con el grado necesario de exactitud. Peck propone el siguiente método:

- 1.- Llevar a cabo una exploración suficiente como para establecer por lo menos la naturaleza general la formación y propiedades, aunque no necesariamente en detalle.
- 2.- Determinar los probables condiciones del lugar con sus determinación la geología juega un papel importante.
- 3.- Establecer un diseño basado en hipótesis de trabajo del comportamiento esperado bajo las condiciones más probables.
- 4.- Escoger que propiedades se van a observar durante la construcción y calcular valores preliminares en base a las hipótesis de trabajo.
- 5.- Calcular los valores de las mismas propiedades para las condiciones más desfavorables de acuerdo con los datos disponibles de las condiciones del subsuelo.
- 6.- Modifíquese el diseño para cualquier diferencia que se encuentre en las mediciones con respecto a lo supuesto en las hipótesis de trabajo.
- 7.- Mídense las propiedades que se van a observar y valúense las condiciones reales.

8.- Modifffquese el diseño para ajustarse a las condiciones reales.

Se puede apreciar que se requiere de experiencia e intuición para interpretar la información complicada del suelo, de la elección de parámetros adecuados y para modificar las soluciones.

3.- ALCANCE DE LAS MEDICIONES

En vista de la complejidad del comportamiento de los suelos y en algunas ocasiones por la escasez de datos por razones de tiempo y dinero se trabaja con algún grado de incertidumbre, se concluye la importancia de observar los aspectos fundamentales de las obras durante la construcción y a lo largo de su vida útil.

Con estas observaciones, además de tener la forma real del comportamiento de una estructura, se dispondrá de la información suficiente para verificar las teorías y estudios que se hayan aplicado al proyecto, además de ir formando una experiencia que contribuya a tener mejores concepciones teóricas del comportamiento del suelo y métodos constructivos más adecuados para aplicarse en obras futuras.

La medición y observación durante la etapa constructiva de la cimentación también tendrá como objeto evitar accidentes como en el caso de excavaciones donde exista la posibilidad de que la subpresión, o las presiones de filtración pudieran ser la causa de un colapso, por lo que será fundamental, observar las condiciones hidráulicas en este caso. También durante esta etapa la información recabada con las mediciones podrán tenerse datos más exactos que puedan conducir a un procedimiento constructivo más económico como por ejemplo, en el diseño de puntales en excavaciones basado en una distribución real de los esfuerzos en el terreno.

Un aspecto importante será la planeación del programa de mediciones que incluya los aspectos a medir, el número y localización de observaciones y los instrumentos adecuados a usar en cada problema pues deberá evitarse caer en casos de difícil interpretación de la información, de un número redundante de

mediciones o en instrumentos inútiles, ya que todo ésto conduciría a una lamentable pérdida de tiempo y de dinero. Este programa deberá establecerse en base a la magnitud y veracidad de la información del comportamiento del suelo, de los métodos empleados en la construcción de la cimentación, así como de la importancia y tamaño del proyecto. También será determinante tomar en consideración las obras colindantes existentes.

En las mediciones de campo cada vez se dispone de un mayor número de instrumentos contruidos para este propósito. El uso de todo este equipo ha hecho que a la técnica de observación se le conozca como "Instrumentación".

La información recopilada deberá ser expuesta en forma fácil y accesible de manera que los procesos físicos puedan interpretarse correctamente, a fin de tener una idea exacta e inmediata del proceso del comportamiento de los elementos observados.

4.- INSTRUMENTOS

INTRODUCCION

La instrumentación en la práctica de hacer observaciones en el terreno ha aumentado últimamente en forma rápida, tanto entre las organizaciones públicas como entre los contratistas, con efectos muy beneficiosos para el proyecto y la construcción. En el estado actual de la técnica, un programa adecuado de observaciones del terreno reduce generalmente el riesgo de accidentes por sorpresa a una pequeña fracción del riesgo que se tenía antiguamente. Este hecho no dejará de tener una influencia decisiva en las actuaciones legales que sirgiesen como consecuencia de accidentes producidos durante la construcción de túneles, excavaciones a cielo abierto, presas y fundaciones.

Desde el punto de vista técnico, las observaciones en el terreno se pueden dividir en cuatro grupos principales: medición de desplazamientos, de la presión de agua contenida en los poros, de la carga que soportan puntales, y medición del empuje unitario o de la presión que ejercen las tierras por medio de células de presión.

Para preparar un programa satisfactorio para cualquier tipo de observación, el proyectista debe tener una clara concepción del propósito que persigue y además ser capaz de predecir y anticipar los resultados de una manera más o menos general. Caso contrario, es probable que indique observaciones en puntos donde no se necesitan y no las especifica.

La instalación de puntos de referencia y pozos de observación puede ser hecha por cualquier ingeniero o contratista competente sobre la base de especificaciones detalladas, y su lectura es una cuestión de rutina.

La medición de las cargas que soportan los puntales requiere capacidad para adoptar los procedimientos generales a las condiciones locales, razón por la cual - tal tipo de mediciones debe ser hecha por un ingeniero bien entrenado en ensayos a escala natural.

La instalación de dispositivos para medir la presión del agua contenida en los poros de arcilla y la de células de presión para medir el empuje unitario requiere un conocimiento íntimo de todos los factores que pueden llegar a influir sobre el funcionamiento de los dispositivos de medición. Un descuido simple o un pequeño defecto en la instalación puede arruinar todo el trabajo. Por ello, la instalación de tal tipo de dispositivos no se puede manejar como una cuestión de rutina. Requiere la supervisión continua y cuidadosa de un ingeniero competente con un conocimiento profundo de los procesos físicos involucrados y de todas las particularidades de los instrumentos que se utilizan.

4.1 Deformaciones verticales.

Los desplazamientos verticales van asociados con el asentamiento o levantamiento de estructuras, y las observaciones para determinar la magnitud del movimiento - experimentado que puede estar o no combinados con mediciones que sirvan para localizar el asentamiento o levantamiento.

El propósito de observar asentamientos es el de prever información respecto a su magnitud, velocidad y distribución. El asentamiento de la base de una estructura y de puntos adecuadamente seleccionados situados por debajo de la cota, que sirven para el caso. Pueden ser durante un tiempo corto asentamientos durante la excavación y a largo plazo comparando el asentamiento de un edificio bajo su peso con el asentamiento previsto en base a la teoría y a ensayos de suelo.

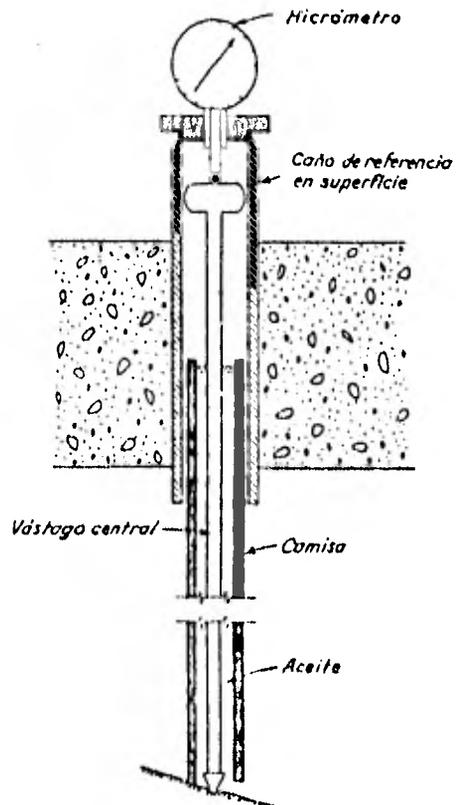


Fig. 66.1. Punto fijo profundo y referencia superficial adecuados para nivelaciones de precisión de larga duración.

La figura anterior muestra un punto fijo de referencia superficial adecuado para nivelaciones de precisión de larga duración.

Como la camisa exterior puede ser comprimida por las fuerzas provocadas por la fricción negativa debida al asentamiento del suelo, el punto fijo esta constituido por la parte superior de una barra interior que no está influida por las deformaciones de la camisa.

Los puntos de medición deben ser accesibles al observador y bien protegidos contra cualquier daño.

Si el período es corto o largo debe de haber puntos de observación para permitir el dibujo de curvas suficientes correctas de iguales asentamientos.

Nivel Común y Nivel de Agua.- El nivel común para observar puntos de medición en la parte exterior de la estructura, la exactitud no supera en general a unos 3 mm.

