

122  
10



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN**

**INSTRUMENTACIÓN EN INGENIERÍA  
DE SUELOS**

**T E S I S**  
**QUE PRESENTA PARA  
OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**  
**N. Adán Vázquez Rojas**

**MEXICO D.F. 1988**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

Todo el material contenido en esta tesis está 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.

## I N D I C E

### INTRODUCCION

<b>CAPITULO I</b>	<b>Generalidades</b>	<b>4</b>
I.1	Aspectos importantes sobre instrumentación.	
I.1.1	Actividades previas a la instalación de la instrumentación.	5
I.1.2	Problemas en la instalación de los instrumentos	8
I.1.3	Operación y Registro de datos	10
I.1.4	Procesamiento y acopio de datos	10
I.1.5	Costos de la instrumentación	12
I.2	Proyecto de Instrumentación	13
I.2.1	Condiciones geológicas	14
I.2.2	Condiciones del proyecto	15
<b>CAPITULO II</b>	<b>Medición de Deformaciones</b>	
II.1	Métodos topográficos en la medición de deformaciones	18
II.1.1	Medición de Deformaciones Horizontales	19
II.1.2	Medición de Deformaciones Verticales	31
II.1.3	Medición de distancias entre Testigos superficiales	39
II.1.4	Medición de deformaciones por medio de triangulación.	42
II.2	Testigos profundos	
II.2.1	Testigo de cimentación	47

II.2.2	Deformómetro vertical tipo Cross-Arms	52
II.2.3	Medidor Hidráulico	60
II.2.4	Celda medidora de asentamientos	66
II.2.5	Inclinómetro	66
II.2.5.1	Causas comunes de fallas en inclinómetros	97
II.2.6	Extensómetro	98
<b>CAPITULO III Medición de Esfuerzos</b>		
III.1	Presiones Hidráulicas	112
III.1.1	Piezómetro abierto (Tipo Casagrande)	116
III.1.2	Piezómetros neumáticos	124
III.1.3	Piezómetro hidráulico cerrado	141
III.1.4	Piezómetro eléctrico a base de cuerda vibrante	143
III.1.5	Piezómetro eléctrico a base de Strain-Gages semiconductores	144
III.1.6	Causas de fallas en piezómetros	144
III.2	Presiones de Tierra	146
III.2.1	Tipos de celdas	147
III.2.2	Geto Plano	157
<b>IV.</b>	<b>Aplicaciones</b>	<b>163</b>
	<b>Conclusiones</b>	<b>182</b>
	<b>Referencias Bibliográficas</b>	<b>183</b>

## INTRODUCCION

## INTRODUCCION

La mecánica de suelos ha desarrollado métodos de laboratorio y de cálculo para proyectar diversas estructuras de tierra; pero existen discrepancias y lagunas que requieren de estudios minuciosos de prototipo; la Ingeniería moderna ha diseñado ciertos instrumentos que permiten conocer la realidad objetiva de los fenómenos que se presentan en el interior de una masa de suelo.

Al registrar los instrumentos los esfuerzos, deslizamientos y presiones de tierra en el momento mismo en que se presentan, nos permiten comparar estos resultados con los obtenidos en un estudio de mecánica de suelos. Con ésto, podemos comprobar la veracidad de las teorías que se aplican para estos fines.

Los instrumentos no sólo se utilizan con este objetivo; el uso más común es el de observar el comportamiento de una estructura importante, por ejemplo, presas, caminos, túneles, etc.

En el caso de una presa se puede llevar el control del comportamiento de la estructura durante la construcción u operación que nos permita corregir alguna amenaza de falla aparente.

Este trabajo pretende señalar normas esenciales de carácter general para contribuir a que los trabajos de instrumentación sean homogéneos. En principio, se pretendía que éste sirviera como material de apoyo a los estudiantes de Mecánica de Suelos aplicada en la ENEP Aragón, pero debido a las características que fue tomando en el contenido, puede servir, además, al Ingeniero de Suelos como un elemento introductor a este tema.

Bajo este principio, este trabajo explicará adecuada y suficientemente las características de los instrumentos más utilizados en la Ingeniería de Suelos en nuestro país.

El contenido se presenta organizado en cuatro unidades que exponen sucesivamente los siguientes puntos: Generalidades, Medición de Deformaciones, Medición de Esfuerzos, y Aplicaciones.

Dentro de las Generalidades se habla ampliamente acerca de las características propias del proyecto de instrumentación. Se analizan, las condiciones geológicas del lugar; las peculiaridades que deben tener los instrumentos que se van a instalar, dependiendo de los resultados que se pretenda obtener y las condiciones a las que va a estar sujeto. Se plantean aspectos del costo de los aparatos y, de la toma y procedimiento de lecturas. Se estudia la importancia de la instalación y calibración del aparato; todo lo anterior, encaminado a la mejor elección de los instrumentos y abatimiento del costo del proyecto de instrumentación.

Al entrar de lleno a la Medición de Deformaciones se analiza en forma detallada cada uno de los testigos superficiales; cómo están constituidos, los pasos a seguir para su instalación, así como la forma de registrar y procesar las lecturas.

En este punto también se contemplan las características de instrumentos que se colocan dentro de suelo, como son inclinómetros, extensómetros, deformómetros; los cuales se estudian de una manera sencilla; se expone cómo se encuentran contruidos, cómo funcionan y se hace énfasis en los tipos de aparatos que se utilizan en nuestro país.

Otra parte importante que también se hace evidente, es la forma de calibrar; el procedimiento de instalación y los cuidados que se deben de tener para no cometer errores en estas etapas del proyecto. Se expone también en forma concisa y clara la forma de tomar las lecturas, así como el procesamiento de datos, se presentan las formas de registro y las gráficas de resultados.

El tercer punto a tratar se ilustra en el uso de los instrumentos utilizados para la medición de presiones en suelos. La manera de exponer esta parte es la misma que se ha venido comentando en los temas anteriores, planteando todos los conceptos en forma práctica y fácil de asimilar.

En el último capítulo se presenta la forma de procesar los datos obtenidos en los aparatos. En los formatos de registro se analiza un ejercicio real para varios instrumentos con los datos de un aparato instalado en algún lugar de nuestro país. Después de procesar los datos, se realizan las gráficas que nos permiten observar claramente el comportamiento de la estructura.

Todo lo anterior se ilustra profusamente con esquemas de los instrumentos, así como las formas de registro y las gráficas que ilustran los resultados de la calibración, procurando que el lector asimile lo más posible el camino que se debe seguir para llevar a cabo un proyecto de instrumentación.



## **CAPITULO I**

### **GENERALIDADES**

## **CAPITULO I GENERALIDADES**

- I.1 ASPECTOS IMPORTANTES SOBRE INSTRUMENTACIÓN**
  - I.1.1 ACTIVIDADES PREVIAS A LA INSTALACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN**
  - I.1.2 PROBLEMAS EN LA INSTALACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS**
  - I.1.3 OPERACIÓN Y REGISTRO DE DATOS**
  - I.1.4 PROCESAMIENTO Y ACOPIO DE DAÑOS**
  - I.1.5 COSTOS DE LA INSTRUMENTACIÓN.**
  
- I.2 PROYECTO DE INSTRUMENTACIÓN**
  - I.2.1 CONDICIONES GEOLÓGICAS**
  - I.2.2 CONDICIONES DEL PROYECTO**

## I. GENERALIDADES

En la Ingeniería de Suelos son realmente pocos los problemas importantes en el que los planteamientos y resoluciones teóricas basten para obtener resultados satisfactorios, que dejen al ingeniero libre de toda preocupación sobre el comportamiento posterior de las estructuras. Esto es debido, tanto a la complejidad del suelo usado, como material de construcción, así como el hecho de que con mucha frecuencia el ingeniero ha de trabajar con niveles de información por debajo del ideal conseguible, por razones de tiempo y costo. Estas circunstancias hacen que los problemas de campo se trabajen en algunas ocasiones con grados de incertidumbre, que suelen excluir toda posición de tranquilidad en cuanto al comportamiento de las obras realizadas o de las resoluciones adoptadas en un caso particular dado.

Por lo anterior, en los últimos años se ha observado un comportamiento de las obras utilizando instrumentos de medición que capten los aspectos que se consideran esenciales para definirlos durante la construcción y a lo largo de su vida útil. Tales observaciones, cuando se realizan e interpretan, nos permiten verificar toda la concepción de su proyecto, así como la verificación en el campo particular de que se trate de las teorías que se haya utilizado en el citado proyecto.

La observación de prototipos cumple con un cometido que va más allá de obtener una información sobre la estructura, objeto de medición y se convierte en un poderoso medio para verificar el cumplimiento de las concepciones teóricas en la realidad de la obra.

En términos generales la mayor parte de los proyectos de instrumentación se establecen para:

a) Obtener un panorama preciso y completo de las condiciones del sitio y las propiedades ingenieriles de los suelos encontrados. Como ejemplo, se tiene la deformación en el lugar de propiedades esfuerzo-deformación, resistencia y permeabilidad.

b) Para obtener información que pueda usarse para estimar la seguridad de una obra durante la construcción, para evitar daños a terceros o fallas al proyecto y modificar procedimientos constructivos. También sirve para determinar el parámetro necesario para ir adaptando el diseño a las condiciones encontradas durante la construcción.

c) Obtener información cuantitativa y cualitativa del comportamiento de estructuras terminadas para retroalimentar el diseño y evaluar las hipótesis involucradas y las predicciones de campo. La experiencia así obtenida servirá para mejorar y hacer más económicos y seguros los diseños de aplicaciones futuras.

Algunos ingenieros consideran estas obras excesivamente refinadas, costosas y no necesarias para la obtención de una buena obra; de esta manera, se resisten a invertir tiempo y dinero en la observación del suelo, fallas, estructuras y prototipos, independientemente de que las cantidades requeridas son siempre fracciones insignificantes del costo total de la obra.

## 1.1 ASPECTOS IMPORTANTES SOBRE INSTRUMENTACION

### 1.1.1 Actividades previas a la Instalación de la Instrumentación.

a) Selección del tipo de aparato que mejor se adapte a las mediciones requeridas, tomando en cuenta las siguientes observaciones:

- Dado que los lugares en donde son instalados los instrumentos de medición son muy hostiles, el aparato que sea seleccionado será aquel que mejor se adapte a estas condiciones de trabajo, recomendando que el instrumento sea de funcionamiento y manejo sencillo, que garantice la confiabilidad de los registros obtenidos.

- Todos los componentes de los instrumentos deberán tolerar las deformaciones de los materiales en que se coloque el aparato, además de ser durables dentro del medio en que se instalen y tener una historia previa de buen comportamiento en condiciones semejantes.

- Los detalles sobre procedimientos de instalación, lectura y de interpretación de datos son importantes, ya que cualquier pequeña variación puede hacer que aparatos confiables no lo sean.

- Los aparatos deben de ser capaces de funcionar durante el tiempo para el cual fueron creados, sin repararse o reemplazarse, además deberán responder a los cambios de la variable, medida en forma rápida y confiable.

- Si se quiere observar el comportamiento durante la construcción, es requisito que tengan una alta sensibilidad, ya que a menudo es la magnitud del cambio y no el valor absoluto lo que proporciona la clave para una interpretación correcta.

- Se deben preferir los instrumentos mecánicos o hidráulicos sobre los aparatos eléctricos, debido a las condiciones ambientales severas a que están sujetas y, esto puede propiciar una falla en el aparato que obligue a una reparación o un reemplazo, lo cual resulta excesivamente costoso y aún más en los aparatos eléctricos.

- Interferencias mínimas con la construcción durante la instalación ocasionadas por excavaciones, tuberías, ademes, conductores, etc., y durante las mediciones.

- Costo mínimo. Considerar el costo total del diseño, fabricación o adquisición, calibración, instalación, observación, mantenimiento y procesamiento de datos.

En general se puede decir que no existen aparatos buenos, ni malos, sino solamente aparatos adecuados, o no, para su función. Las limitaciones que pueden existir durante la instalación u operación pueden hacer que resulte impráctica la selección de un cierto tipo de instrumento.

La elección del aparato no resulta tan fácil como parece, debido a que la mayoría de los usuarios están limitados a los instrumentos que comercialmente se encuentran en el mercado, mientras que si se tiene la experiencia y las instalaciones necesarias para poder fabricar los instrumentos se obtiene un mejor control, no obstante se tiene que marcar la limitante práctica de la capa-

cidad de producción.

b) Factores que se deben cuidar para no cometer errores.

- Llevar registros detallados de todas las incidencias y avances durante la construcción.

- Determinar la incidencia de cualquier anomalía o evento fuera de lo común que se presente.

- Factores ambientales que pueden por sí solos afectar las mediciones.

- Detalles observados durante la instalación.

- Variaciones propias del lugar donde se coloca el instrumento.

c) Confiabilidad de los Datos

Un punto de gran importancia para tener confianza en los registros de datos es la calibración, este concepto no sólo se refiere a la comparación de la precisión de un instrumento contra un patrón estándar, sino también el establecimiento de un patrón de referencia para las mediciones con el instrumento.

La calibración de un instrumento tiene, entre otras ventajas:

- 1) Definir la precisión del instrumento y la relación entre los valores medidos por el aparato y los valores reales de la variable que se va a medir.
- 2) Verificar que el aparato esté trabajando correctamente.
- 3) Determinar correcciones por temperatura y otros factores que afectan la medición.

Para la calibración se necesita medir una magnitud estándar con el aparato y comparar el valor medido con el dato conocido, generalmente se deben hacer la verificación de un intervalo de valores estándar para asegurarse que es correcto en todo el intervalo.

Se recomienda hacer la calibración en el lugar, ya que se pueden detectar los errores por el procedimientos de instalación, desafortunadamente la mayor parte de la instrumentación geotécnica no se puede calibrar en el lugar de trabajo. Por ésto, la calibración en el laboratorio es de gran importancia para garantizar que el instrumento está funcionando correctamente antes de enviarse al campo para su instalación.

Las especificaciones de calibración se obtienen con el fabricante del instrumento o se pueden elaborar específicamente para el proyecto, ésto si se tiene experiencia; el único requisito es que no varíe a lo largo de la vida del programa de observación, por lo tanto, si la calibración revela algún cambio se puede suponer que está fallando.

La calibración deberá realizarse bajo distintas condiciones dentro del intervalo en que se espera que trabaje el instrumento para verificar que todo ello esté funcionando correctamente. Si un aparato no opera adecuadamente bajo las condiciones de laboratorio, es muy improbable que funcione bien al instalarse en el campo.

Una vez instalados los instrumentos, se deberán calibrar en el sitio si ésto es posible; en aquellos que no lo permitan se deben comparar entre sí las lecturas de varios instrumentos en el mismo lugar, bajo condiciones conocidas de operación con los valores previstos para la variable que se va a medir, si se instala otro tipo de instrumento para medir la misma variable en un mismo lugar, se puede comparar entre sí los dos tipos de instrumentos.

### 1.1.2 Problemas en la instalación de los instrumentos

La probabilidad de fallas o daños en los instrumentos es mucho mayor en esta etapa que en cualquier otra a lo largo de su operación.

Es importante llevar un registro de campo detallado de lo acontecido durante la instalación, cabe hacer notar que muchos errores se deben a fallas humanas, por lo que se recomienda que el personal encargado en la instalación tenga suficiente experiencia.

Deberán estimarse los riesgos (deterioros o pérdidas) a que estará sujeto el equipo durante la instalación, ya que la pérdida de componentes no sólo repercute económicamente, sino que, también en el tiempo, retrasando la construcción y por ello deberá programarse medidas de seguridad adecuadas.