En lugares exteriores utilizando el nivel del agua el error es aproximadamente de 0.005 cm y consiste en dos tubos de vidrio unidos entre si, por una manguera de goma, llenos de agua y en cada tubo de vidrio la posición del nivel de agua se mide con un micrómetro de tornillo. (fig. c y b).

Con el objeto de eliminar errores sistemáticos y proveer un control de las lecturas individuales es conveniente intercambiar los tubos de vidrio. Debe tener cuidado de que toda la manguera esté al sol o en la sombra, también la diferencia en la presión atmosférica producen errores significativos.

Eliminando los micrométricos a tornillos y leyendo el nivel del agua con una escala graduada adosada al tubo de vidrio, puede leerse con aproximación de 1 mm.

Los puntos de observación ilustrados por la figura (d) satisfacen requerimientos de ser accesible y permanente. Consiste en un pequeño trozo de caño embebido to talmente en la pared, cuyo extremo se cubre con un tapón de cobre al ras con la superficie de la misma.

Para hacer observaciones de asentamientos se retira el tapón y se reemplaza temporalmente con una extensión cilíndrica (fig. c).

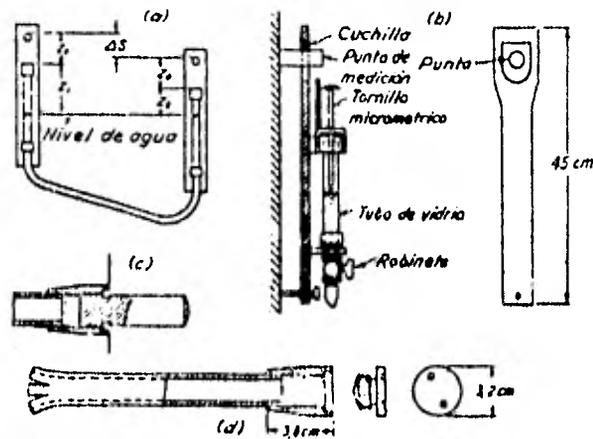


Fig. 66.2. (a) Diagrama esquemático de un nivel de agua; (b) detalle de los tubos de vidrio y del tornillo micrométrico utilizados para medir; (c) punto de observación; (d) detalle de la tapa de protección utilizada antes de empuzar el cable en su lugar (según Terzaghi, 1938a).

b) Bancos de nivel profundo (a diferentes profundidades). Cuando lo que se desea es determinar la fuente de asentamientos o la distribución de la compresión del suelo a lo largo de líneas verticales, resulta necesario ubicar puntos de observación subterráneos a varias profundidades, para establecer un punto de observación subterráneo, se practica una perforación hasta la profundidad necesaria, la que se encamisa con un caño de 2 1/2". Se llena la parte inferior a una altura de unos 0.50 a 1.0 m con concreto y se hace descender un caño de 1" que se introduce dentro del concreto mientras éste está fresco. La parte del caño que queda por encima del concreto debe estar bien engrasado. Se retira entonces la camisa hasta que su fondo se sitúe unos 50 cm por encima del concreto con lo cual el extremo superior del caño de 1" sirve de punto de medición.

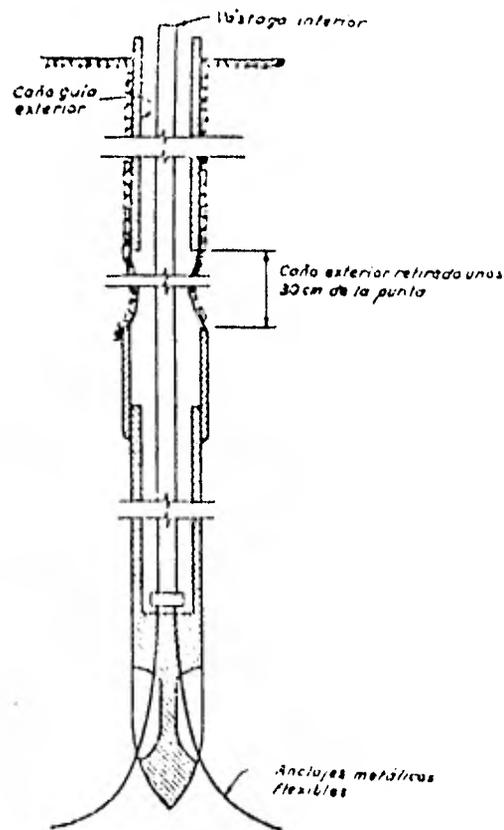


Fig. 66.3. Punto de observación Morris (según Hjerrum et al., 1965).

La camisa debe ser cubierta con una tapa adecuada para proteger la parte superior del caño 1", un tipo conveniente de punto de medición subterránea lo constituye el dispositivo llamado "BORROS", que se caracteriza porque la barra interior se prolonga en su parte inferior en tres anclajes flexibles que pueden forzarse dentro del terreno para formar un soporte que impida el movimiento entre el fondo del punto de medición y el suelo circundante (ver figura anterior).

Asentímetros de Placa.- En muchos casos es necesario determinar el asentamiento de la base de un terraplen debido a la compresión del suelo inferior, sabiendo que la compresión del propio terraplen es insignificante. Bajo estas circunstancias, se instalan comunmente asentímetros de placa sobre la superficie del terreno natural antes de iniciar la construcción del terraplen. El tamaño de la placa depende de la compresibilidad y uniformidad de los materiales superficiales, situados debajo del terraplen. La placa va provista de una pestaña a la cual se une un trozo de caño usualmente de 1.50 m de longitud, a medida que se levanta el terraplen se agregan trozos adicionales de caño, determinando antes de cada prolongación el nivel del último trozo instalado e inmediatamente después la elevación de la parte superior del nuevo agregado, de esta manera se obtiene el asentamiento producido por el incremento del peso del terraplen.

Como la elevación del caño sobre el nivel de trabajo interfiere con las operaciones de terraplenado y compactación, alrededor de cada asentímetro, el terraplen debe colocarse y compactarse a mano.

La exactitud de los resultados que se obtienen con este tipo de medición es del orden de 1 cm.

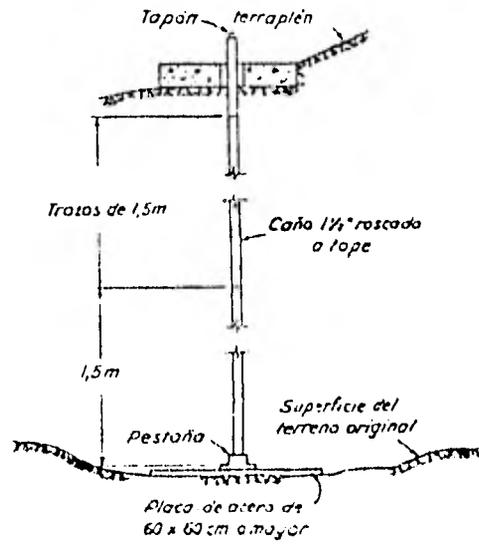


Fig. 66.4. Asentímetro de placa para determinar el asentamiento de la base de un terraplén.

Dispositivo desarrollado por U.S. BUREAU.- Cuando se trata de la construcción de presas de tierra y otros terraplenes de gran altura, el asentamiento producido por compresión del propio terraplén puede ser tan importante como el originado por la fundación, la instalación de un conjunto de placas para medir el asentamiento a distintos niveles produciría la información requerida pero interferiría mucho con la colocación del terraplén, por ello, se han desarrollado asentímetros múltiples que permiten la observación a distintos niveles, utilizando una única instalación. El dispositivo desarrollado por U.S. BUREAU OF RECLAMATION, consiste en una serie de caños dentro de los cuales, a intervalos de 1.50 ó 3 m, se insertan otros que llevan brazos en cruz que cumple la función de las placas de asentamiento. La posición de los caños menores deslizantes, y por lo tanto el nivel de los brazos en cruz, se determinan y miden por medio de un torpedo que contiene un conjunto de trinquetes que se engranan en la parte inferior del tubo deslizante.

El dispositivo se ha usado exitosamente en muchos grandes diques.

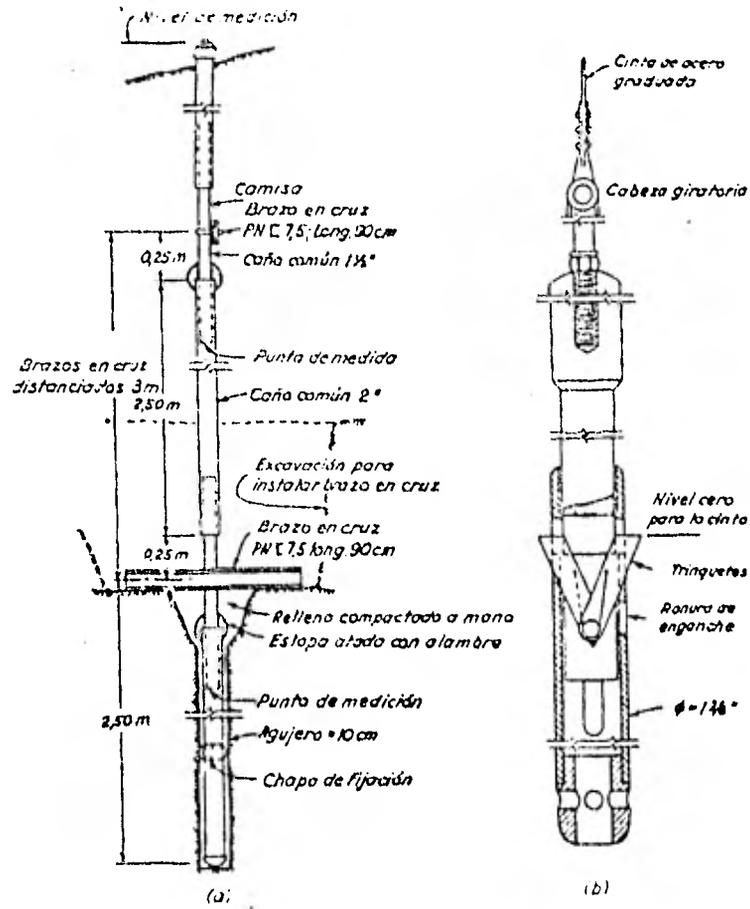


Fig. 66.5. Dispositivo desarrollado por el U.S. Bureau of Reclamation para medir asentamientos dentro de un dique. (a) Disposición de los brazos en cruz; (b) torpeda para medir (según U.S.B.R., 1963).

Nivel del Agua para medir el asentamiento de un punto en el interior de una Presa.-

Los asentamientos que se producen en el interior de un terraplen también pueden medirse utilizando un dispositivo de nivel de agua (MALLET Y PACQUANT). Este aparato elimina la necesidad de instalar caños de elevación en el terraplen que interfiere con las operaciones de construcción. Aún cuando el principio de este dispositivo es simple, se requiere una atención meticulosa respecto a los detalles, si se desean obtenerse resultados satisfactorios. La presencia de burbujas de agua en las líneas conduce a errores intolerables, que deben evitarse haciendo circular agua a través de las cañerías antes de efectuar una observación. La cámara de desborde situada en correspondencia con la célula de observación debe ser purgada a presión atmosférica. Como la mayoría de los terraplenes altos experimentan no sólo un asentamiento sino un ensanchamiento horizontal, los conductos que van desde la célula hasta el punto de medición deben poder acomodarse a los movimientos, sin llegar a la rotura. La exactitud de las mediciones no es usualmente mayor de 1 cm.

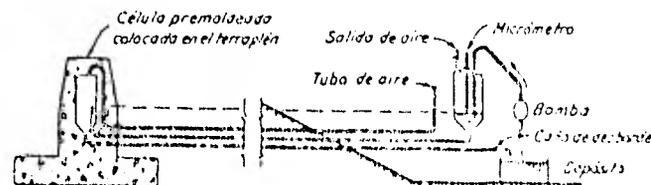


Fig. 66.6. Nivel de agua para medir el asentamiento de un punto en el interior de una presa (según Mallet y Pacquani, 1931).

4.2 Deformaciones horizontales

Este tipo de mediciones es la observación del desplazamiento de la cresta de muros de sostenimiento o ataguías y de la inclinación de la estructura.

A) Puntos de colimación.- En la cresta de una ataguía requiere de un teodolito, bien apoyado con dos fijos para la observación, una regla graduada sostenida horizontalmente contra los puntos medición; hay una precisión de 2 mm. Al seleccionar la posición de la parte sólida para soportar el teodolito hay que tomar en cuenta la probable magnitud del desplazamiento anticipado.

MUROS DE SOSTENIMIENTO.- Puede medirse en la forma que se describe en la forma anterior. Puede obtenerse mediciones más exactas con la ayuda de barras horizontales como en la figura siguiente. Uno de los extremos de cada barra se ancla en una parte estacionaria del terreno a una distancia considerable del muro de sostenimiento. La parte media de la barra se coloca dentro de un tubo (c) y el extremo exterior en un tubo (d) embebido en el muro.

Se mide la distancia entre el extremo frontal del caño que sirve como punto de referencia y el extremo libre de la barra (se puede usar Vernier).

635

COMPARACION DE LOS RESULTADOS

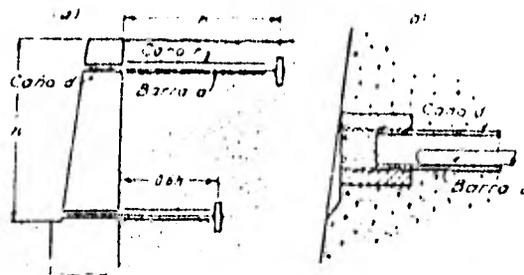


Fig. 66.1. (a) Diagrama de instalación para observar el movimiento de un muro de sostenimiento; (b) detalle de la barra de medición y del tapón de protección en la cara del muro.

OBSERVACIONES DE DISTORSION DE TALUDES.- Son para detectar el peligro de un deslizamiento, uno de los métodos para detectar el movimiento consiste en practicar un hoyo de 4" a 6" de diámetro hasta una profundidad de 1.50 m y encamisarlo. Se introduce luego un tubo de observación de 2" de diámetro que se hincala 1 m por debajo del fondo del hoyo. El extremo superior del tubo de observación debe sobresalir ligeramente por encima de la camisa, pero no extenderse demasiado, a fin que se pueda proteger por medio de una tapa roscada en la camisa.

El desplazamiento horizontal se mide con un teodolito. La posición más adecuada para ubicar los puntos de observación son:

- a) Si se anticipa una rotura de talud.
- b) Si se anticipa una rotura de la base.

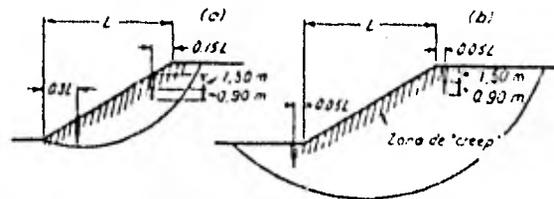


Fig. 66.B. Posición de los puntos de observación para detectar el movimiento de un talud. (a) Si se espera un deslizamiento por un círculo de pies (b) si puede producirse una rotura por la base.

- B) Inclinómetros .- Son aparatos que sirven para conocer los desplazamientos horizontales cuando se construyen terraplenes en suelos blandos. La inestabilidad de los taludes puede ser investigada por relevamientos sucesivos de la forma y posición de tubos verticales flexibles instalados en el terreno. Los relevamientos se practican haciendo descender un dispositivo que contiene un péndulo que indica la desviación del tubo camisa respecto a la vertical. Se realiza inicialmente un relevamiento de las desviaciones respecto a la verticalidad e inter

valos poco espaciados, y tomando como lecturas iniciales, se repiten relevamientos sucesivos para determinar los cambios de inclinación dados en los mismos niveles.

El inclinómetro más usual es el de Wilson, que está constituido por un péndulo cuyo extremo interior hace contacto con una bobina subdividida en 2 resistencias - que forman una mitad de un puente de Wheatstone. La otra mitad está contenida en una caja portátil de control, que incluye un potenciómetro de precisión, cuyas lecturas son proporcionales a la inclinación en el plano del péndulo.

El instrumento lleva cuatro ruedad montadas sobre resortes de la camisa. La camisa está constituida de plástico o de aluminio anodizado, con un diámetro interno de 2 7/8", contiene dos conjuntos de ranuras en planos perpendiculares entre sí, que permiten orientar al instrumento en los sucesivos registros.

Cada conjunto de observaciones implica la lectura en los planos mencionados, de modo que se puede determinar la inclinación resultante.

Se han desarrollado inclinómetros análogos al de Wilson, como el de la Universidad de Suecia, Geoconsult, el de Telemac, etc.