También deben revisarse los instrumentos, y verificar que se encuentren en perfecto estado los implementos necesarios en el momento de la instalación.

El ingeniero en combinación con el técnico de instrumentación examinarán cada parte del procedimiento previsto para la instalación y elaborarán gráficas de comportamiento de la obra que anticipe cualquier variable, y permitan ir corrigiendo las imágenes a medida que avanza la instalación.

La maquinaria y equipo utilizado en la perforación deberá cumplir con los requisitos marcados por el proyecto, éste es, deberá garantizar la verticalidad de la perforación, lo que evitará efectos ajenos que permitan llevar a buen fin el programa de instalación.

Cuando se requiere conocer el comportamiento de la estructura durante la construcción, es necesario colocar los aparatos interfiriendo con el movimiento del personal y equipo de construcción; esto suele ser causa de fricción y en última instancia deterioro o ruptura de equipo de medición.

La mayoría de los instrumentos son enterrados en el suelo y permanecen ahí durante mucho tiempo; numerosas veces bajo nivel freático o sujeto a fluctuaciones del mismo, lo que impone condiciones severas y limita toda posibilidad de reemplazo.

Antes de instalar los aparatos deberán recalibrarse en el taller de instrumentación de la obra, cuando sea posible, inmediatamente después de colocarlos se necesita efectuar una revisión y la calibración en el sitio.

Esta etapa también se puede aprovechar para obtener la lectura inicial de base o referencia que gobernará la información recabada por el aparato durante su vida útil.



La mayor parte de las mediciones son relativas entre dos puntos; para establecer los movimientos absolutos es necesario contar con referencias confiables.

Una causa de falla frecuente es el empalme de cables y tubos, y su unión a sus cables sensores, sobre todo cuando los empalmes se hacen en el campo. - Esto se puede evitar pidiendo al fabricante los sensores con todo y conductores, con longitud suficiente para llegar hasta el lugar de lectura.

### 1.1.3 Operación y registro de datos

Para llevar a un buen cause la operación de un programa de instrumentación, ya sea grande o pequeño implica un esfuerzo especial del personal encargado de éste, ya que debe ser digno de confianza, tener una gran motivación y habilidad mecánica, dado que los instrumentos, aún los más simples, requieren de cierta destreza para su instalación, lectura, mantenimiento y reparación; además debe de planear los procedimientos de registro de datos, prepara forma de registro de campo y programar la frecuencia de lecturas que deben ser función del avance de la construcción, de las tendencias observadas en las mediciones y en la capacidad de interpretación de datos.

Habrà que definir si los registros se harán en forma continua o si registrando periódicamente es suficiente, además se deben realizar verificaciones - simples y rápidas en el campo, para garantizar la validéz de los datos.

La persona encargada de tomar los datos debe tener conocimiento en el área para tomar decisiones en caso de lecturas inesperadas de donde habrá de discernir si los datos son confiables y cuál es el significado de los valores medidos.

### 1.1.4 Procesamiento y acopio de datos

El procesamiento e interpretación de los datos comienza con el registro detallado de lecturas en la libreta de campo y las mediciones obtenidas deberán de comprenderse y ser presentada sen forma concisa y legible.

Toda la información obtenida de un cierto número de instrumentos es preferible registrarla en la libreta de campo y no en hojas de registro separadas, esto es, porque en la libreta de campo aparecerá toda la información de la instalación del instrumento, la elevación de los sensores, los factores de la calibración, etc., esto nos permite la interpretación inmediata de los datos y saber si las lecturas se ajustan a la tendencia de las anteriores y al patrón general del comportamiento del instrumento o si existe un error.

En la libreta deben aparecer todos los datos relacionados con la lectura como son: la fecha, hora de lectura del operador, el registrador usado, si se cuenta con varios, las condiciones de temperatura y tiempo, y el avance de la construcción en el sitio del instrumento.

La libreta de campo puede contener además de las lecturas, todas las observaciones del comportamiento predicho para tenerlo como referencia inmediata. Los datos deben ser manejados con un criterio que permita desechar las lecturas erróneas y resumir la gran cantidad de registros.

El objetivo principal de la interpretación de datos, es el de verificar inmediatamente si el aparato se encuentra trabajando correctamente y si se ha presentado alguna anomalía en el comportamiento de la estructura.

Se deberán fijar los conductos por los cuales se transmitirá la información obtenida por el personal de campo al personal encargado del análisis, procesamiento y evaluación de la información.

También habrá que definir la manera en que se presentarán los datos, en la mayoría de las veces la presentación de los datos en forma gráfica es más efectiva, debido a que se ven directamente las variaciones con respecto al tiempo de los parámetros observados.

Existen dos puntos importantes para el buen funcionamiento del proceso de evaluación:

- a) La asignación de un ingeniero con experiencia como responsable de la seguridad de la obra.

- b) La jerarquización de las lecturas en función de la seguridad de la obra.

El ingeniero residente tiene bajo su cargo el siguiente personal: la brigada de instrumentación de campo, que recaba, examina y transmite las lecturas al personal de análisis de datos, cuyo trabajo es organizar y procesar la información.

La mejor solución para la evaluación del comportamiento parece estar dada por un sistema automatizado con la participación y supervisión humana

#### 1.1.5 Costos de la Instrumentación

En muchas obras la instrumentación no es fácil de justificarse desde el punto de vista económico, sin embargo, las necesidades propias del proyecto - excusan ampliamente los costos de las mediciones realizadas. En forma general se acepta como razonable una cantidad que oscile entre el 0.5 y 1.5% del costo de la obra para cubrir exclusivamente el equipo y su instalación.

El costo de la instrumentación de cualquier obra, generalmente involucra tres aspectos:

- a) Costo del aparato.
- b) Costo de calibración e instalación.
- c) Costo de operación, mantenimiento y procesamiento de datos.

Generalmente el costo de algunos aparatos es mínimo, mientras que el costo de toma de lecturas y evaluación de datos resulta más alto, por lo que cualquier cosa que se haga para aumentar la confiabilidad de los instrumentos se - justifica plenamente, dado que una reparación o reemplazo una vez instalado el instrumento elevaría considerablemente el costo.

Entre los costos del equipo, el precio de los conductores sobre todo los cables eléctricos resultan importantes, las instalaciones iniciales son menos caras que las adiciones, sustituciones o modificaciones posteriores, por esta -

razón debe considerarse seriamente esta posibilidad.

Finalmente, los resultados de la instrumentación junto con las pruebas de control de campo se pueden analizar, con el objeto de compararlas con las hipótesis de diseño de las estructuras existentes y así poder definir los métodos de cálculo de futuros proyectos.

La compra de instrumentos más baratos, puede resultar contraproducente si la instalación y lectura del mismo es difícil o si el aparato no es configurable.

## I.2 PROYECTO DE INSTRUMENTACION

Para la elaboración del proyecto de instrumentación debemos de contar con la siguiente información:

- 1) Estudios Geológicos
  - a) Nivel General
  - b) Condiciones de cimentación
  - c) Levantamiento de detalle
  
- 2) Estudios Geotécnicos del Proyecto
  - a) Tipo de estructura
  - b) Estabilidad
  - c) Deformación
  - d) Esfuerzos
  - e) Programa de Construcción
  - f) Características de los materiales
  - g) Condiciones sísmicas del sitio.

todo esto para realizar un análisis de las condiciones de la estructura y proyectar la instrumentación que proporcione la mayor cantidad posible de información durante las etapas tanto de construcción, como de operación, que nos permitan hacer una comparación entre las condiciones de comportamiento supuestas y las que realmente se están presentando.

El proyecto de instrumentación puede consistir desde una instrumentación a base de testigos superficiales, hasta una instrumentación de diversos aparatos dentro del cuerpo de la estructura.

### I.2.1 Condiciones Geológicas

La información geológica nos permite analizar las condiciones que prevalecen en el lugar, así como la ubicación adecuada de los instrumentos, con el fin de poder estimar de antemano el posible comportamiento de la estructura - una vez construida.

Para el caso de una presa, es necesario contar con información geológica de la boquilla, así como de las condiciones de cimentación y de los levantamientos de detalle.

Los estudios geológicos definen las condiciones litológicas que presenta la boquilla, las condiciones de estabilidad y la presencia de un posible accidente geológico que pudiera inducir riesgos en la seguridad de la estructura.

El número de secciones a observar estará en función de la forma de la boquilla y de la distribución de esfuerzos, por ejemplo: Si la boquilla es angosta y profunda, predomina la instrumentación interna sobre la superficial, debido a las concentraciones de esfuerzos que se producen en este tipo de boquillas. Para las boquillas abiertas la instrumentación interna se complementará con la instrumentación superficial.

El conocimiento de la Geología del lugar nos permite apenas elegir adecuadamente el sitio para los testigos superficiales; si durante la etapa de construcción de la cortina, las condiciones de la cimentación son desfavorables, se requerirá de un programa de instrumentación adecuado que nos permita llevar un control estricto del comportamiento que se vaya presentando y estar en posibilidades de rectificar o ratificar el proceso constructivo.

### 1.2.2 Condiciones del Proyecto

El número de instrumentos que sea necesario utilizar dependerá del tipo y condiciones de la estructura, así por ejemplo: Los testigos superficiales donde se observan desplazamientos y asentamientos en la corona de la cortina, se considera la instrumentación mínima indispensable para cualquier estructura.

A partir de esta instrumentación se puede ir afinando el proyecto mediante la inclusión de varias líneas de testigos transversales y longitudinales a la cortina, estas últimas pueden ir colocadas a varias elevaciones, observando además la medición de distancias entre los testigos de la corona. Este tipo de instrumentos nos proporcionan información durante la etapa de operación, ya que no es posible registrar los movimientos ocurridos durante la construcción.

Los instrumentos colocados en el cuerpo de la cortina permiten observar su comportamiento, desde la etapa de construcción y posteriormente durante la etapa de operación.

La Selección del tipo de instrumento y su colocación deberán ser acordes a los resultados obtenidos de los análisis de la estructura; para las condiciones de estabilidad, tanto en las laderas como en el cuerpo de la cortina; además la ubicación de los instrumentos deberán definirse en función de la localización que tengan las zonas críticas de las etapas analizadas.

Los resultados de los análisis de deformaciones nos permite instrumentar las zonas donde se presentarán las mayores deformaciones, cubriendo también algunas zonas intermedias para obtener la configuración en ambos sentidos de los movimientos de la estructura.

Es importante tener presente que las mayores deformaciones, tanto verticales como horizontales, se presentan generalmente durante la etapa de construcción, por lo que, cuando se instala solo un instrumento superficial, la magnitud de estos efectos se desconoce.


































Como consecuencia de los análisis de esfuerzos, se deberán seleccionar los instrumentos en función de las zonas de mayor intensidad en forma tal de poder obtener la información requerida.

Por otra parte, se hace necesario conocer las condiciones sísmicas del sitio en que se ubica la obra, debido a que se requiere información que permita conocer el comportamiento de la estructura cuando sea sometida a una sollicitación dinámica, para lo cual se instalan acelerógrafos, tanto en las laderas como a diferentes elevaciones sobre la estructura.

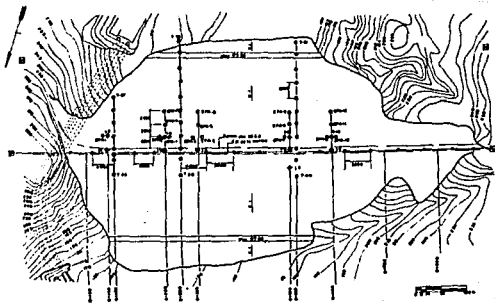
Para presentación de proyectos de instrumentación se hace necesario disponer de una simbología para la identificación de los diferentes instrumentos. Para tal efecto se presenta el siguiente listado de símbolos más comúnmente utilizado.

El proyecto de instrumentación se presenta, para su ejecución, en planos conteniendo la localización de los instrumentos en planta, con sus respectivos cadenamientos o coordenadas y acompañados de las secciones por instrumentar, localizando los instrumentos en elevación y detallando los desarrollos de las tuberías hasta los sitios donde se leerán los instrumentos. La figura siguiente muestra el proyecto de instrumentación en una presa.

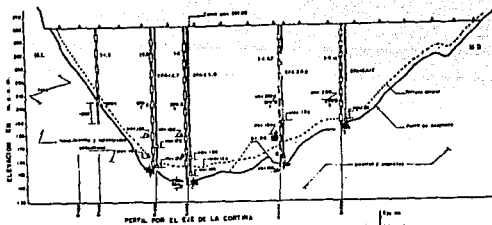
## SIMBOLOGIA Y NOMENCLATURA DE INSTRUMENTOS

PLANTA	ELEVACION	CONCEPTO
		NOMBRAMIENTO DE CENTRAJE FORZOSO
		MIRA DE REFERENCIA PARA COLIMACION
		BANCO DE NIVEL
		TESTIGOS SUPERFICIALES EN QUE SE MIDEN DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES POR COLIMACION, DISTANCIA ENTRE ELLOS Y ASENTAMIENTOS.
		TESTIGOS SUPERFICIALES EN QUE SE MIDEN DISTANCIAS ENTRE ELLOS Y ASENTAMIENTOS
		PIEZOMETRO CASAGRANDI (ABIERTO)
		PIEZOMETRO NEUMATICO
		CELDA DE PRECISION
		EXTENSOMETRO
		CAJA DE REGISTRO
		INCLINOMETRO
		TESTIGO HIDRAULICO
		CELDA DE ASENTAMIENTO
		TESTIGO DE CIMENTACION
		CUERDA VIBRANTE
		ACELEROGRAFO
		GRUPO DE INSTRUMENTOS
		DEFORNOMETRO VERTICAL

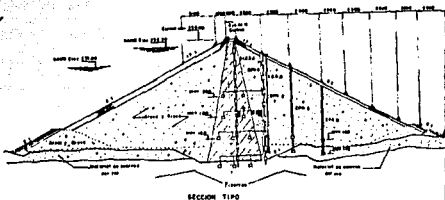




PLANTA DE LOCALIZACIÓN



PUERTA POR EL EJE DE LA CORONA

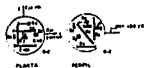
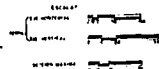


SECCION TIPO

NOTAS:

1. Dimensiones en centímetros, milímetros y metros en metros.
2. En cualquier caso, las dimensiones en metros se darán con una sola cifra decimal.
3. En cualquier caso, las dimensiones en metros se darán con una sola cifra decimal.
4. En cualquier caso, las dimensiones en metros se darán con una sola cifra decimal.
5. En cualquier caso, las dimensiones en metros se darán con una sola cifra decimal.