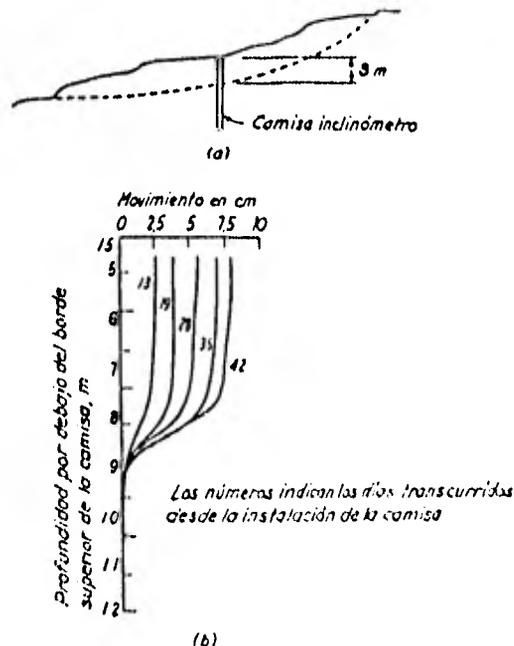


Fig. 66-11. (a) Sección transversal de un diqueamiento en Hawái mostrando la posición de la camisa del inclinómetro; (b) resultado de una serie de observaciones que muestran que la zona del movimiento se encuentra a una profundidad de 8 m.

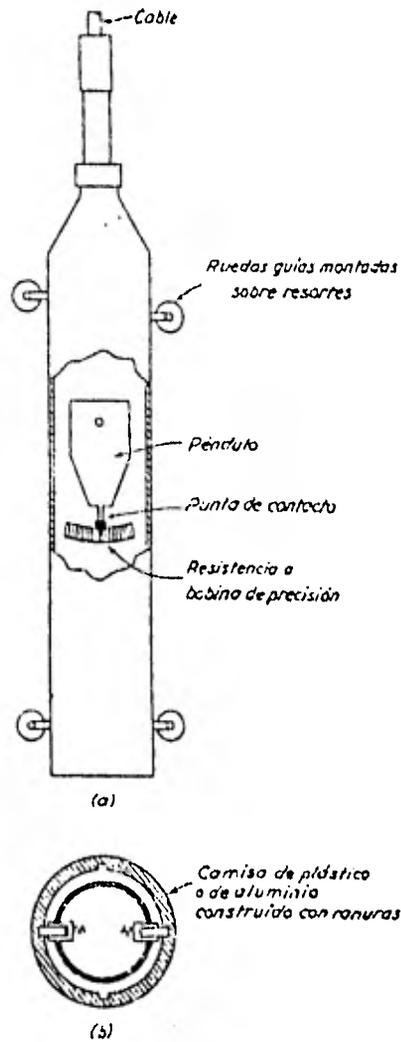


Fig. 66.10. Diagrama esquemático del inclinómetro Wilson. (a) Vista del instrumento; (b) sección transversal mostrando al instrumento dentro de las ranuras de la camisa (según Wilson y Hancock, 1960).

4.3 DESPLOMES

Plomos.- Si los desplazamientos se deben totalmente a un movimiento de inclinación pueden observarse utilizando una plomada, ya que los desplazamientos angulares producen un cambio en la distancia que separa un punto de observación colocado en la pared y la posición de la plomada libremente suspendida. En presas de hormigón se han utilizado también extensamente inclinómetros de diferente diseño, los que permiten medir con gran precisión la inclinación producida.

4.4 Presiones en el agua

Es sabido que cuando al suelo se le somete a una carga, parte es tomada por la estructura mineral y parte por el líquido en los poros proporcionalmente a su rigidez, y que esta distribución del esfuerzo controla el comportamiento esfuerzo-deformación del suelo. Por ésto será importante hacer mediciones de las presiones de poro en puntos determinados de antemano y que se registren en tal forma que sirvan como control de la construcción y para verificar la estabilidad. Así, las mediciones de la presión de poro son el aspecto más importante en la "Instrumentación de Cimentaciones".

Debe señalarse que a pesar de que se ha extendido el uso de programas de observación de las presiones de poro, no se elimina el riesgo de tener fallas de cimentaciones debidas a causas geológicas en que la información obtenida sobre las condiciones del suelo fué muy pobre. Así las mediciones hechas - por instrumentación serán limitadas y en algunos casos, podría llevar a falsas conclusiones, por lo que se recomienda utilizarlas sólo cuando la historia geológica haya sido determinada.

Las observaciones del nivel freático en los pozos de exploración son desconflables, si se quieren tener conclusiones sobre la presión, aún en los casos más sencillos, pues influyen varios agentes que la modifican constantemente y que se deben a:

- 1.- Las masas de suelo no siempre son homogéneas y planas.
- 2.- En las paredes de los sondeos se adhieren lodos producto del mismo terreno durante la operación de perforación o bien el utilizado para esta maniobra.

- 3.- Cuando la altura piezométrica es mayor, el pozo captará agua de todos los estratos y por el contrario, si el nivel piezométrico es menor, el pozo perderá agua.
- 4.- No siempre se tendrán relaciones hidrostáticas en la vecindad del pozo como es el caso de un suelo impermeable donde sería necesario un gran volumen de agua y un tiempo muy largo para llegar hasta el pozo con una altura suficiente para indicar la presión real.
- 5.- Procesos de consolidación.

El piezómetro es un aparato que mide la presión del agua freática en el punto de su instalación.

El principio fundamental de los piezómetros, es que un elemento poroso se coloque en el terreno de tal manera que el agua del suelo pase por los poros y se recoja en un depósito, donde pueda medirse el nivel y determinar la presión.

Existe un gran número de aparatos para medir las presiones de poro, ya sea en suelos saturados o parcialmente saturados, en materiales de relleno, muros de contención y en estructuras sujetas a cargas dinámicas. En vista de que la permeabilidad en los suelos puede variar hasta en 10^8 , deberá escogerse un piezómetro adecuado si se quieren obtener datos precisos y confiables.

Así, los requisitos que debe tener un piezómetro son:

- 1.- Que de lecturas precisas de las presiones de poro, ya sean positivas o negativas (succión) con variaciones tolerables.
- 2.- Sólo debe provocar al suelo una mínima interferencia.
- 3.- Deberá registrar con rapidez los cambios del nivel freático.
- 4.- Deberá ser resistente para permanecer estable durante largos períodos de tiempo.
- 5.- Que se pueda registrar fácilmente cada vez que sea necesario.

El tipo de instalación que mejor se adapta a un lugar, se determina en gran parte en base al "Tiempo de Reacción" o "Reacción Hidrostática" que tenga el aparato. Este se define como el tiempo en el que el aparato se ajusta casi totalmente cuando se produce un cambio en la presión de poro. El "Tiempo de retardo" depende de la cantidad de flujo en el aparato, de la permeabilidad del suelo y de las dimensiones del filtro del aparato que rodea su extremo permeable.

Como el tiempo en el que se alcanza el equilibrio es muy largo en la práctica, se toma el tiempo necesario para que la igualación de presiones se cumpla sólo en un 90%.

PIEZOMETROS ABIERTOS.- Cuando se tiene un suelo permeable, el método más sencillo para medir la presión de poro es por medio de pozos de observación.

Si se trata de un estrato acuifero muy homogéneo, se puede penetrar un tubo poroso de 5 cm de diámetro, ya sea por hincado o por medio de inyección hasta una profundidad muy por abajo del nivel frático estimado. El agua penetra por los poros y asciende por el tubo hasta el nivel correspondiente al nivel freático. Para determinar este nivel, se introduce una vara de madera cubierta con tiza blanca que al sumergirse cambia de tono; también se pueden meter por el tubo un par de calbes no aislados conectados en su parte superior a una fuente de corriente y a un galvanómetro que indica el momento en que los extremos inferiores hacen contacto con el nivel del agua al cerrarse el circuito.

Si se tienen varias capas de suelo con diferentes niveles de agua, será necesario instalar tubos separados para cada capa.

A fin de que los poros en la parte inferior del tubo no se obstruyan, deberá evitarse que sea forzado en su descenso al través del suelo. Esto se logra - haciendo una perforación de 15 cm en la que se introduce una camisa metálica del mismo diámetro, que quede ajustada y que llegue hasta el nivel en que se va a medir la presión. Una vez colocados el tubo y la camisa, se vacía arena por el espacio que queda entre ellos, hasta que quede cubierto el extremo inferior poroso de 1 m de longitud del tubo. Durante esta operación se debe - mantener una corriente de agua hacia la perforación a fin de que los poros no se obstruyan con el material arrastrado de la operación. Seguidamente se levanta la camisa hasta que quede por abajo del nivel superior de la capa permeable y se termina de rellenar con arena el espacio entre la camisa y el tubo, hasta 30 cm antes de nivel del terreno, los cuales se tapan con un sello de arcilla muy compactada, y con un contenido de humedad entre el límite - plástico y el líquido.

Cuando el suelo sea poco permeable, el tiempo de reacción del piezómetro puede ser largo; se puede reducir éste, aumentando el área de contacto entre el filtro y el suelo circundante

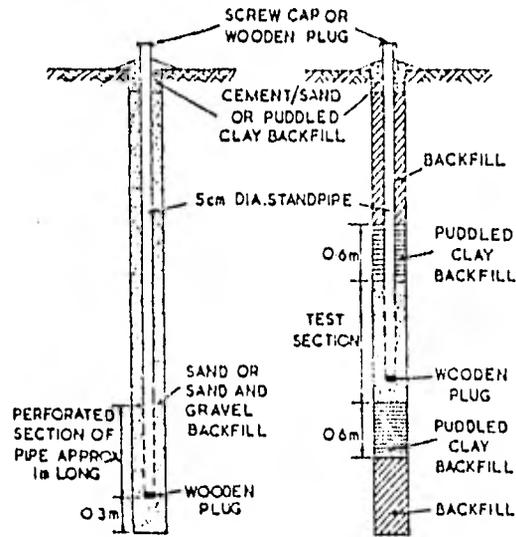


Fig. 53: Details of an open standpipe water level recorder.

Piezómetros Casagrande.- Este consiste de un tubo plástico de 13 m m de diámetro en el que se va a medir la presión y que en su extremo inferior tiene acoplado un tubo de material cerámico de 25 m m de diámetro interior y de 30 a 60 cm de longitud. El cilindro cerámico queda enterrado en un filtro de arena a fin de tener una mayor superficie de contacto entre suelo e instrumento.

El piezómetro se instala dentro de una perforación encamisada de 5 cm de diámetro y 3 m de longitud. La camisa es de una sola pieza y es hincada a fin de que quede ajustada en la perforación. A medida que se vacía la arena para el filtro, se levanta el tubo 1.5 m y se sella contra el interior de la camisa con capas de bentonita que se introducen en forma de bolitas para posteriormente ser apisonadas con una herramienta cilíndrica hueca especial. La bentonita se puede reemplazar por una mezcla de caolinita y $Al^3 - 9$ que endurece más rápido.

sulta muy frágil. El piezómetro Geonor puede ser introducido en el terreno, ya que en su parte inferior tiene una punta cónica metálica que facilita su hincado. La parte permeable consta de un cilindro poroso de bronce de igual diámetro externo que el diámetro mayor de la punta cónica. Este diámetro también es igual al de las barras de hincado utilizadas para que por medio de empuje sobre ellas penetre el instrumento en el terreno. El elemento poroso es largo y el tubo plástico del menor diámetro posible, a fin de mantener el tiempo de reacción.

En suelos blandos es fácil introducirlo en toda su longitud, en los más resistentes se hace una perforación hasta una profundidad y después se hincan el piezómetro hasta una longitud suficiente que asegure el buen sellado entre el piezómetro y las barras de sondeo.

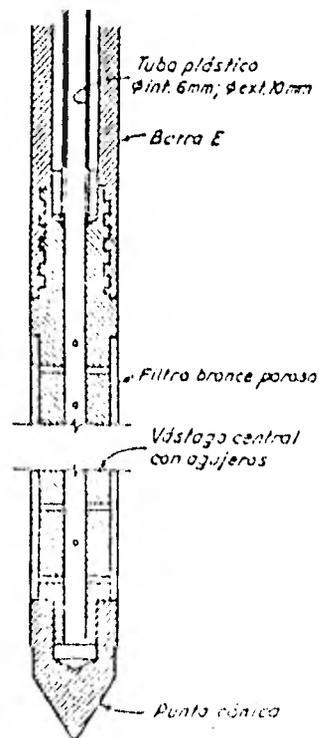


Fig. 68.2. Piezómetro abierto tipo Geonor (según Bjerrum et al., 1965).

PIEZOMETRO PARRY.- Parry construyó un piezómetro con una punta cónica más económica. Este consiste de un tubo de acero suave de 25 m m de diámetro exterior y 13 m m de diámetro interior, y que en una parte se reduce a 15 m m de diámetro exterior. La pared de un tramo del tubo se perfora con agujeros de 5 mm y se envuelve con una malia de gaza. Este elemento poroso se cubre durante la instalación con una camisa acoplada al elemento cónico del mismo diámetro exterior. Después de que la punta se ha llevado hasta la profundidad deseada, se retiran las barras de perforación dejando descubierto el elemento poroso y dejando la parte penetrante en el terreno. Si se va a usar por un tiempo muy prolongado se recomienda usar metales no corrosivos, tales como el bronce. Donde se requiere una respuesta rápida en el piezómetro, se puede atornillar en su parte superior un tapón hidráulico transmisor de presión. Cuando la parte porosa pueda sufrir daños, se le puede proteger con un tubo p.v.c. de 25 cm de diámetro exterior. Para hincar el piezómetro en suelos blandos se usa un tubo perforado de acero suave galvanizado cuyo extremo inferior es de forma cónica, y al superior se le adaptan las barras de hincado.

Debido a que el tiempo de retardo depende del flujo de los suelos granulares hacia el piezómetro, se utiliza éste con dos tubos, uno de los tubos llega hasta el fondo del piezómetro y el otro termina en la parte superior. Después de la instalación, se hace circular agua por el piezómetro con el objeto de eliminar burbujas, inyectándola por la parte inferior del elemento cónico para salir al través del otro tubo. Después de esta operación, se cierra esta línea y la línea de presión se conecta a un manómetro o calibrador de presión.

Las ventajas de este piezómetro son:

a) .- Se pueden eliminar las burbujas en el sistema.

b) .- Se puede controlar el tiempo del retardo de acuerdo con el diámetro del tubo que se escoja.

Su principal desventaja es que no es posible medir grandes presiones de succión debido a la cavitación.

PIEZOMETROS NEUMATICOS.- El piezómetro neumático de aire, es un sistema que consiste de una celda de presión hidrostática activada por aire, dos tubos de plástico para la conducción del aire y un manómetro. El aire es inyectado por uno de los tubos hacia la celda donde es interceptado por la presión del poro que actúa en un diafragma delgado muy flexible. Cuando la presión del aire se equilibra con la del agua, el diafragma se deforma levemente y permite el paso del exceso de aire al través del otro tubo que lo conduce hasta un recipiente donde se pueden observar las burbujas que indican que las presiones se han igualado, midiéndose en un manómetro.

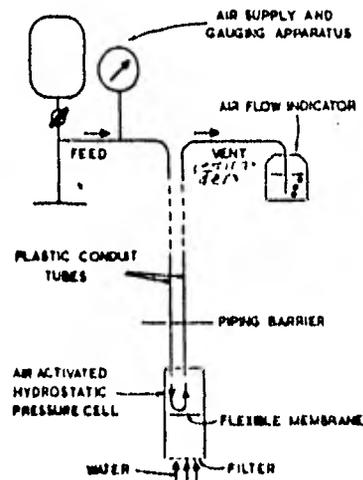


Fig. 61: Pneumatic piezometer - (Warlam and Thomas (1965)).

Las ventajas de este piezómetro son:

- a).- Sólo se necesita un cambio mínimo de volumen para activar la válvula, por lo que el tiempo de retardo es muy pequeño.
- b).- Es de fácil operación y en él se pueden tomar las lecturas sin complicación.
- c).- Es un aparato muy estable aún en períodos muy largos de tiempo.
- d).- Los tubos de plástico son muy baratos.
- e).- Las lecturas son directas.
- f).- No se requiere desaerear los tubos.

Un aparato que también podría incluirse en el grupo de los neumáticos es el ideado por Griffin. Este se lee al medir la presión necesaria para cerrar un sistema de balance hidráulico. De un depósito de control, se inyecta aire a presión por un conducto. Cada línea indicará el mismo valor de presión del aire a medida que ésta se incrementa en la línea hasta que el balín de teflón se cierra. Cuando se igualan la presión de poro que actúa en el diafragma y la presión aplicada en la línea 1, es cuando el balín hace el cierre. En vista de que todavía aumenta más la presión en la línea 1, en la línea 2 se puede leer la presión ya que ésta se iguala con la presión de poro. El cierre de la válvula ocasiona un pequeño desplazamiento del agua hacia adentro o hacia afuera del suelo que puede modificar el valor de la presión de poro por lo que se tiene una tercera línea que se encuentra abierta a la atmósfera, de tal manera que se produzca un cambio de volumen sin que haya un flujo de agua en la vecindad del filtro poroso.