ESCALAS:



GRUPO DE INSTRUMENTOS

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO	
ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS PROFESIONALES MAQUINA	
CARRERA DE INGENIERIA EN MAQUINAS	
PROYECTO DE INSTRUMENTACIÓN	
FECHA: 1962	HOJA: 1

## **CAPITULO II**

### **MEDICIÓN DE DEFORMACIONES**

## **CAPITULO II**

### **MEDICIÓN DE DEFORMACIONES**

#### **II.1 MÉTODOS TOPOGRÁFICOS EN LA MEDICIÓN DE DEFORMACIONES**

**II.1.1 MEDICIÓN DE DEFORMACIONES HORIZONTALES**

**II.1.2 MEDICIÓN DE DEFORMACIONES VERTICALES**

**II.1.3 MEDICIÓN DE DISTANCIAS ENTRE TESTIGOS SUPERFICIALES**

**II.1.4 MEDICIÓN DE DEFORMACIONES POR MEDIO DE TRIANGULACIÓN**

#### **II.2 TESTIGOS PROFUNDOS**

**II.2.1 TESTIGO DE CIMENTACIÓN**

**II.2.2 DEFORMÓMETRO VERTICAL TIPO CROSS-ARMS**

**II.2.3 MEDIDOR HIDRÁULICO**

**II.2.4 CELDA MEDIDORA DE ASENTAMIENTOS**

**II.2.5 INCLINÓMETRO**

**II.2.5.1 CAUSAS COMUNES DE FALLAS EN INCLINÓMETROS**

**II.2.6 EXTENSÓMETROS**

## II. MEDICION DE DEFORMACIONES

La observación de los movimientos del terreno en alguna obra térrea está encausada a conocer con precisión los asentamientos (o hundimientos), desplazamientos laterales, cambios de posición, cambios de dimensión, así como variaciones de longitud en elementos de cimentación.

En el proceso de construcción de una presa o de un terraplen se presentan deformaciones internas, debido a cambios en los esfuerzos totales y en las presiones de poro o debido a efectos secundarios en el tiempo.

La razón fundamental para la observación y medición de las deformaciones en una estructura es, el ofrecer un mayor grado de seguridad durante la construcción y la vida útil de ésta.

### II.1 METODOS TOPOGRAFICOS EN LA MEDICION DE DEFORMACIONES

Estos métodos consisten en aprovechar los procedimientos topográficos para el conocimiento de las deformaciones que ocurren en la superficie del terreno.

En forma general, donde son instalados instrumentos geotécnicos para medir deformaciones, también se utilizan métodos topográficos, esto para tener una mayor cobertura de la zona de deformación o para comparar y verificar en forma aproximada la información.

Estos métodos o procedimientos son de gran utilidad para determinar la magnitud de los desplazamientos laterales y verticales en mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentación. La calidad de la técnica así como las condiciones del lugar determinarán la precisión de los resultados.

Los valores obtenidos son comparados, casi siempre, con puntos fijos localizados fuera de la influencia que pueda provocar la obra misma; estos métodos resultan además de confiables, económicos, debido a que la construcción de monumentos, miras, testigos, etc., son de bajo costo y su colocación y toma de lecturas no requiere de personal calificado.

### II.1.1 Medición de Deformaciones Horizontales

Generalmente se presentan desplazamientos horizontales en la cortina de una presa, que tienen la tendencia de ir aguas abajo. Los desplazamientos que se producen en los empotres son de magnitud pequeña y van aumentando hacia el centro de la cortina.

Para determinar la magnitud de los desplazamientos horizontales a partir de una línea de colinación definida por bancos de nivel permanentes, colocados en ambos extremos de la línea, se instalan puntos de referencia superficiales sobre la corona y taludes colocados en línea visual al momento de centraje forzoso, el cual se encuentra ubicado en una de las laderas y en la ladera opuesta, otro monumento, que será la mira de referencia. Para cada línea de observación se colocarán dos monumentos que servirán de base para comparar los movimientos que hayan sufrido los testigos instalados sobre la estructura.

Mediante lecturas periódicas que se realizan con una cinta de acero o con una mira deslizante, podremos determinar los movimientos horizontales de los testigos con respecto a la línea de colinación definida por el monumento y la mira, de esta forma podremos conocer la configuración del comportamiento de la estructura con respecto al tiempo y bajo diferentes condiciones de carga.

El monumento de centraje forzoso deberá contar con una base para colocar el tránsito a utilizar, el cual deberá tener la capacidad óptica necesaria para colimar todos los testigos.

Los monumentos para mira de referencia deberán estar pintados con cuadros rojos y blancos de tal forma que sea fácil su identificación en el momento de la colimación.

El testigo superficial o monumento que se utiliza para alojar el perno de centraje forzoso se muestra en la figura II.1.1.1 y está construido de concreto simple, con una resistencia de  $140 \text{ kg/cm}^2$ , su profundidad de desplante varía de 40 a 60 cm, también se acostumbra ahogar un tornillo de acero de cabeza de gata de  $5/8 \times 10$  cm. de longitud para ser utilizado como banco de nivel.

Se hace necesario colocar un marco con porta candados (Fig. II.1.1.2) -- para protección del perno aún cuando ya cuenta con un tapón de protección con cuerda que sólo puede ser removido con una llave como la mostrada en la fig. II.1.1.3 .

Antes de la instalación de los testigos, se hace necesario la construcción del monumento de centraje forzoso (Fig. II.1.1.4) en una de las laderas fuera de la zona de influencia de la estructura.

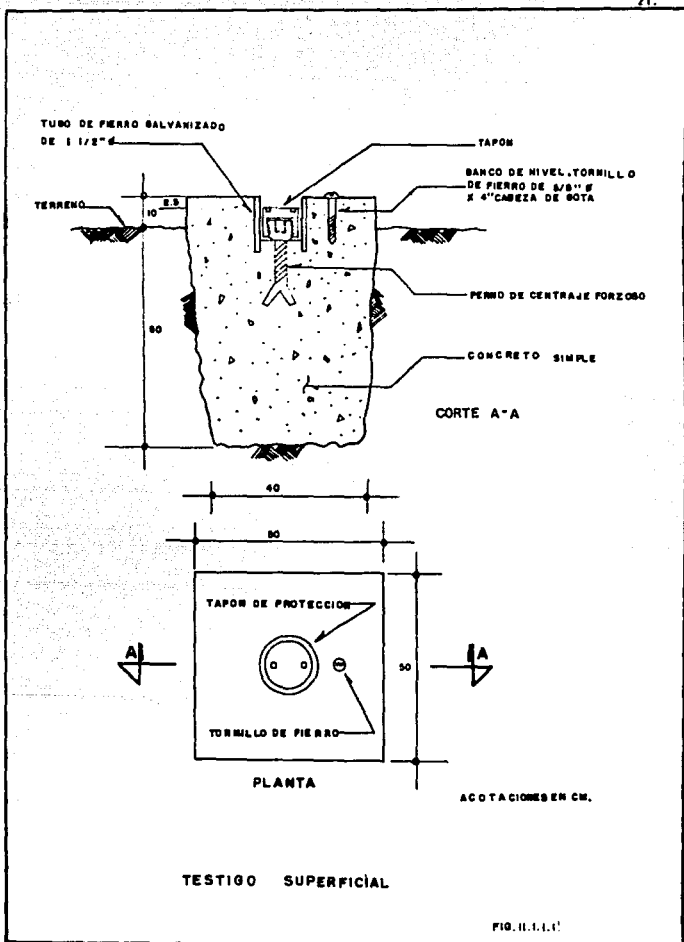
El monumento consiste en una columna de 120 cm. de altura sobre el nivel del terreno natural, con el fin de que al colocar el tránsito sobre el monumento, quede el lente a la altura de los ojos del operador; la base de la columna es una zapata de 120 X 120 cm. En la parte superior deberá estar colocada una placa de centraje forzoso dependiendo del tipo de tránsito que se utilice.

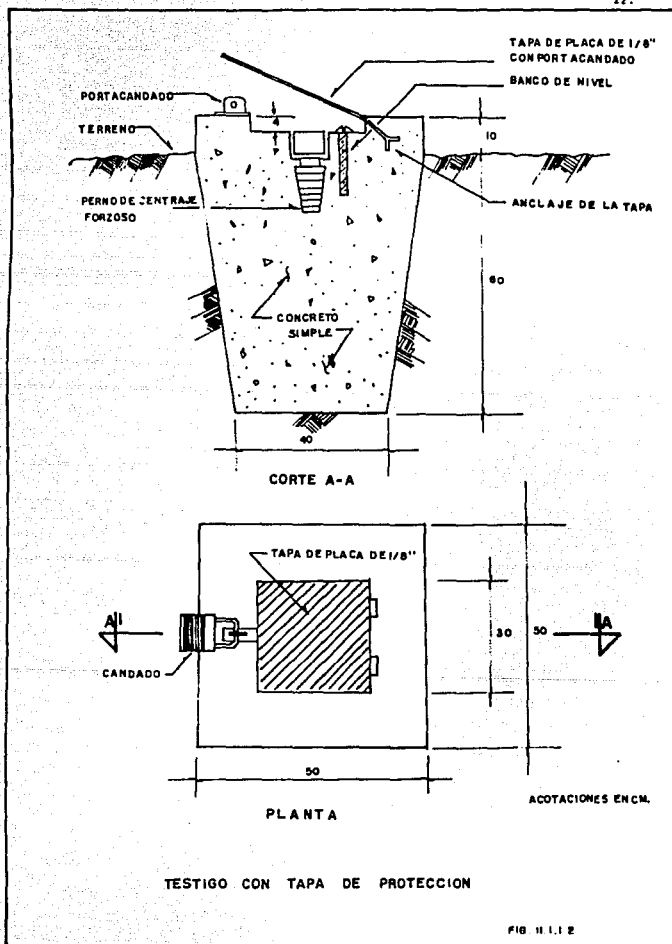
El monumento que sirve de referencia es similar al de centraje forzoso, pero no requiere de piezas metálicas, sólo deberá estar pintada con cuadros rojos y blancos definiendo la línea vertical de colimación al centro de dicha cámara (Fig. II.1.1.5), también es común colocar en la base del monumento un tornillo de cabeza de gota para la nivelación.

Para la instalación de los testigos superficiales, será necesario remover los materiales del recubrimiento, procurando desplantarse 10 cm. dentro del material impermeable. Cuando se instalen en enrocamiento, procederemos en la forma que se indica en la fig. II.1.1.6 .

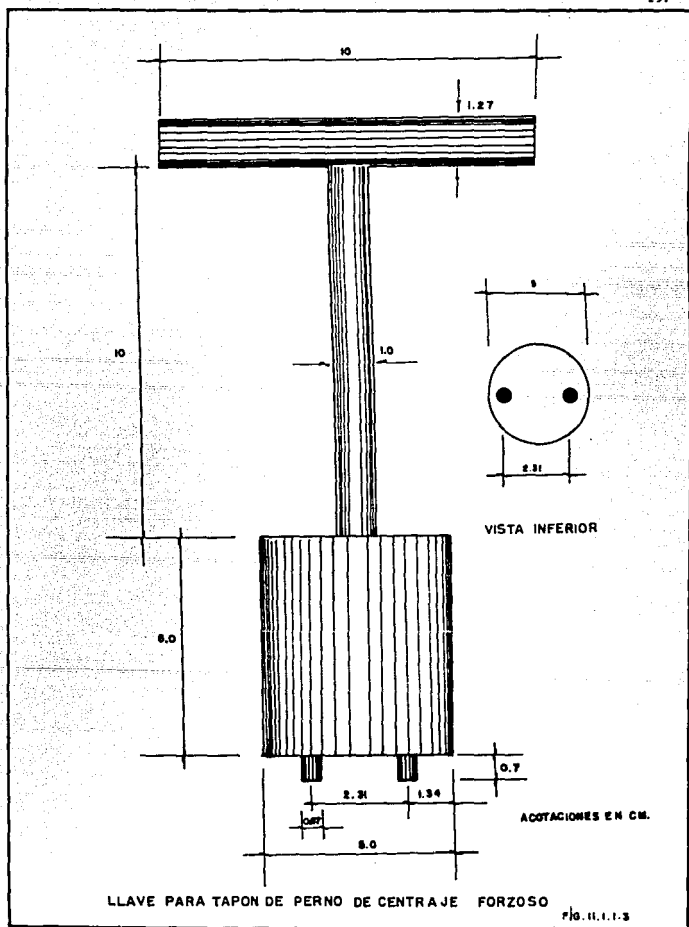
Para su construcción utilizaremos concreto dosificado para obtener una resistencia de  $140 \text{ Kg/cm}^2$ ; antes del fraguado se colocarán las piezas metálicas necesarias, consistentes en un perno de centraje forzoso, que deberá quedar perfectamente vertical y en una de las esquinas el tornillo con cabeza de gota que servirá para la nivelación.

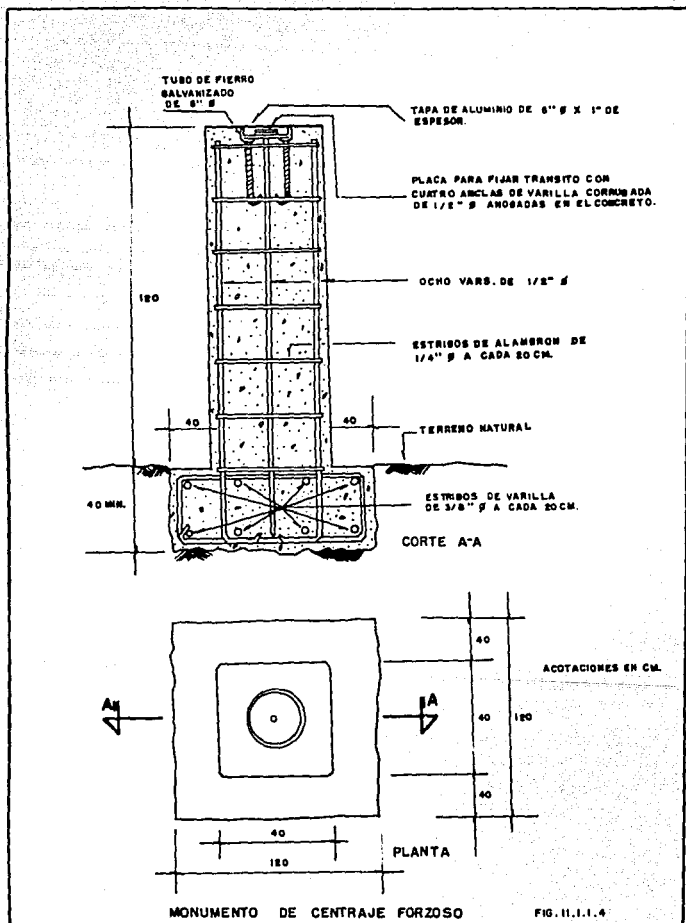
Para garantizar la verticalidad del perno, se puede utilizar un dispositivo, consistente en una base niveladora montada en una placa que se apoya en la cimbra y una pieza que se acopla al perno y que está unida al sistema nivelante.