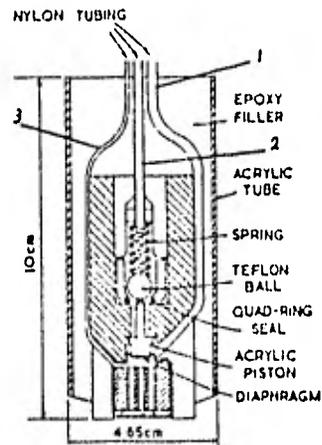


Fig. 62: Pneumatic piezometer (Griffin [1967]).

PIEZOMETRO ACUAMETRICO.- Se compone de un filtro poroso de piedra colocado en una cámara de burbujas que está conectada a un tubo co-axial. El agua penetra en la cámara y sube hasta un nivel estático en el tubo coaxial. Por el tubo interior se introduce gas a una presión controlada y se va incrementando hasta que el agua en esta tubo es forzada hasta el nivel de la cámara de burbujas. El gas escapa por el tubo exterior impidiendo así un mayor incremento en la presión. La presión del agua que actúa en la cámara es igual a la presión del gas que se aplica en el tubo interior.

Las ventajas de este piezómetro son:

- 1.- El aparato es de plástico por lo que no existe corrosión.
- 2.- No tiene parte móviles ni eléctricas.
- 3.- Hay una gran variedad de piedras para el filtro que se pueden elegir de acuerdo a las diferentes permeabilidades del suelo.
- 4.- La presión del agua puede leerse directamente.

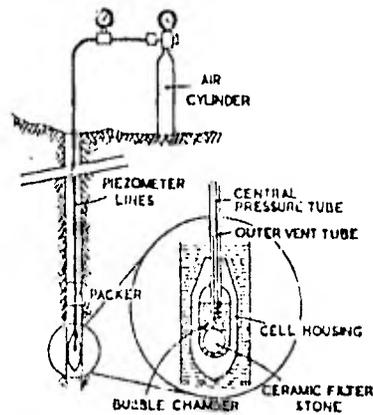


Fig. 64: Aquametric Water Pressure Cell — Terrametrics.

PIEZOMETROS EN RELLENOS.- Un relleno compactado es común que se encuentre en estado saturado, y por lo tanto, en los poros existirán presiones de aire y de agua.

Existen algunas dificultades para medir las presiones de poro en estos suelos, por ejemplo, si se mide la presión de poro U_w , el esfuerzo efectivo en el suelo será mayor que el valor real dado por $(1 - X)(U_a - U_w)$; y por el contrario, si se mide U_a , el esfuerzo efectivo en el suelo estará subestimado en $X(U_a - U_w)$. Por lo tanto, el error en la medición depende de la magnitud de $(U_a - U_w)$ y de X que a su vez dependen del grado de saturación de la masa del suelo y de su composición (contenido de arcilla plasticidad etc).

El aire pasará por los poros de la punta cónica del piezómetro si éstos son suficientemente grandes. El tamaño de los poros controla el valor de la entrada del aire, por lo que aquí está la diferencia entre la presión del aire en un lado del filtro saturado y la presión del agua en el otro lado - en el que tiene lugar una corriente de aire.

Para que el piezómetro pueda medir la presión del agua U_w , el valor del aire que entra en el piezómetro deberá ser mayor que $(U_a - U_w)$, sino, el piezómetro medirá el valor de la presión del aire.

Los piezómetros mas utilizados son de tubos hidráulicos gemelos y el eléctrico.

El aparato que ha tenido mas éxito es el diseñado por el profesor A.W. Bishop, que tiene 10 cm de longitud y un diámetro variable de 5 a 3.8 cm. La forma - que tiene resulta muy conveniente para colocarse coincidiendo con un agujero - hecho con un taladro especial.

El material cerámico puede tener cualquier valor de entrada que se desee, siendo el más común de 200 Kn/m^2 , el tamaño de los poros es de una micra y la permeabilidad de $2 \times 10^{-6} \text{ cm/seg}$.

Los tapones en el extremo son de bronce o de material p.v.c. rígido y los cople de compresión conectan los tubos de nylon con el piezómetro.

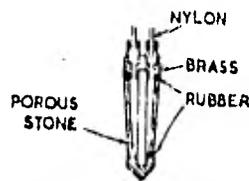


Fig. 65: Imperial College Type hydraulic piezometer.

PIEZOMETRO ELECTRICO.- El principio de este piezómetro se basa en un diafragma que se deforma al actuar la presión del agua en una de sus caras. Esta deformación es proporcional a la presión aplicada. La presión se mide por medio de varios transductores eléctricos que tienen un tiempo de retardo muy pequeño y que son muy sensibles. El método más usual de medir deformación en el diafragma es con extensómetros de alambre vibratorio, extensómetros de resistencia o extensómetros de capacitancia.

El piezómetro de alambre vibratorio B.R.S. tiene un filtro que es una piedra porosa de 50 m m de diámetro y 75 m m de longitud

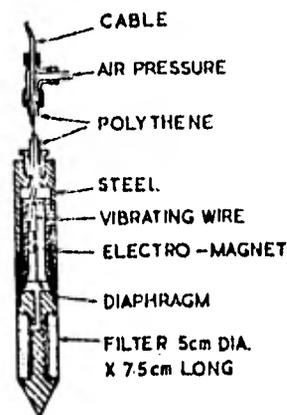


Fig. 57: B. R. S. - type vibrating wire piezometer (Penman [1960]).

El piezómetro Geonor se basa en el mismo principio que el B.R.S. La parte superior del piezómetro se conecta a la superficie del terreno por medio de un tubo de plástico que sirve como conducto principal y además mantiene la presión atmosférica en la cara superior del diafragma.

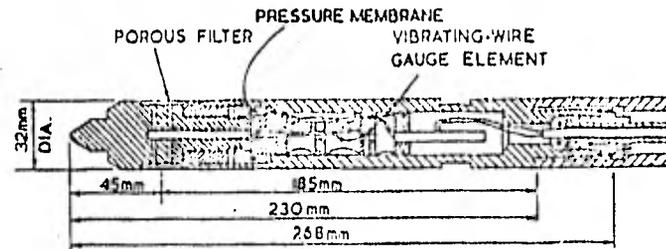


Fig. 58: Geonor electrical piezometer — borehole type.

PIEZOMETRO MAIKAB.- Las principales diferencias entre todos estos piezómetros son sus dimensiones, la posición del elemento poroso, la disposición del elemento con el alambre vibratorio y los procedimientos mecánicos para protegerlos de la corrosión y de otros daños.

La celda Telemac también utiliza el principio del alambre vibratorio y consiste de un tubo que trabaja como resorte. Un alambre estirado a lo largo del tubo mide la deformación axial ante la acción de la presión externa del agua. El elemento está protegido por un cilindro de acero inoxidable que termina en un elemento poroso que permite la entrada del agua al instrumento. Este piezómetro es fácil de instalar, tiene una respuesta muy rápida y los efectos de la temperatura son despreciables.

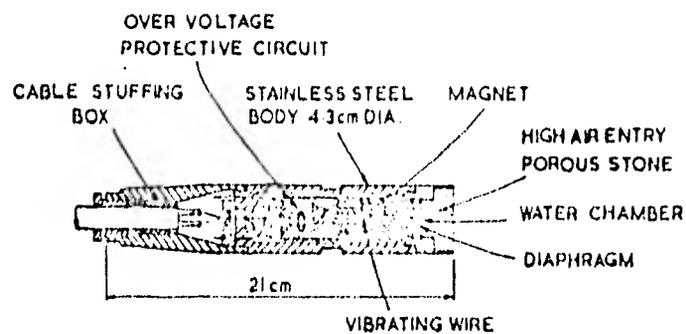


Fig. 59: Maikab vibrating wire piezometer (Scott and Kilgour [1967]).

El sistema A.G.S. utiliza un aparato semiconductor y un circuito integrado - que producen una señal de frecuencia modulada directamente proporcional a la presión de poro que actúa en el diafragma sensible. El aparato eléctrico se coloca en el piezómetro después de instalado éste para evitar que se dañe. Es posible eliminar el aire en el agua dentro de la piedra porosa, con lo - que se tienen respuestas de milésimas de segundo; lo que permite medir rápidamente los cambios en la presión de poro.

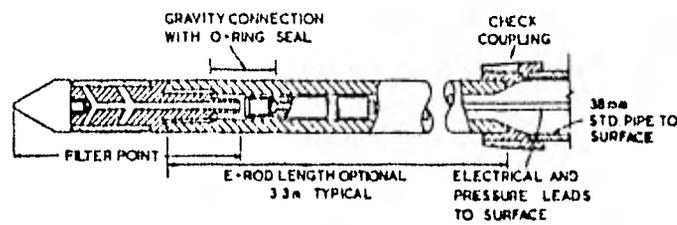


Fig. 60: Electric piezometer — Applied Geodata System Inc.

4.5 PRESIONES EN ELEMENTOS DE CONTENCION PERMANENTES Y TEMPORALES

La medición de las presiones o empujes de tierra se realiza para determinar la magnitud y distribución de las presiones de contacto entre los suelos y las estructuras con el objeto de:

- a) Mejorar y verificar las bases del proyecto.
- b) Determinar la magnitud y distribución de las tensiones que se desarrollan en las masas de la tierra, como las subrasantes de pavimentos para caminos y aeropuertos.
- c) Proveer información respecto a las cargas que soportan los miembros individuales de apuntalamiento temporarios o permanentes que sostienen al suelo durante o después de la construcción.

A) CELDAS DE PRESION PARA MEDIR LAS PRESIONES DE CONTACTO.- Se han utilizado celdas de presión enbebidas en el concreto, de tal modo que la superficie de contacto entre suelo y celda estuviese enrasada con la superficie plana del concreto.

La celda Golobek no es recomendable por el movimiento hacia afuera de la superficie.

Entre las recomendables están la celda Carlson, la celda Waterways Experiment Station y la celda Alambre o cuerda vibrante.

La celda de Carlson está formada de dos placas chatas de acero de 7" de diámetro separadas por una película de mercurio de aproximadamente 0.02" de espesor. La carga aplicada contra las chapas de acero produce una presión en el mercurio. La parte central de la chapa superior de acero tiene un espe-

sor reducido que actua como diafragma relativamente flexible que se doforma hacia arriba debido al aumento de la presión de mercurio, y actua sobre un medidor de deformación Carlson. El medidor de deformación consiste en dos bobinas de alambre de acero montadas sobre carretes de porcelana y ligadas a un marco de acero. La deformación del diagrama aumenta la tensión en los alambres de una de las bobinas y reduce en la misma magnitud la tensión de la otra. Los cambios de tensión causan un cambio en la relación entre las resistencias eléctricas de las dos bobinas que puede medirse por medio de un puente de Wheatstone. El cambio en relación de resistencia es una medida de la deformación del diagrama y por lo tanto, de la presión de contacto contra la celda.

Todo el medidor de deformación está colocado dentro de un vástago y puede leerse por medios eléctricos desde un punto distante. La exactitud de las lecturas puede ser influida por cambios de resistencia de los cables de conexión.

La Celda Waterways Experiment Station, es similar al principio de la celda Carlson; excepto que la formación del diagrama que constituye la superficie de contacto se mide por medio de extensómetros eléctricos adheridos al interior del diagrama. El circuito eléctrico elimina la posibilidad de error debido a un cambio de resistencia en los cables de conexión, pero la tendencia a la fluencia lenta del cemento utilizado para pegar los extensómetros eléctricos al diagrama puede conducir a la inestabilidad.

La celda de alambre o cuerda vibrante opera sobre el principio de que la deformación del diagrama modifica la tensión en un alambre elástico extendido entre dos planos fijados al diagrama y que ello causa un cambio en la frecuencia natural de vibración del alambre. Cerca del alambre se monta un

magneto eléctrico permanente. Para efectuar la observación se envía un impulso eléctrico a través del magneto, el que induce al alambre a vibrar. La vibración del alambre dentro del campo del magneto permanente produce una fuerza electromotriz en la bobina del magneto eléctrico con una frecuencia igual a la del alambre vibrante, la fuerza electromotriz se amplifica y su frecuencia se determina por medio de un instrumento portátil de medir frecuencias. La deformación del diafragma es proporcional al cuadrado del cambio de frecuencia.

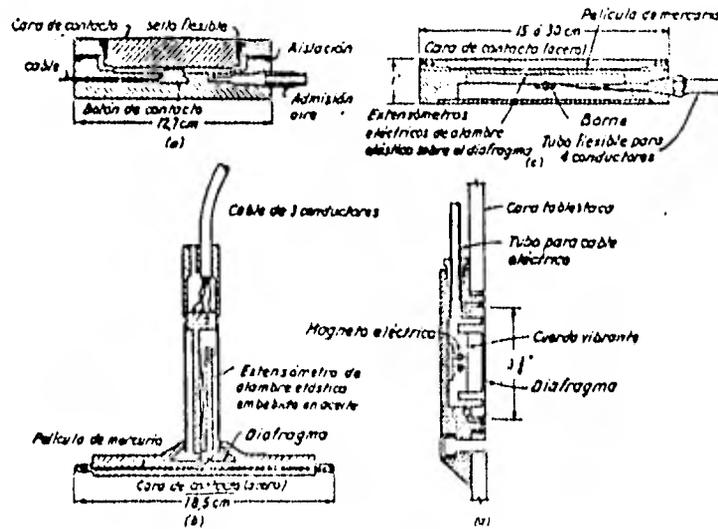


Fig. 67.1. Células para medir la presión. (a) Célula Goldbeck; (b) célula Carlson; (c) célula Waterways Experiment Station; (d) adaptación de la célula a cuerda vibrante para medir la presión contra la cara de un tablerado.

MEDICION DE LAS PRESIONES DE CONTACTO CONTRA GRANDES SUPERFICIES

En un tunel las caras de contacto están constituidas por losas de concreto fuerte ente armadas, colocadas dentro de marcos formados por perfiles U de acero. Las losas fueron aisladas del resto de la solera del tunel utilizando planchas de corcho suficientemente compresibles como para no tomar más de una parte insignificante de la presión máxima a medir.

Entre cada losa y la solera se colocan tres celdas Carlson, por medio de las cuales se puede determinar la carga que soportan la cara de contacto.

Las celdas Carlson, cuando se utilizan para medir reacciones en la manera descrita, constituye una de las diversas variedades de celdas de carga. En el uso de extensómetros de alambre vibrante trata de la medición de las cargas sobre los puntales en excavaciones a cielo abierto.

MEDICION DE LA PRESION EN EL INTERIOR DE MASAS DE TIERRA

Las celdas de presión sólo pueden utilizarse en terraplenes artificiales.

MEDICION DE CARGA EN PUNTALES Y OTROS SOPORTES TEMPORALES

La carga sobre miembros comprimidos se obtiene por cálculo por medio de extensómetros o un dispositivo adecuado de medida. Se ha desarrollado el extensómetro a cuerda vibrante.

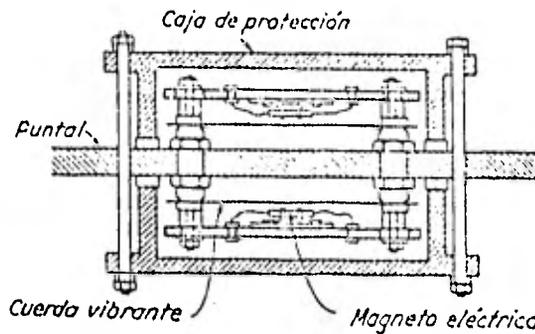


Fig. 67.4. Adaptación del extensómetro a cuerda vibrante para medir la carga sobre un puntal (según Bjerrum et al., 1965).

Si los puntales son acero doble T de ala ancha, se usan extensómetros montados uno a cada lado del alma, en el núcleo central del puntal para evitar la influencia de una distribución no muy uniforme de tensiones, los extensómetros se colocan aproximadamente 6 veces la altura del puntal entre alas. Los extensómetros se instalan haciendo 2 agujeros a través del alma del puntal e insertando un perno en cada agujero, fijados por medio de tuercas rosadas, a cada lado del alma, los pernos sostienen un alambre tensionado y un magneto eléctrico. Cada extensómetro se cubre luego con una caja protectora y se conecta por cable a un enchufe instalado en el alma del puntal. Como los alambres tensionados están situados simétricamente respecto al eje neutro, se obtiene el término medio de las tensiones a compresión, si los puntales son asimétricos se pueden necesitar varios extensómetros para determinar la distribución de tensiones a compresión en su sección transversal. El error no excede del 10%.