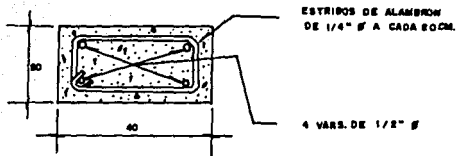




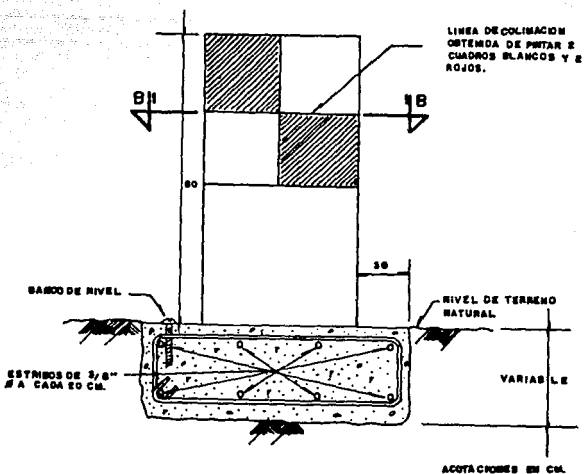




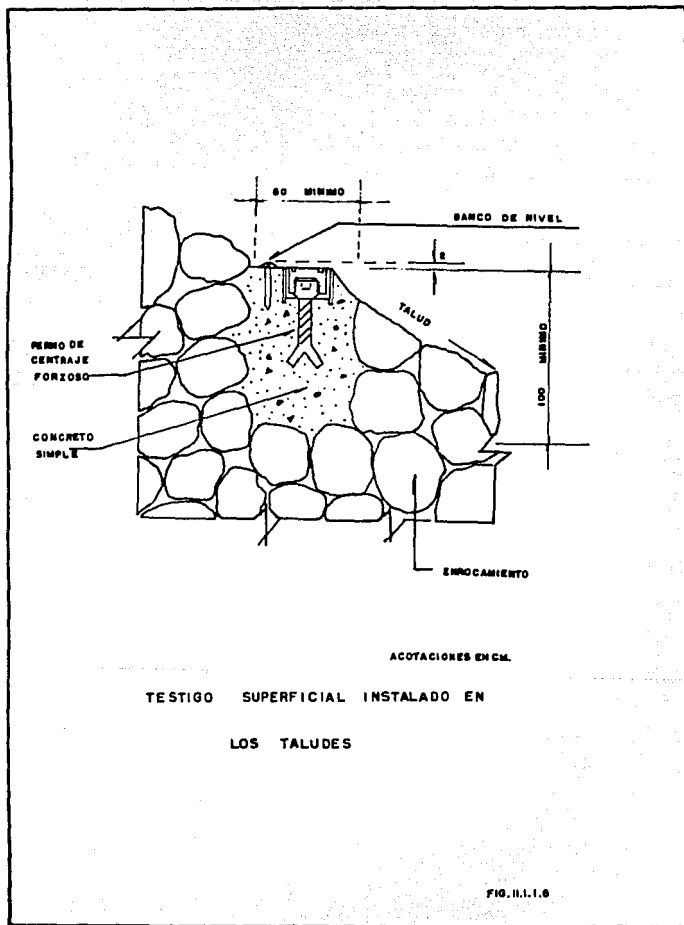




CORTE B-B



MIRA DE REFERENCIA



Previo al fraguado del concreto se coloca el dispositivo con el perno, se nivela y se deja fraguar antes de retirar el mecanismo.

Para la toma de lecturas, deberemos de realizar una revisión ocular de las condiciones en que se encuentran los testigos, con el fin de verificar que no estén deterioradas; el siguiente paso es localizar el monumento de centraje forzoso y colocar el tránsito sobre dicho monumento, nivelando el aparato se hace puntería sobre el monumento de referencia que se encuentra en la otra ladera, haciendo coincidir el hilo vertical del lente con la línea vertical del monumento, fijando el movimiento horizontal del limbo del tránsito desde ese momento, enseguida y solo con el movimiento vertical se van localizando los testigos, registrando la lectura correspondiente para cada testigo.

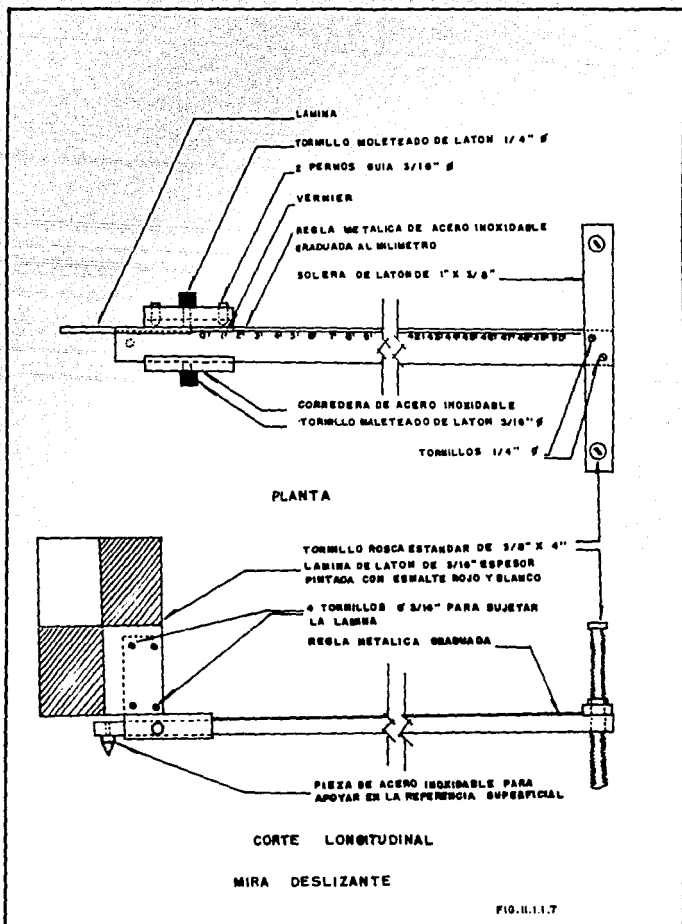
Para realizar las mediciones se coloca la mira deslizante (Fig. II.1.1.7) en el perno de centraje forzoso y mediante señales del operador se hará deslizar la mira hasta que su línea central vertical coincida con la línea vertical del lente del aparato, en ese momento en la escala de la mira se toma la lectura. Este procedimiento se realiza cinco veces para cada testigo y su valor -- será el promedio de las observaciones.

Los desplazamientos se pueden presentar a la izquierda o derecha de la línea de colimación, esto es, aguas arriba o aguas abajo, de acuerdo a la dirección del río.

Convencionalmente asignaremos signo (+) cuando el testigo se localice - aguas arriba de la línea de colimación y signo (-) cuando el testigo este aguas abajo de dicha línea; sabiendo que si la mira se desliza hacia aguas arriba - del testigo para intersectar la línea de colimación el testigo se encuentra - aguas abajo y viceversa y si la mira se desliza hacia aguas abajo de la línea de colimación el testigo se encuentra aguas arriba.

Los registros de campo y los cálculos se realizan en la forma que se muestra en la fig. II.1.1.8 , realizando los cálculos con la siguiente fórmula:

$$M_a = (L_a) - (L_l)$$



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON**  
 AREA DE MECANICA DE SUELOS Y ROCAS  
 OFICINA DE INSTRUMENTACION

**ASENTAMIENTOS Y COLIMACION EN TESTIGOS SUPERFICIALES**

FECHA..... ELEVACION DEL EMPALME..... LECTURISTA.....  
 CALCULO..... GRAFICO..... REVISOR.....

TESTIGO	ESTACION	ASENTAMIENTOS			DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES		
		ELEVACION ACTUAL	ELEVACION INICIAL	ASENTAMIENTO	LECTURA INICIAL	LECTURA ACTUAL	DESPLAZ. OBSERVADO
No.	Km.	M. D. M. M.	M. D. M. M.	Cm.	Cm.	Cm.	Cm.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5) = (3)-(4)	(6)	(7)	(8) = (7)-(6)

(-) ASENTAMIENTO      (+) DESPLAZAMIENTO HACIA AGUAS ARRIBA  
 (+) EXPANSION        (-) DESPLAZAMIENTO HACIA AGUAS ABAJO

FIG. 1.1.8

Donde:

$M_a$  = Desplazamiento actual

$L_a$  = Lectura actual

$L_i$  = Lectura inicial

Cabe aclarar que la operación se tiene que realizar algebraicamente, --

Ejemplo:

Lectura inicial 4.0 cm. aguas abajo de la línea de colimación.

En otra lectura en el mismo testigo 3.0 cm. aguas abajo de la línea de colimación, por lo tanto:

$L_i = -4.0$  cm.

$L_a = -3.0$  cm.

$M_a = (-3.0) - (-4.0) = +1.0$  (El signo indica el sentido del movimiento)

$M_a = 1.0$  cm. aguas arriba

se analiza el mismo ejemplo pero en fecha diferente

Supongamos que se leyó en el mismo testigo 6.0 cm. aguas abajo, tendre--  
mos:

$L_i = -4.0$  cm.

$L_a = -6.0$  cm.

$M_a = (-6.0) - (-4.0) = -2.0$

$M_a = 2.0$  cm aguas abajo

Una forma de presentar estos resultados consiste en dibujar una gráfica, a una escala conveniente, colocando en la línea horizontal todos los testigos separados, tal como se encuentra en la obra y para el desplazamiento horizontal se elige otra escala que resulte congruente con el rango de medición que se espera obtener.

Es conveniente adicionar una pequeña planta de localización de las líneas de colimación, así como la tabla que identifica las fechas de cada lectu--



ra, relacionando con un número progresivo que se asigna a cada curva.

Otra forma que se utiliza, es la que representa en el eje horizontal el tiempo y en el eje vertical la escala de deformaciones, ya sean movimientos - hacia aguas arriba o hacia aguas abajo, en la parte superior se presenta el - embalse para correlacionarlo con los movimientos

La experiencia que ha proporcionado la observación demuestra que las -- mayores deformaciones se presentan durante el primer llenado y siguiendo la tendencia del movimiento hacia aguas abajo.

#### II.1.2 Medición de deformaciones verticales

Se utiliza un método topográfico para determinar la elevación y cambios de elevación de puntos de referencia superficiales en el terreno o en una estructura, el orden de precisión dependerá del tipo de monumentos superficiales y del punto de referencia.

Los datos recabados sobre deformaciones verticales suelen constituir la parte más importante del movimiento de la cimentación de una estructura. Estas mediciones nos informan acerca de la magnitud, velocidad y distribución de los movimientos.

El método más sencillo para conocer las deformaciones consiste en, colocar una serie de testigos, localizados en las zonas de mayor interés y cuyo número depende de las condiciones de la estructura.

Lo más delicado de esta operación consiste en determinar el punto de referencia fijo, el cual no debe de participar en los movimientos de la estructura.

Para observar los asentamientos de una estructura térrea se utiliza un sistema que consta de varios elementos: monumentos para alojar el testigo, el testigo de observación y el banco de nivel.

El monumento es similar al observado en la fig. II.1.1.1, con la variante de que no lleva el perno de centraje forzado.

El testigo de observación (Fig. II.1.2.1) consiste en un tornillo de acero con cabeza de gota de 5/8" de  $\varnothing$  por 10 cm. de longitud ahogado en el monumento.

Para alojar el banco de nivel (Fig. II.1.2.2) es necesario excavar hasta 60 cm. de profundidad, o menos si se encuentra roca; la excavación será de 50 X 50 cms. en su interior se alojará una varilla de 3/4" de  $\varnothing$  por 50 cms. de longitud ahogada dentro del concreto simple con un  $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$ , ésta deberá sobresalir de 2 a 3 cm. con respecto al nivel del concreto y esta parte deberá estar redondeada (punta de bala).

Cabe hacer nuevamente la observación, que si se pretende obtener las deformaciones que realmente se están produciendo, debemos de ubicar los bancos de nivel en una zona lejos de la influencia de la obra, desplantados sobre terreno firme a fin de que no sufra prácticamente movimientos.

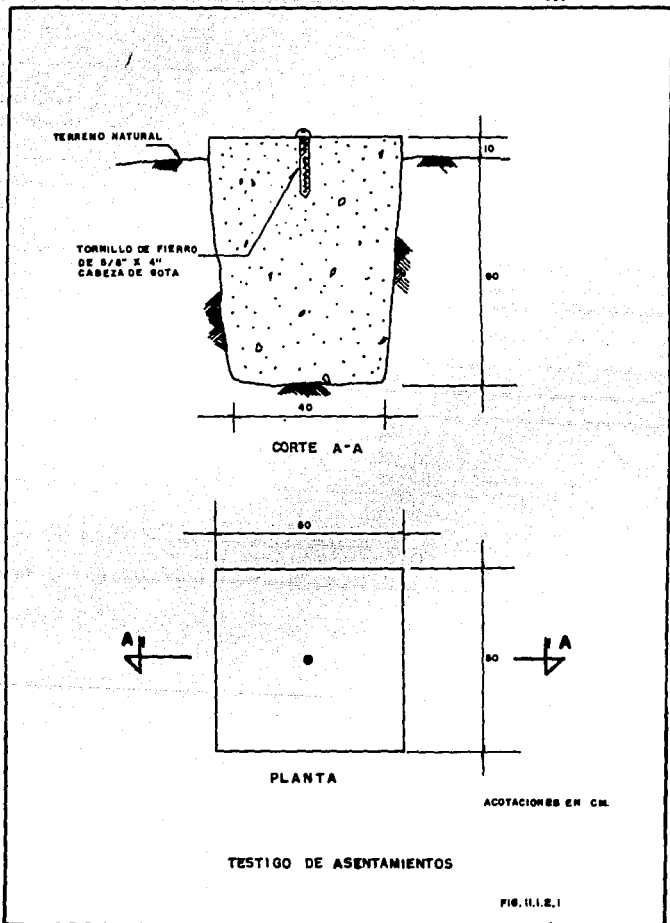
Cuando se presentan materiales comprensibles, se hace necesario disponer de varios bancos de nivel, ya sea uno superficial y otro profundo (desplantando sobre materiales firmes).

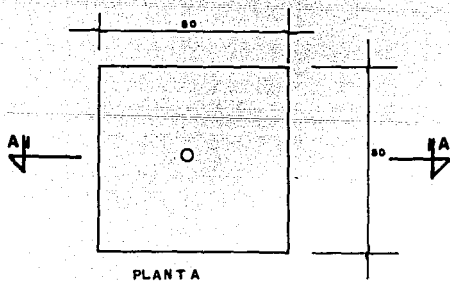
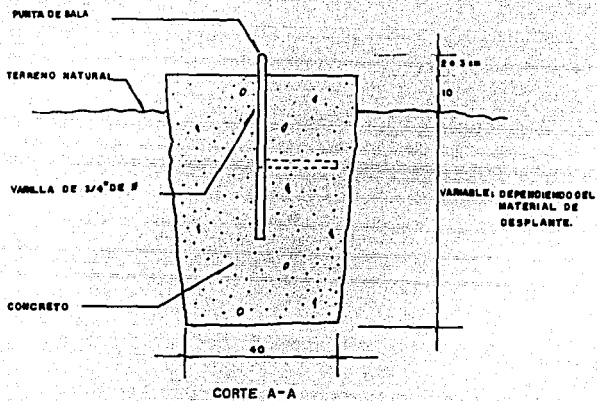
Los testigos en la corona deberán desplantarse sobre el material impermeable para que se transmitan efectivamente los movimientos verticales, para lo cual deberá removerse la totalidad del revestimiento de la corona y continuar la excavación 5 cm. en el material impermeable cubriéndolo de inmediato con un firme de 5 cm. de protección.

La excavación será rellena con concreto, con agregado no mayor de 4", posteriormente se ahoga el tornillo cabeza de gota.

Para los monumentos ubicados en los taludes se muestran los detalles en la fig. II.1.2.3

Para la instalación del banco de nivel superficial, es necesario desplantarlo en terreno firme, excavando lo necesario y relleno la excavación con

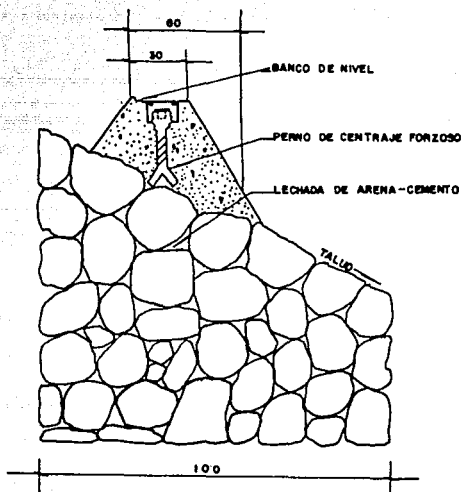




BANCO DE NIVEL

ACOTACIONES EN CM.