EN PUNTALES DE MADERA.- Los extensómetros no deben usarse si no se conocen las condiciones elásticas del puntal (no son confiables). En estos casos se realizan mediciones bastantes buenas utilizando gatos hidráulicos.

652

OBSERVACIONES DE COMPORTAMIENTO

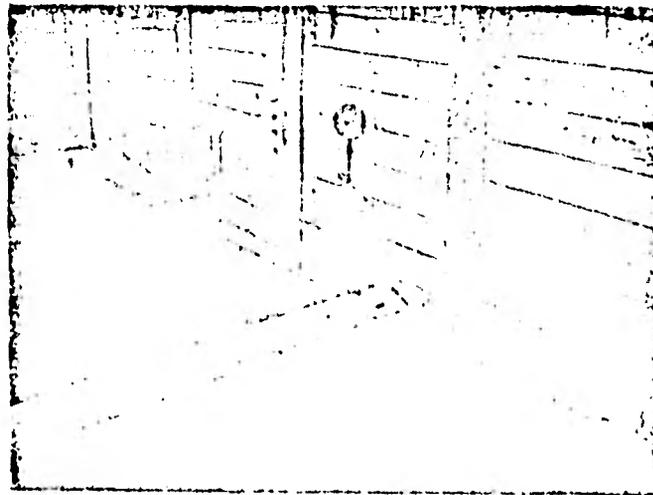


Fig. 67.5. Dispositivo para medir la carga sobre puntales por medio de gatos hidráulicos.

La fuerza entre el puntal y la carrera se transfiere a un par de gatos hidráulicos intercomunicados, cuya carga se registra con un manómetro. La presión hidráulica se aumenta por incrementos hasta que los gatos ejercen fuerza suficiente para producir una pequeña luz entre el extremo del puntal y la carrera. El ancho así producido se mide por medio de micrómetros,

después que la separación entre puntal y la carrera ha alcanzado un valor de 2 mm se disminuye la presión hidráulica que actúa sobre los gatos por incrementos.

Para calcular la carga que actúa sobre el puntal se dibuja una curva como en la siguiente figura, que muestra la relación entre la carga transmitida por los gatos y en separación entre puntal y carrera. Debido a la fricción propia de los gatos, la curva encierra un lazo de histerésis de modo que para una separación dada, la carga real que soportan los gatos es aproximadamente igual al promedio de las 2 ramas del lazo de la histerésis. Sobre esta base, el lugar geométrico de los puntos representan las cargas que soportan los gatos para diferentes valores de la separación es una línea recta que intercepta al eje de las abscisas, que representa separación cero, en el punto que corresponde a la carga que sostenían los gatos antes que la compresión del puntal fuese incrementada por los mismos. Esta carga es aproximadamente igual a la carga que los puntales soportaban antes de iniciar el gateo.

La carga sobre puntales determinada con este procedimiento excede la real magnitud de la fuerza necesaria para descargar la tensión en la parte del puntal adyacente a los gatos. El error es sin embargo despreciable a menos que el puntal sea muy corto y muy rígido. En la práctica lo corriente es que el puntal comience a separarse de la carrera en un punto de contacto antes que de otros y que resulten necesarios promediar los valores de la carga sobre un puntal obtenido por medio de mediciones realizadas en los cuatro vértices del puntal durante la separación.

Para poder utilizar el método de los gatos, resulta necesario proveer una reacción suficientemente fuerte para transmitir la carga a los gatos. Los

métodos que se muestran en la figura (b) y (d) se han utilizado exitosamente para medir las cargas sobre puntales cuya sollicitación no excedía 15 ton. Cuando las cargas sobre los puntales son mayores, las mediciones deben prepararse antes que el puntal se instale en la excavación. Para puntales de madera se pueden disponer zapatos en cada extremo del puntal para alojar a los gatos (c) en los puntales metálicos se pueden soldar pequeñas mensulas, como en (e)

Deben tomarse medidas necesarias para impedir que el extremo del puntal caiga, si sobre alguna razón los gatos se descargan repentinamente

La separación entre puntal y carrera puede medirse por medio de micrómetros con una precisión de 1/100 de milímetro sostenido en la forma como se indica en (f).

La experiencia ha indicado que el error asociado con el procedimiento de los gatos puede alcanzar valores del orden del 20 al 30% de la carga que soporta el puntal.

Se obtienen mediciones más exactas instalando una celda de carga entre el extremo del puntal y la carrera como se indica en la figura. Un tipo de celda de carga está formada por un corto cilindro metálico dentro del cual se han montado tres extensómetros a cuerda vibrante. Las caras terminales del cilindro se cierran con chapas que los tornan herméticos (b). El cable eléctrico se extrae de la celda a través de un agujero con tanón estanco. Cada celda se calibra en una máquina de ensayos. Tal tipo de celda de carga tiene la ventaja de que es robusta, segura y puede usarse aún bajo agua.

Por otro lado, es relativamente costosa, requiere una preparación previa por parte del contratista para poder insertar y es algo sensible a la excentricidad de la carga. El error que se comete en la medición de las cargas que actúa sobre los puntales se considera del orden del 20%.

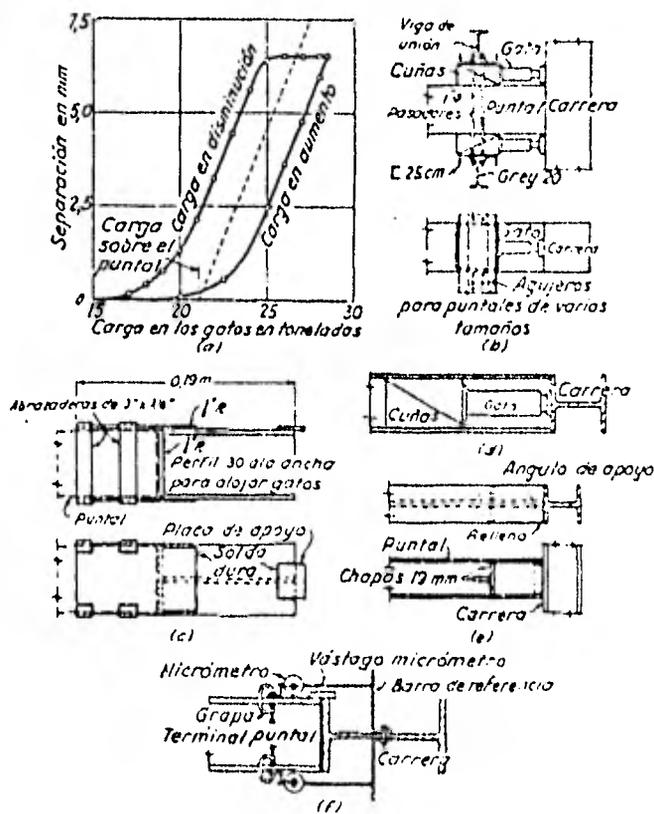


Fig. 67.6. (a) Relación entre la carga que soportan los gatos y la separación entre cojal y carrera; (b) y (d) métodos para proveer la reacción para los gatos en el caso de nodules con carga pequeña; (c) zapata para puntal de madera; (e) zapata para puntal de acero; (f) método para medir la separación cuando P < 1000.

5.0 PROCESAMIENTO DE DATOS

No se podrá tener un beneficio completo de la Instrumentación si los registros con la información no se llevan de una manera disciplinada y cuidadosa.

Con frecuencia se han ignorado observaciones que eran avisos de desastres en vista de que éstas se registraron en libros equivocados o de manera muy complicada.

Así los registros para que sean útiles, deben llevarse de tal forma que el Ingeniero pueda obtener la información sin posibilidad de equivocación y sin tener que hacer más consultas.

Todos los registros de mediciones deberán incluir un plano que muestre en planta la localización con respecto a los elementos principales de la obra, de los puntos de observación asignándosele a cada uno una marca que deberá conservarse.

Las condiciones del subsuelo deben mostrarse en una hoja única que contenga perfiles simplificados con la descripción de las formaciones y con valores representativos de las propiedades del suelo.

Los resultados de las mediciones deberán vaciarse en forma de tabla. El encabezado de cada columna debe indicar el significado exacto de la cantidad representada.

La frecuencia de las observaciones será de acuerdo a la economía y hasta que las características del fenómeno observado se hagan evidentes.

El observador deberá estar instruido por el Ingeniero respecto a la información esperada, ya que deberá, en algunos casos, decidir la frecuencia de las mediciones.