PG. I.I. 2.2



ACOTACIONES EN CMS.

TESTIGO SUPERFICIAL EN LOS TALUDES

FIG. II.1.2.3

concreto de agregado máximo 4", hincando posteriormente la varilla de 3/4".

La instalación del banco de nivel profundo requerirá de una perforación de 5" a 6" de diámetro y cuya profundidad alcance el estrato firme o la roca.

Cuando sea el material firme pero no roca, se fijará una pieza al terreno como la mostrada en la fig. II.1.2.4, a la que se le suelda un cople que une la tubería de 1" de Ø, que llega a la superficie.

Una vez instalada la base para el banco de nivel se vaciará un espesor de 2 a 3 m. de bentonita en "bolas", colocadas con cierta compactación y sobre este material se acopla la tubería galvanizada o PVC de 2" de Ø la cual deberá ser telescópica y se rellenará del mismo material la parte entre esta tubería y las paredes del barrenado.

Las mediciones consisten en una nivelación de precisión entre el banco de nivel y cada uno de los testigos.

Para asignar la elevación inicial, es necesario realizar inmediatamente después a su instalación, tres determinaciones de su elevación y tomar el promedio de ellas; posteriormente se realizarán nivelaciones periódicas, por lo menos cada 15 días, aunque puede aplicarse o reducirse este periodo dependiendo de las condiciones de la estructura.

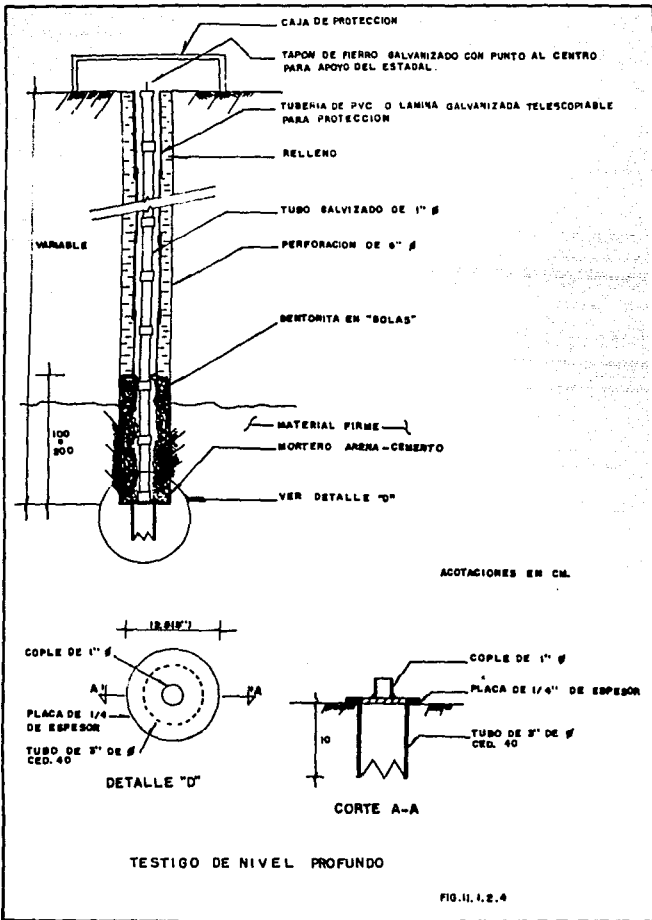
Las lecturas obtenidas para cada observación se anotan en la forma respectiva que se presenta en la fig. II.1.2.5.

La Deformación se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Deformación} = \text{Elevación Actual} - \text{Elevación Inicial}$$

Si la deformación resulta con signo (+) los movimientos corresponden a una expansión y si es en (-) representa una compresión.

Para que los resultados proporcionen una idea clara del comportamiento de la estructura, es necesario ordenarlos y presentarlos en una forma gráfica. En el eje horizontal y a escala, la separación entre testigos, y en el eje --



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
 ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON  
 AREA DE MECANICA DE SUELOS Y ROCAS  
 OFICINA DE INSTRUMENTACION

**ASENTAMIENTOS Y COLIMACION EN TESTIGOS SUPERFICIALES**

FECHA..... ELEVACION DEL EMBALSE..... LECTURISTA.....

CALCULO..... GRAFICO..... REVISO.....

TESTIGO	ESTACION	ASENTAMIENTOS			DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES		
		ELEVACION ACTUAL	ELEVACION INICIAL	ASENTAMIENTO	LECTURA INICIAL	LECTURA ACTUAL	DESPLAZ. OBSERVADO
No.	Km.	M. S. A. M.	M. S. A. M.	Cm.	Cm.	Cm.	Cm.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5) = (3) - (4)	(6)	(7)	(8) = (7) - (6)

(-) ASENTAMIENTO

(+) DESPLAZAMIENTO HACIA AGUAS ARRIBA

(+) EXPANSION

(-) DESPLAZAMIENTO HACIA AGUAS ABAJO



vertical las deformaciones que se presentan en la estructura.

Otra forma consiste en dibujar en una gráfica las deformaciones de los testigos en el eje vertical y el tiempo en que se van realizando en el eje horizontal. También se puede graficar en papel semilogarítmico, indicando en la escala logarítmica el tiempo y en la escala natural las deformaciones.

### II.1.3 Medición de Distancias entre Testigos Superficiales

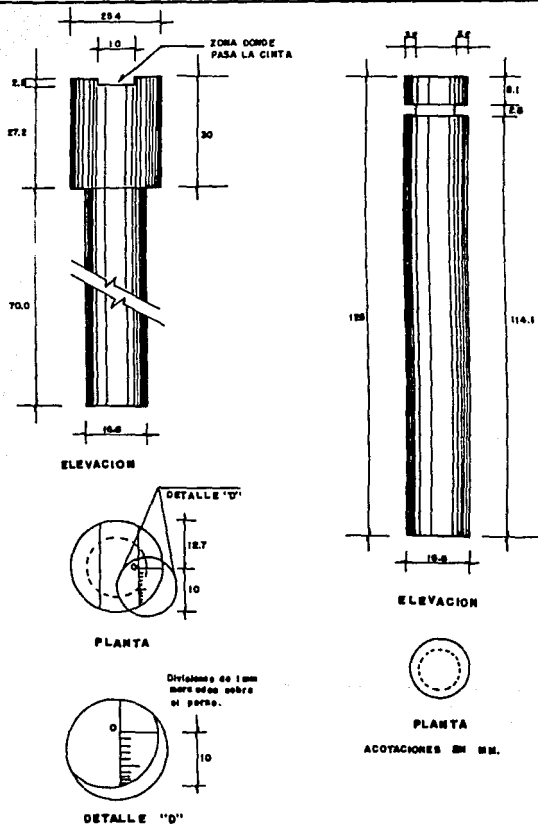
Estas mediciones son importantes para observar el comportamiento de la estructura, ya que, dependiendo de las condiciones de la boquilla se pueden presentar movimientos de compresión y de extensión en la superficie.

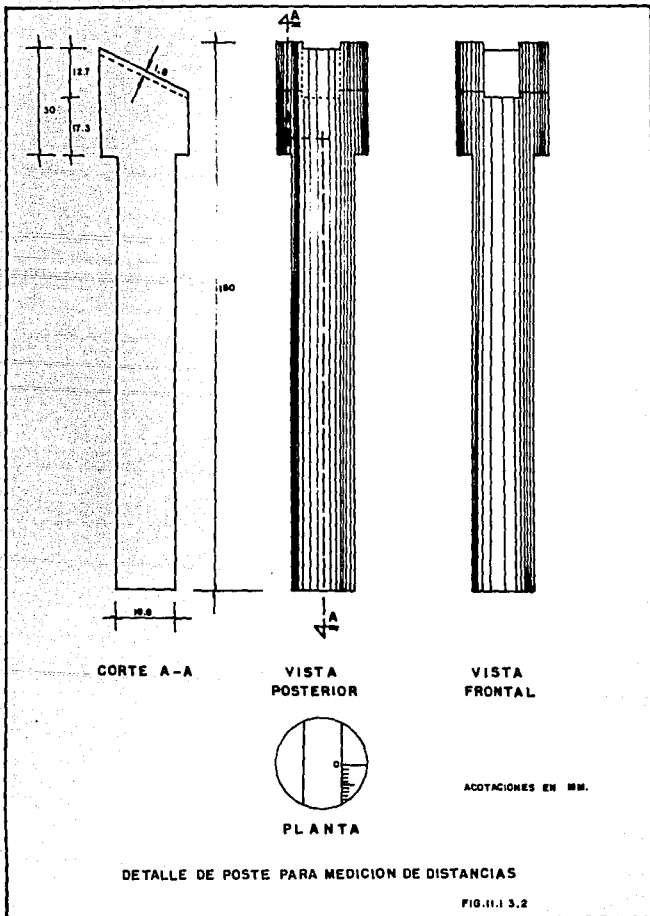
Los testigos son similares a los de centraje forzoso, también se utiliza el mismo perno para realizar las lecturas.

Para la observación de las distancias entre testigos, se han diseñado postes de acero inoxidable de 10.0 a 15.0 cm. de altura (Figs. II.1.3.1 y II.1.3.2), con auxilio de las cuales se efectúan las mediciones con cinta invar.

Uno de los postes, donde se coloca la cinta, tiene una ranura en la parte superior en la que se acopla y se pasa la cinta hasta el otro poste; en este último aparece el centro de referencia de medición; se debe utilizar un dinamómetro, con el fin de dar una tensión constante a la cinta en todas las lecturas.

Para tomar las lecturas se introducen los postes en los puntos de observación, los cuales entran justo en el perno. Uno de los pernos, tiene una muesca con una penetración de 3 mm. en la parte superior y en ella se coloca la argolla que tiene la cinta en uno de sus extremos; en el otro extremo se pasa la cinta, por medio de una jaladera y se conecta a un diámetro, tensándolo hasta obtener 10 kg. Efectuando esto se toma la lectura en el poste de referencia; la operación se repite tres veces tomando el promedio como resultado, la lectura obtenida se ajusta al milímetro.





Previo a toma de lectura es necesario conocer la elevación de los testigos, para realizar la corrección por desnivel. Para los taludes se sigue el mismo procedimiento, unicamente que el punto de referencia del que parte la medición debe de estar controlado topográficamente por medio de colimación.

Los datos obtenidos en campo son anotados en formatos como los que se presentan en la fig. II.1.3.3.

Los resultados de las observaciones comprenden tanto las correcciones por cambio de temperatura y tensión como por desnivel.

Lo primero que hay que tener es la distancia horizontal corregida por desnivel; lo cual se realiza con algunos cálculos trigonométricos, ésto es, obteniendo el ángulo primeramente y después la distancia actual. Teniendo - estos datos se realiza la diferencia de la lectura actual menos la lectura - inicial, obteniendo la magnitud del movimiento, tomando convencionalmente (+) para extensiones y (-) para compresiones.

La deformación unitaria se obtiene dividiendo el resultado anterior entre la longitud inicial entre testigos.

La representación gráfica de estos resultados se efectúa indicando en - uno de los ejes el tiempo y en el otro la deformación unitaria, ya sea de compresión o de extensión, dándole signo convencional a los movimientos.

#### II.1.4 Medición de Deformaciones por medio de Triangulación.

Es un método topográfico empleado como medio de control para levantamientos extensos, sirve como marco de referencia a los desplazamientos de las laderas, brocales de los instrumentos y de los monumentos en general.

La triangulación implica mediciones muy precisas de ángulos y de distancias a una línea base. El arreglo más simple consiste en una línea base - de longitud conocida comprendida entre dos bancos de nivel y dos ángulos definidos entre la línea base y el punto de observación. Si se requiere de más precisión se puede establecer un cuadrilátero de triangulación y medir todos los ángulos, junto con una o más líneas base.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON**

AREA DE MECANICA DE SUELOS Y ROCAS

OFICINA DE INSTRUMENTACION

**DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES Y ASENTAMIENTOS EN TESTIGOS SUPERFICIALES EN LA CORTINA**

FECHA \_\_\_\_\_ ELEVACION DEL ENBALSE \_\_\_\_\_ LECTURISTA \_\_\_\_\_

CALCULO \_\_\_\_\_ GRAFICO \_\_\_\_\_ REVISO \_\_\_\_\_

TESTIGO	ESTACION	ASENTAMIENTOS			DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES			DISTANCIA ENTRE TESTIGOS			
		ELEVACION ACTUAL	ELEVACION INICIAL	ASENTAMIENTO DEL TESTIGO	DESPLAZ. INICIAL	DESPLAZ. ACTUAL	DESPLAZ.	DISTANCIA INICIAL	DISTANCIA ACTUAL	DIFF. DE DIST. INICIAL - ACTUAL	DEF. UNITARIA
No.	EN	M. S. S. S. D.	M. S. S. S. D.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	1%.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)-(3)-(4)	(6)	(7)	(8)-(6)-(7)	(9)	(10)	(11)-(9)-(10)	(12)-(11) x (8)

FIG. N. 1. 3. 3

43.

Existen dos tipos de triangulación que son:

Triangulación Geodésica, que se utiliza cuando se desea conocer con precisión la posición de los vértices, considerando la curvatura de la tierra.

Triangulación Topográfica, que se utiliza cuando se desea conocer la posición de los vértices con respecto a los otros, tanto en distancia y ángulo como en altura, a partir de una base, esta última es la que se utiliza en instrumentación.

Existen varios procedimientos de triangulación como son:

La cadena de triángulos, que se emplea en trabajos de poca precisión, ya que solamente se puede checar con la suma de los ángulos interiores; la cadena de polígonos con vértice central y la red de cuadriláteros resultan más precisos, puesto que se pueden verificar los resultados de varias formas.

Las actividades de triangulación se pueden clasificar en dos grupos:

a) Operación de Campo:

- Elección de los vértices.
- Medición de la línea base.
- Orientación de la base o de cualquier lado de la triangulación.
- Liga del perímetro con cada vértice de la triangulación. (Lectura de ángulos).
- Medición de otra base para comprobar.

b) Operaciones de Gabinete

- Corrección del cierre de los ángulos.
- Cálculo de los ángulos a partir de los lados.
- Cálculo simultáneo de lados y ángulos con sus proyecciones.
- Cálculo de las coordenadas de los vértices.
- Construcción del plano de la triangulación.

Para la elección del lugar más apropiado para colocar los vértices se deben hacer recorridos tanto aéreos como terrestres, buscando formar triángulos que no tengan ángulos menores de  $30^\circ$  ni mayor de  $120^\circ$ .

La ubicación preliminar de los vértices se utiliza en planos topográficos, eligiendo los cerros o laderas de mayor altura, para que la visibilidad sea buena entre ellos.

La ubicación de la base será en un lugar sensiblemente plano y lo más alejado de la influencia de la estructura, una vez elegidos los vértices se realiza una reubicación en el terreno.

La medida correcta de los ángulos es un factor determinante para obtener buenos resultados. El procedimiento aconsejable es utilizar aparatos de un segundo de aproximación, medir cada ángulo con repeticiones en posición directa y después con el anteojo en posición invertida.

La cara superior del monumento debe quedar horizontal, con el fin de que los tornillos nivelantes no resulten insuficientes, en el centro de la cara superior se instalará el perno o placa de centraje forzoso en función del tránsito que se vaya a utilizar.

El procedimiento para medir la línea base requiere contar con apoyos provisionales de concreto (menos robustos que los monumentos) perfectamente empotrados en el terreno natural en línea recta entre los dos monumentos de la base.

El equipo mínimo para estas mediciones, consiste en una cinta invar de longitud apropiada, termómetro, dinamómetro, jaladera y lupa.

El procedimiento para realizar las mediciones es el siguiente:

Centrar el tránsito en uno de los monumentos, haciendo mira en el otro, determinando así la línea exacta para los apoyos intermedios.

Tender la cinta sobre los apoyos, si la cinta utilizada es de 50 m. los apoyos deberán estar a cada 25 m. sirviendo el apoyo central para nivelar la cinta, en este caso, el primer apoyo será uno de los extremos de la base.

Tensar la cinta, apoyando el dinamómetro cuidando que el cero coincida con el origen de la medición.

Tomar la temperatura ambiente al momento de realizar la lectura, evitando que la cinta vibre con el viento.

Cumpliendo con lo anterior se hace una marca a los 50 m. en el apoyo - auxiliar con ayuda de la lupa.

Los datos deben comprobarse repitiendo el procedimiento, una vez contando con los datos se procede con la corrección por temperatura, con la comparación de la cinta, dato que debe proporcionar el fabricante.

En la actualidad existe equipo electrónico de gran precisión a base de rayos infrarojos para medir distancias (distanciómetros). Con otros aparatos de este tipo, además, se tiene la ventaja de poder medir los ángulos, realizar la lectura de la base con toda precisión y calcular la triangulación casi instantáneamente y en el mismo campo.

Seguidamente se obtiene el rumbo de la base y las coordenadas de uno de los vértices, para lo cual se hace necesario ligar la base a algún punto en coordenadas conocidas, si no se cuenta con dicho punto, deberá realizarse el cálculo de las coordenadas de uno de los vértices por algún método tradicional de topografía.

Ya contando con el rumbo de la base medida exacta de la longitud y las coordenadas de su vértice se procede a realizar la observación de los ángulos de la triangulación.

Las lecturas de los ángulos se deben realizar dos veces en directo y doce en inversa, de tal forma que se obtenga un error máximo de tres segundos en promedio.

El cálculo de la triangulación consiste en la determinación de las coordenadas de cada vértice, en donde la posición inicial nos da el desplazamiento que ha sufrido. Para realizarlo tenemos que basarnos en los ángulos y las distancias entre los vértices y con el apoyo de la medida de la base, calcular el resto de las distancias.



Dado que el cálculo resulta un trabajo laborioso y requiere de una gran precisión, frecuentemente los resultados se determinan a través de un programa de computadora, con el fin de obtener resultados rápidos y con la seguridad de que "no existe error humano" en el procedimiento de cálculo.

El procedimiento de cálculo resulta demasiado extenso, por lo que únicamente se plantea la idea de solución considerando que existen métodos para obtenerla.

## II.2 TESTIGOS PROFUNDOS

### II.2.1 Testigo de Cimentación

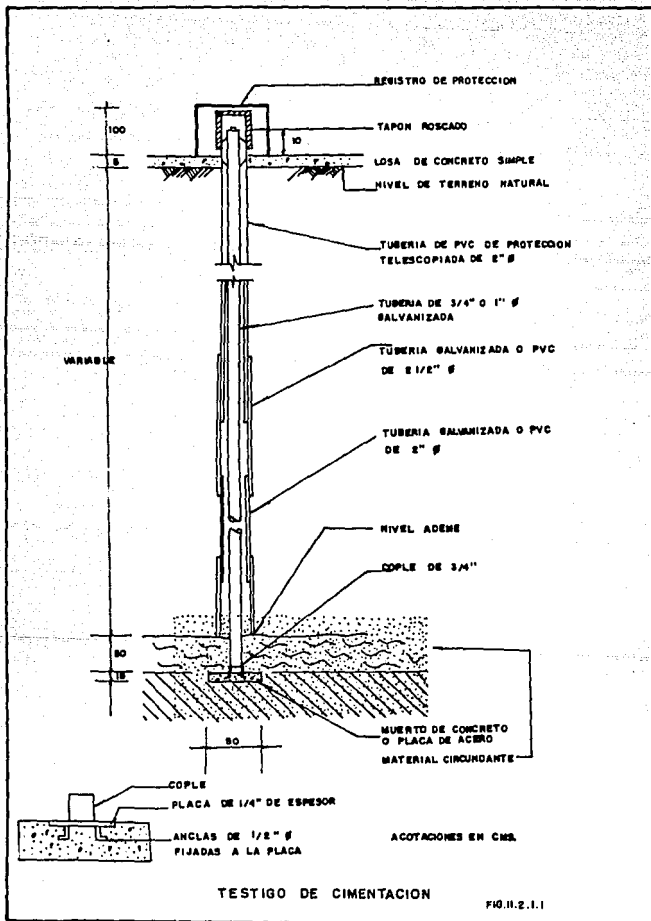
Este dispositivo consiste en un elemento que puede ser un firme de concreto o una simple placa metálica sobre una superficie previamente preparada -- (Fig. II.2.1.1), que representa el empotramiento del testigo, así como el sitio y la elevación donde se desean conocer los asentamientos.

La comunicación al exterior es una tubería galvanizada de diámetro pequeño que varía de  $3/4"$  a  $1"$  o bien, una barra metálica fija al empotramiento del testigo.

Al ir avanzando la construcción de la estructura, hay que ir adicionando tramos de tubería de corta longitud hasta llegar a la superficie. Los asentamientos se determinan con nivelaciones topográficas periódicas del extremo superior de la varilla o tapón de la tubería.

Otra parte importante del instrumento la constituye la tubería telescopiada de protección, que evita la fricción que se presenta entre la tubería y el material circundante y para permitir el libre movimiento de la tubería del testigo.

La tubería telescopiada puede ser aluminio o PVC, la cual es mayor que la central, en proporción de 2 a 3 veces. El resto de los componentes lo forman, los sistemas de bancos de nivel y equipo topográfico necesario, este trabajo representa una nivelación de precisión.



La instalación de los testigos de nivel profundo, puede realizarse cuando ya fue terminada la obra mediante una perforación a la profundidad deseada.

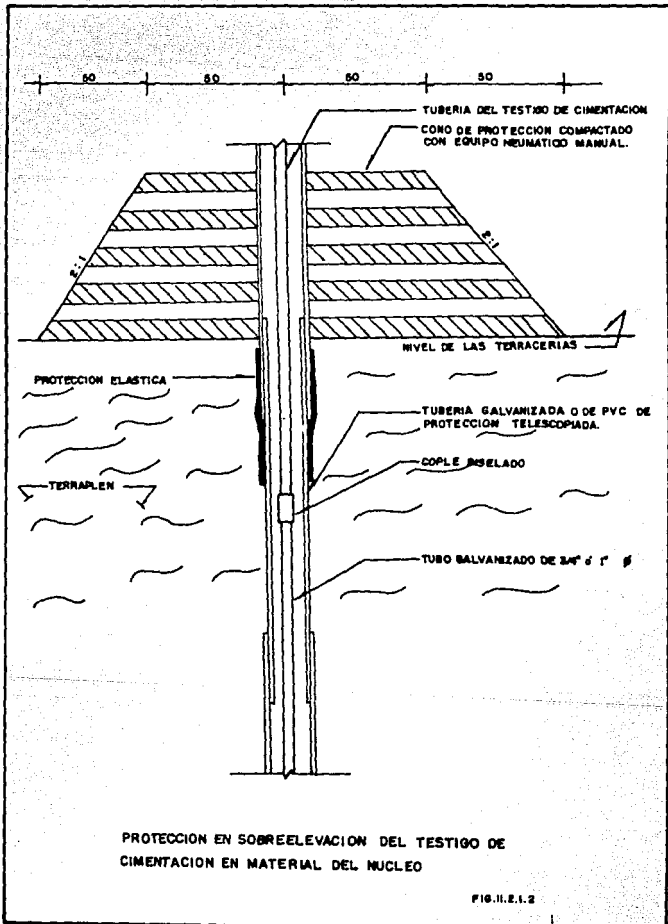
Cuando la instalación se realiza durante la construcción se coloca el testigo en una excavación poco profunda, normalmente de 30 X 30 cm. en planta y 10 cm. de espesor, aunque esto depende de las características del terreno y la altura de la tubería.

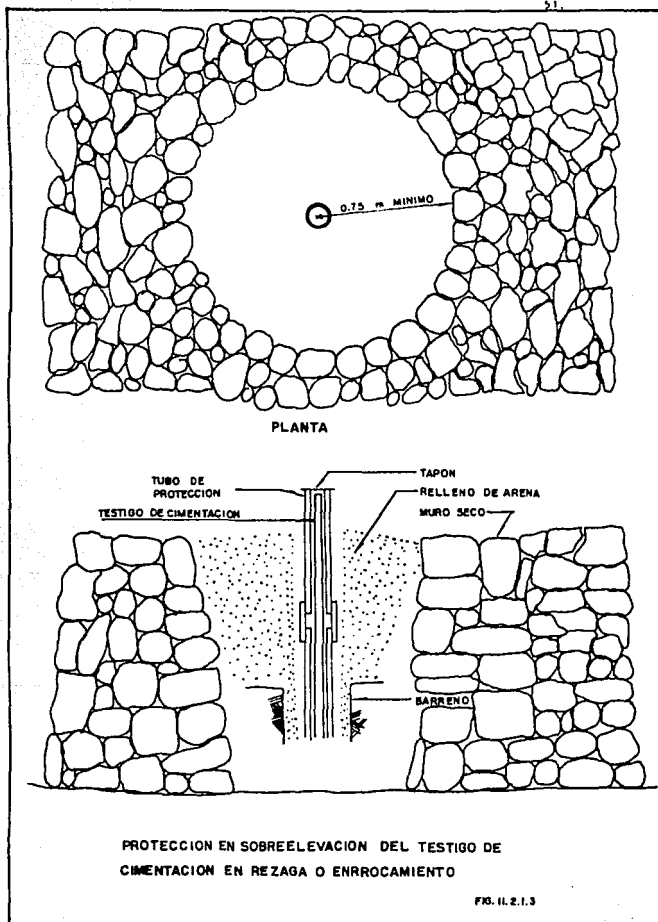
Una vez colocado el testigo con el primer tramo de tubo o varilla, se procede a cubrirlo con el mismo material de la zona; cuando el concreto esté cubierto con una capa de 50 cm. del mismo material utilizado, se colocará el primer tubo de protección, que no podrá descansar sobre el testigo. Para el mejor manejo de la tubería se recomienda utilizar tramos de 1.60 m., procurando llevar siempre más alta la tubería central. Las uniones entre tramos se realizan mediante coples biselados para las tuberías y cuando se utilicen varillas deberán soldarse conforme se avance.

Una vez terminada la instalación del primer tramo de testigo, se procede a nivelar la parte superior del tubo, obteniendo así la elevación inicial. Es importante tomar las lecturas antes y después de que se instale un nuevo tramo. de esta forma se obtendrá la lectura inicial para cada tramo y se podrán conocer las deformaciones que se presentan durante la etapa de construcción.

A fin de evitar que los instrumentos sean dañados por el equipo o maquinaria de trabajo, se acostumbra protegerlos con un cono sobreelevado por arriba del avance de la terracería. La protección puede ser en material impermeable (Fig. II.2.1.2) o en materiales pétreos (Fig. II.2.1.3), donde observamos los detalles.

Existe otro método que se utiliza para material impermeable, consistente en un cilindro metálico de 60 cm. de altura y 40 cm. de  $\phi$  y  $1/2"$  de espesor, cubierto con una lámina del mismo material. Primeramente habrá que colocar este dispositivo protector sobre la varilla y tubería telescopiada, posteriormente se realiza la sobreelevación del terraplen hasta una altura de 2.0 m. arriba del nivel de la caja protectora, luego para localizar el punto de instalación se realizan intersecciones topográficas ubicando el punto y se procede a excavar hasta encontrar la caja. Retirándola del lugar para acoplar la tubería y





la tubería de protección hasta llegar a 60 cm. abajo de las terracerías, enseguida se procede a rellenar hasta 80 cm. abajo del nivel de avance el espacio entre la tubería y las paredes de la excavación, a continuación se coloca nuevamente la caja protectora y se rellena hasta el nivel de avance, logrando de esta manera continuar sus maniobras. Lo anterior se muestra en la fig. II.2.1.4.

Este procedimiento se repite las veces que sea necesario, hasta llegar al nivel de terminación del proyecto, en donde se construye un registro de proyección de concreto con tapa y candado como se muestra en la fig. II.2.1.5.

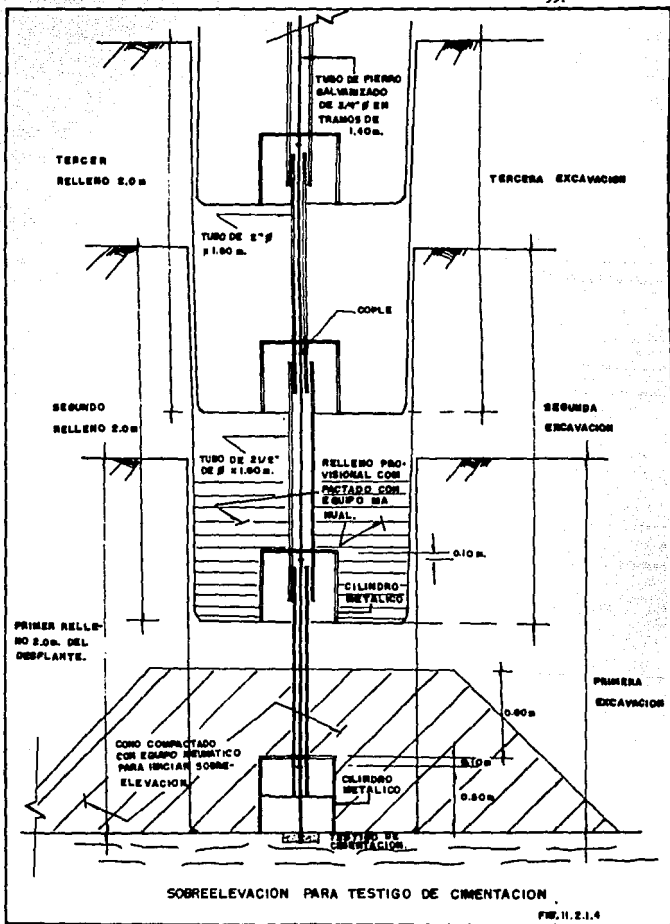
La toma de lectura en los testigos durante la etapa de construcción, consiste en efectuar una nivelación de precisión, desde el banco de nivel con el fin de asignar una elevación inicial al testigo de cimentación. A continuación se deberá asignar con la misma precisión una elevación al brocal de la primera varilla o tubo anclado en el concreto para que mediante una diferencia de elevaciones se obtenga la diferencia al milímetro entre el testigo y el brocal.

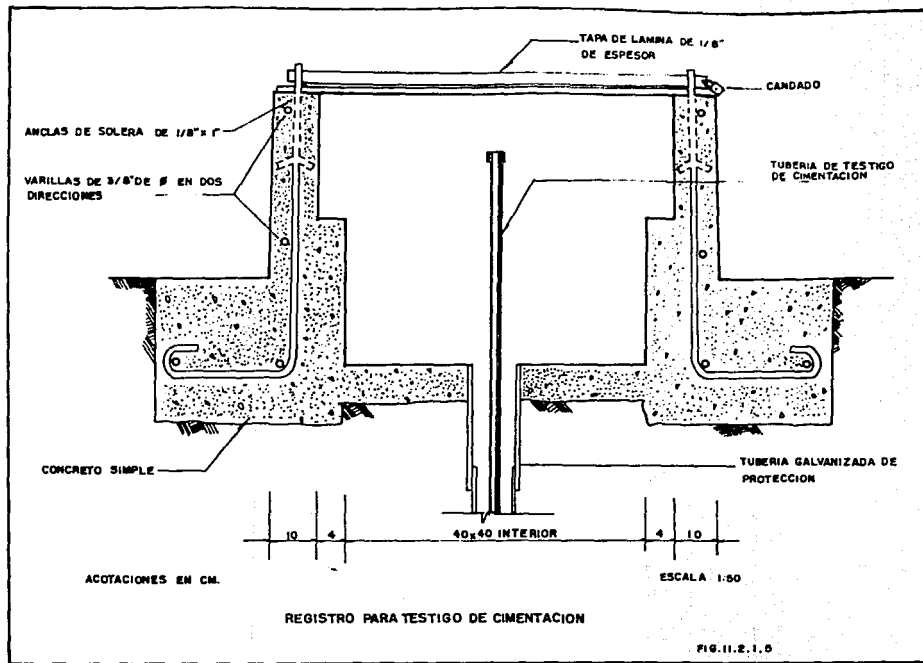
Cuando se anexe un nuevo tramo de varilla, se deberá realizar una nivelación antes y otra inmediatamente después de colocar el nuevo tramo, con el fin de conocer la longitud exacta que se está adicionando y sumársela a la longitud original para conocer a partir de la elevación del nuevo brocal la elevación del testigo, esta operación se repite hasta llegar al brocal definitivo.

La toma de lecturas cuando se tiene el brocal definitivo, consiste en realizar nivelaciones de precisión periódicas, para determinar en cada caso la elevación de los testigos, comparándola con la elevación inicial y determinar los asentamientos, la fig. II.2.1.6 muestra la forma de registro correspondiente.

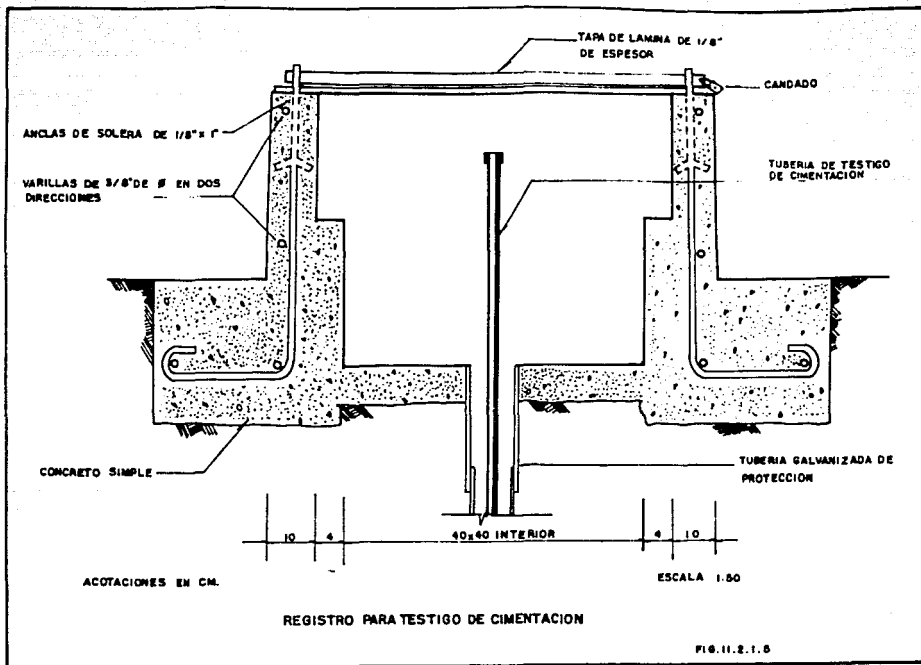
## II.2.2 Deformómetro Vertical tipo Cross-Arm

Para evitar la fricción negativa en el tubo vertical de las placas de asentamientos, se desarrolló un medidor de asentamientos con tubería telescópica conocido como deformómetro vertical (Fig. II.2.2.1). A partir de las mediciones de este dispositivo se puede determinar la compresión de las distintas capas y el asentamiento total a lo largo del eje vertical del aparato.

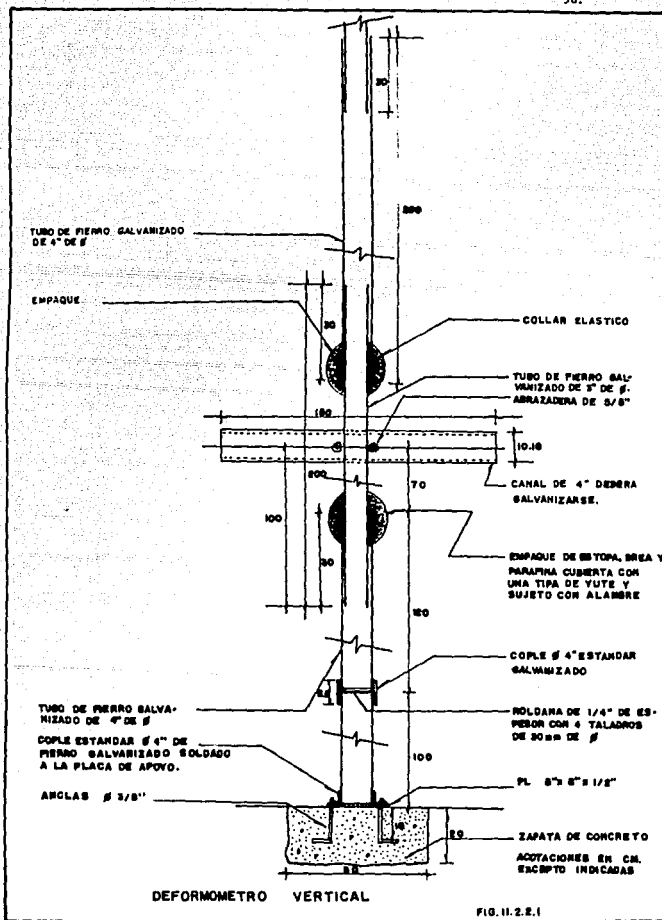












Los deformómetros se instalan en el terraplen durante la construcción.

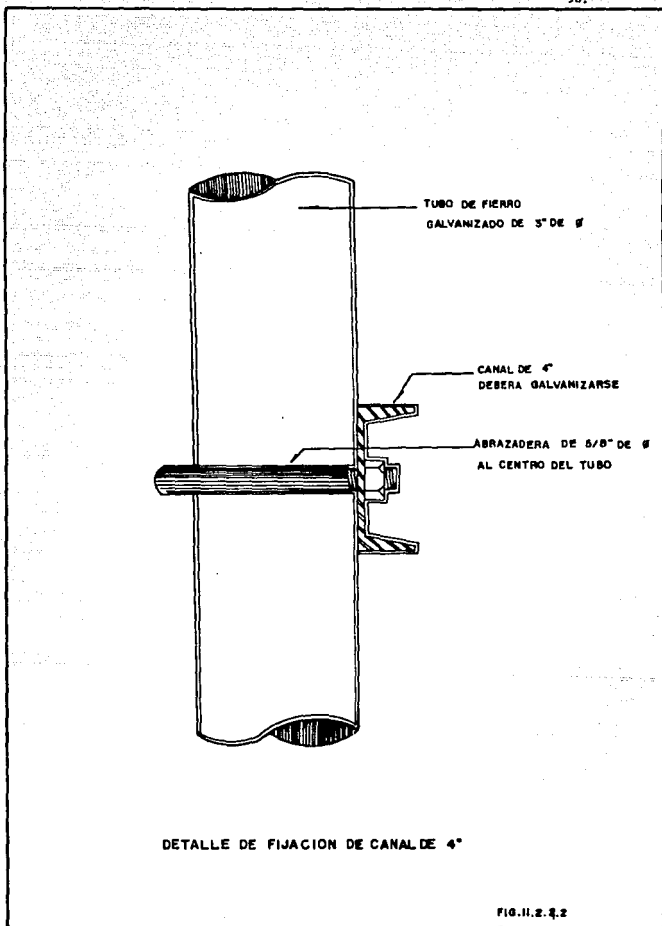
Para su instalación se procede a realizar una excavación de 50X50X20 cm. en el lugar indicado en el proyecto, en la que se vacía concreto dosificado - para alcanzar una resistencia  $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$  fijando cuatro anclas de  $3/8"$  de  $\emptyset$  y 20 cm. de longitud, soldadas a una placa metálica que será la base del testigo; a ésta se le soldará un cople de  $4"$  de  $\emptyset$  y se colocará un tramo de tubo galvanizado de 1.0 m. por  $4"$   $\emptyset$ , sobre él irá una roldana de 30 mm. de  $\emptyset$  y de  $1/4"$  de espesor, a la que se realizan cuatro perforaciones diametralmente opuestas de 3 cm. de  $\emptyset$ , para que si hay azolves, éste pase a la parte inferior, y a la vez, sirva de tope al torpedo de medición y cierre el sistema - para ser extraído.

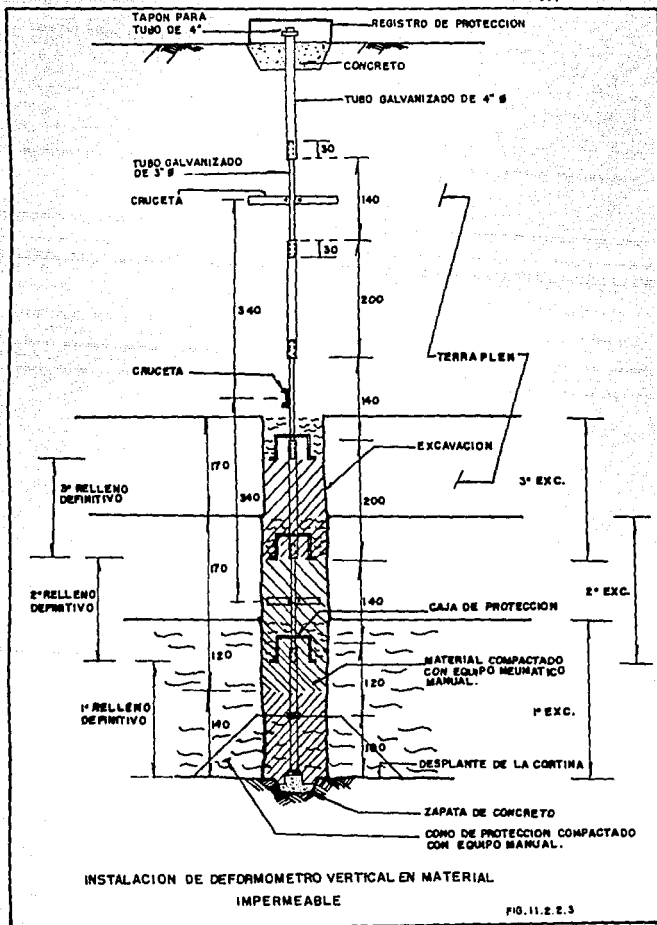
A continuación se coloca un nuevo tramo de tubo galvanizado de  $3"$   $\emptyset$  por 2.0 m. de longitud, quedando traslapado en el extremo inferior 30 cm. dentro de la tubería de  $4"$  y este traslape se protege con un empaque de estopa, brea y parafina, cubierto con una tira de yute, la cual se sujeta firmemente con - alambre, el collar de unión se hace con hule neopreno. A medida que se construye el terraplen se van agregando nuevos tramos de tubos, primero de un diámetro y luego de otro, determinando la elevación en la parte superior de cada tramo con nivelación topográfica.

El diseño original del deformómetro marca la utilización de una canal - de acero (galvanizada) de  $4"$  que deberá sujetarse a la tubería con abrazaderas de  $5/8"$  de  $\emptyset$  en la fig. II.2.2.2 se observan los detalles de la fijación.

Los canales son colocados perpendicularmente entre sí, con un espaciamento vertical de 3.4 m. El relleno será con material circundante compactado con equipo neumático manual, para la instalación del deformómetro durante la construcción se puede utilizar algún método de sobre elevación, explicado con detalle en la instalación de testigos de cimentación. La fig. II.2.2.3 muestra un deformómetro instalado en material impermeable, utilizando el método - del cilindro metálico para las sobre elevaciones.

En cualquier tipo de instrumento existe la posibilidad de falla, un ejemplo lo constituye el no tomar en cuenta el peso propio de la tubería que, cuando se requiere de una gran longitud y el terreno donde se desplantará el testi-





go es considerado blando y muy deformable, se presentan asentamientos de mayor magnitud en el sitio del testigo; por lo anterior, no se recomienda utilizar tuberías de diámetros grandes y en caso de utilizarse considerar su peso, por otro lado, se recomienda que las bases de los testigos no tengan mucho peso y que las dimensiones de las secciones en su base sean amplias, para distribuir mejor el peso y seguir con más facilidad los desplazamientos verticales del terreno.

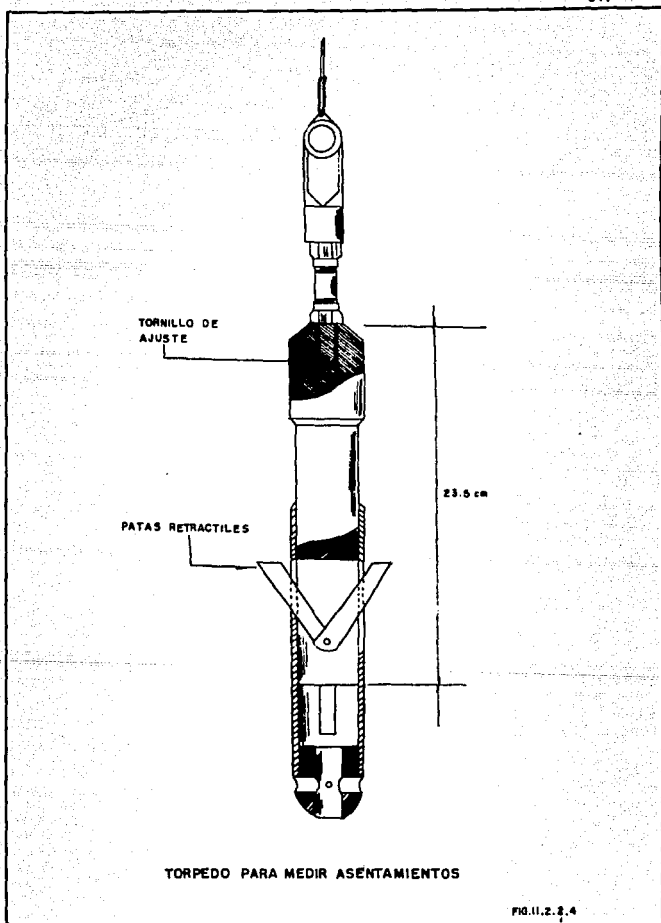
La forma de tomar las lecturas consiste, en determinar el cambio de los extremos interiores de los tubos de menor diámetro, que son los que cuentan con las cruzetas, para lograrlo se realiza una nivelación de precisión en el brocal y mediante un dispositivo formado por una cinta y un torpedo cilíndrico con aletas retráctiles a los lados (Fig. II.2.2.4). Al introducirse dentro del tubo pequeño las aletas se retraen y al llegar al extremo del mismo y al caer en un cople telescópico se abren en forma tal que el torpedo no puede volver a izarse por el tubo interior. Las aletas se atorán en el borde inferior del tubo y aplicando una tensión constante se puede transferir su posición vertical a la superficie, posteriormente se hace descender el torpedo hasta el cambio de diámetro y tomando nuevamente la lectura, esta operación se repite el número de veces que sea necesario.

El torpedo tiene un mecanismo especial de destrabado accionado por un pistón en la punta que retrae las aletas cuando choca contra el fondo y así permite su extracción. En la fig. II.2.2.5 se presenta una forma de registro utilizada para anotar las lecturas correspondientes.

La forma de cálculo es muy sencilla, se determina la elevación actual del testigo por medio de una nivelación de precisión al brocal, restando la distancia constante entre el testigo y el brocal, para compararla finalmente con la elevación inicial.

### II.2.3 Medidor Hidráulico

Son instrumentos que se utilizan en el interior del cuerpo de una estructura para observar los movimientos verticales que se presentan, tanto en el coirazón impermeable como en materiales granulares, en la etapa de construcción, como en la etapa de operación.





**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON**  
 AREA DE MECANICA DE SUELOS Y ROCAS  
 OFICINA DE INSTRUMENTACION

**LECTURAS DE ASENTAMIENTOS Y DEFORMOMETRO VERTICAL**

ESTACION \_\_\_\_\_  
 FECHA \_\_\_\_\_ OBSERVADOR \_\_\_\_\_ NOVA \_\_\_\_\_  
 ELEV ACTUAL DEL TERRAPLEN \_\_\_\_\_ ELEV DEL ENBALSE \_\_\_\_\_  
 ELEV DEL AGUA EN EL POZO \_\_\_\_\_

No.	ELEV. INICIAL DE LA CRUCETA	ELEV. ACTUAL DE LA CRUCETA	AVERIAMIENTO DE LA CRUCETA	DIST. INICIAL ENTRE CRUCETAS	DIYANCIA ACTUAL ENTRE CRUCETAS	DESPLAZAMIENTO ENTRE CRUCETAS A LA FECHA

Los testigos hidráulicos son muy sencillos tanto en su instalación como en su operación; consiste en un vertedor triangular de PVC protegido y fijado a una "T" de PVC dentro del cuerpo de la estructura y en la elevación donde se desea conocer sus movimientos.

Por otro lado, en la caseta de instrumentación o galería, se tiene un sistema de lectura, que se comunica con un tubo médico de plástico de 1/2" Ø que se tiene que proteger con una tubería telescopiada.

La instalación de estos instrumentos se realiza durante la etapa de construcción, ya que medirá asentamientos interiores del cuerpo de la cortina.

Localizando el sitio de instalación, se controla topográficamente los niveles de avance de la terracería, de tal forma que, en la zona de instalación y hasta la caseta de toma de lecturas se establezca una pendiente de 4%. La elevación superior corresponde al lugar donde se instalará el vertedor y la inferior a la galería o caseta de medición.

Una vez que la terracería se encuentra a 70 cm. arriba del nivel de instalación de proyecto, se excava una zanja hasta la profundidad de instalación. Deberá cuidarse la pendiente indicada (4%) por medio de nivelaciones, para evitar contra pendiente en el fondo, dado que ésta servirá de apoyo para la tubería telescopiada y sistema de medición.

Será necesario instalar un tubo médico de plástico de 1/2" sin uniones, desde el vertedor hasta el tanque de abastecimiento de agua; la manguera es protegida con una tubería de PVC de 3" de Ø; asimismo, debe verificarse que el vertedor esté debidamente fijo a la "T" de PVC, y que la terminal de lecturas ya se encuentre colocada en el lugar de medición. El sistema de lecturas consta de una manguera plástica transparente sujeta a la escala graduada con las elevaciones correspondientes, acordes con los niveles del vertedor.

En el fondo de la zanja se instala el testigo hidráulico cuidando que la "T" de PVC, que contiene el vertedor quede perfectamente vertical, para lo cual se hace una cama de arena y posteriormente un firme de 0.10 m. A continuación se conecta el tubo médico al vertedor y se va colocando la tubería de PVC teles-

copiada, hasta colocarla con el sistema de lectura y al tanque de abastecimiento. Los detalles del testigo hidráulico se observan en la Fig. II.2.3.1.

Se verifica el funcionamiento vertiendo agua dentro del sistema, si por alguna razón no se contara con la escala de lecturas, deberá comprobarse con los niveles en el vertedor y en el extremo opuesto, con lo que se verifica el funcionamiento y se establecen los niveles de escala de lectura.

La excavación será rellenada y compactada en capas pequeñas de 0.15 m. sobre la tubería y 0.50 m. sobre el testigo hidráulico con pisón de mano. Como protección, el testigo deberá tener un espesor mínimo de 2.0 m. ya sea de arcilla o rezaga, para que los equipos de compactación puedan pasar por la zona de instalación.

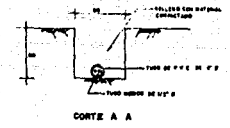
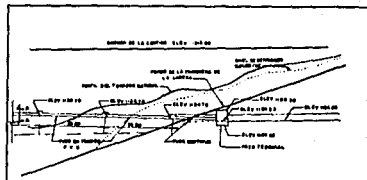
El sistema de operación es muy sencillo y está basado en el principio de vasos comunicantes.

La toma de lecturas se realiza de la siguiente forma: desde la zona de lecturas se inyecta agua del tanque al vertedor a través del tubo médico, al mismo tiempo, va subiendo el nivel por la manguera que está sobre la escala de lecturas; se continúa inyectando suficiente agua, hasta derramarla por el vertedor y que pueda retornar al cárcamo.

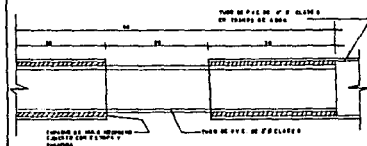
Cuando en la manguera o bureta no se noten cambios de nivel, en ese momento se realiza la lectura. Posteriormente se desfoga el agua de la manguera y se repite la operación, registrando las dos lecturas efectuadas en la forma correspondiente, como en la fig. II.2.3.2.

Durante la etapa de construcción hay que realizar la toma de lecturas periódicamente, dependiendo del avance de construcción.

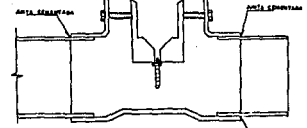
La interpretación gráfica de los asentamientos pueden ser de dos formas: en una de ellas se presenta la configuración del asentamiento seguido por los testigos y en la otra gráfica se presentan los movimientos ocurridos en los testigos contra tiempo; es conveniente que en las dos gráficas se indique la etapa de construcción y el embalse para correlacionar ambos efectos. También es común presentar gráficamente los movimientos ocurridos para cada testigo contra el logaritmo del tiempo.



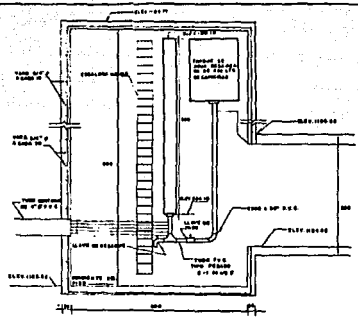
CORTE A A



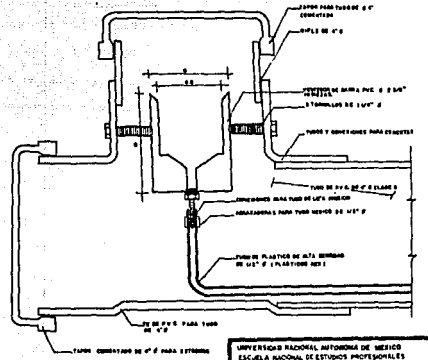
DETALLE DE ACOPLAMIENTO ENTRE TUBO DE 4" Ø Y TUBO DE 8" Ø



CONEXION DEL VERTEADOR CON LA TUBERIA DE 4"



POZO TERMINAL



MANHOLE

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
 ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
 AREA DE INVESTACION DE RECURSOS Y RIESGOS  
 OFICINA DE INVESTIGACIONES  
 TESTIGO METEOROLOGICO DE ASERTAMIENTOS  
 CARRILLO GUERRA  
 1998-11-15

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON**  
**AREA DE MECANICA DE SUELOS Y ROCAS**  
**OFICINA DE INSTRUMENTACION**

**TESTIGOS HIDRAULICOS**

FECHA \_\_\_\_\_ ELEV. DEL EMBALSE \_\_\_\_\_ LECTORISTA \_\_\_\_\_  
 CALCULO \_\_\_\_\_ GRAFICO \_\_\_\_\_ REVISO \_\_\_\_\_

TESTIGO	ESTACION		ELEVACION	PRIMERA LECTURA		SEGUNDA LECTURA		LECTURA ACTUAL	INICIAL		DESPLAZAMIENTO VERTICAL
	No.	Km.		M. S. R. M.	M	M	M		M	M	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	M <sub>2</sub> - M <sub>1</sub>		(7)	(8) = (6) - (7)		

OBSERVACIONES

FIG. II. 2. 3. f

#### II.2.4 Celda Medidora de Asentamientos

Este dispositivo fue desarrollado por la técnica francesa y consta de -- una celda plástica de 9.5 mm. de espesor y 17 cm. de diámetro. El instrumento es colocado en el cuerpo de la estructura o dentro del terreno de cimentación en el lugar en que se desea conocer los asentamientos.

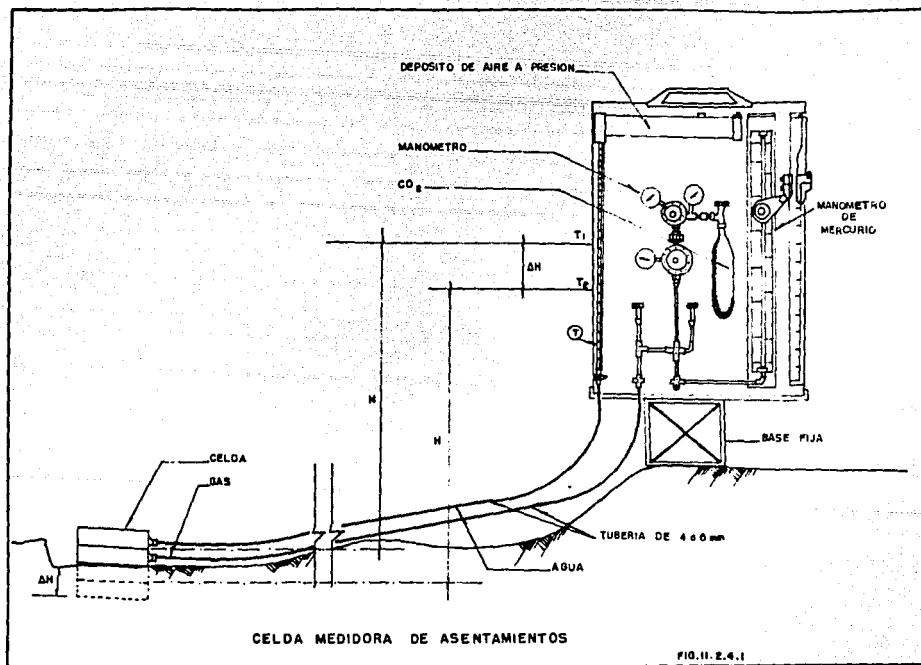
La celda está parcialmente llena de un líquido (generalmente agua). El tablero en el que se realizan las mediciones se coloca sobre una base fija, - fuera de la influencia de los asentamientos de la estructura. El tablero conta de un dispositivo para aplicar presión con gas carbónico y un manómetro de mercurio que controla la presión del líquido aplicada dentro de la celda, en el mismo tablero se recibe otro tubo que proviene de la celda y se conecta al lado de una escala vertical "T", de manera que cualquier presión aplicada por el gas carbónico es transmitido al líquido de la celda y lo hace pasar a la - línea de comunicación entre la celda y el tubo vertical "T", hasta una cierta altura en su escala, en la fig. II.2.4.1 se muestra el dispositivo completo.

En estas condiciones supongamos que se aplica una presión  $P$  al líquido de la celda, con la cual se asciende en la escala "T" hasta una altura " $T_1$ "; después de cierto tiempo se realiza el mismo procedimiento, aplicando la misma presión  $P$  al líquido de la celda alcanzará ahora una altura  $T_2$ , lo cual - supondrá un asentamiento  $\Delta H$ , correspondiente a la diferencia de alturas  $T_1 - T_2$ , precisamente igual a lo que la celda se haya hundido. En la fig. II.2.4.2 se presenta la forma en que se registran los datos.

Las celdas de presión pueden ser instaladas a cualquier profundidad, de manera que pueden conocer los asentamientos en cualquier punto. La presión de este aparato es del orden de 0.5 cm. si no se dota de dispositivos especiales para la lectura en la escala "T". Como se ve este aparato es de fácil manejo, sin causar ningún impedimento al movimiento de los equipos de construcción.

#### II.2.5 Inclinómetro

El desarrollo del inclinómetro como instrumento práctico y confiable ha







sido uno de los avances más importantes dentro de los métodos de observación de campo.

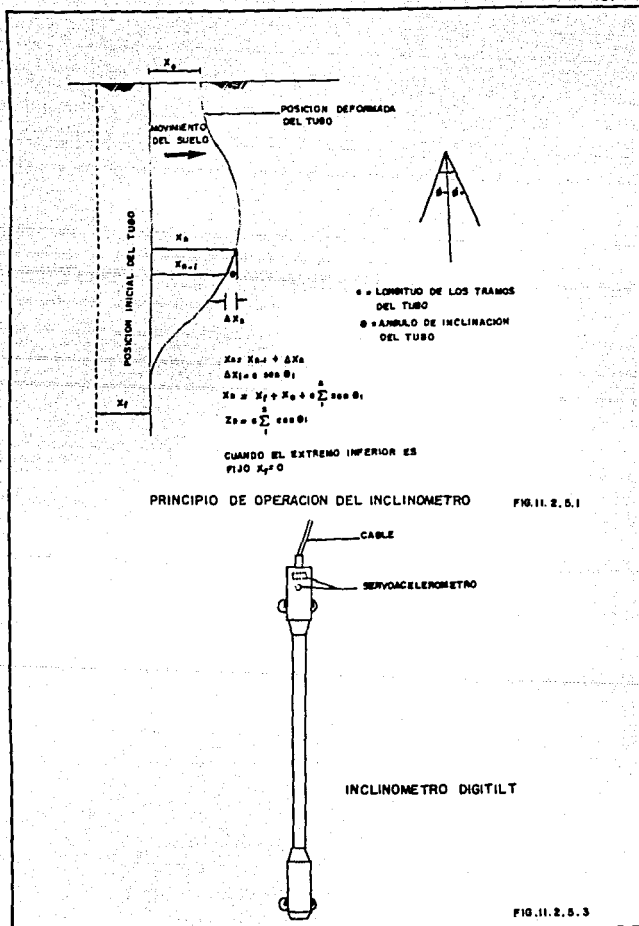
Este aparato mide el cambio de pendiente de una tubería vertical colocada dentro de un barreno o durante la construcción de una estructura; este procedimiento nos permite definir la distribución de movimientos laterales al deformarse o inclinarse el tubo, en función de la profundidad medida con respecto al nivel del terreno natural y en función del tiempo.

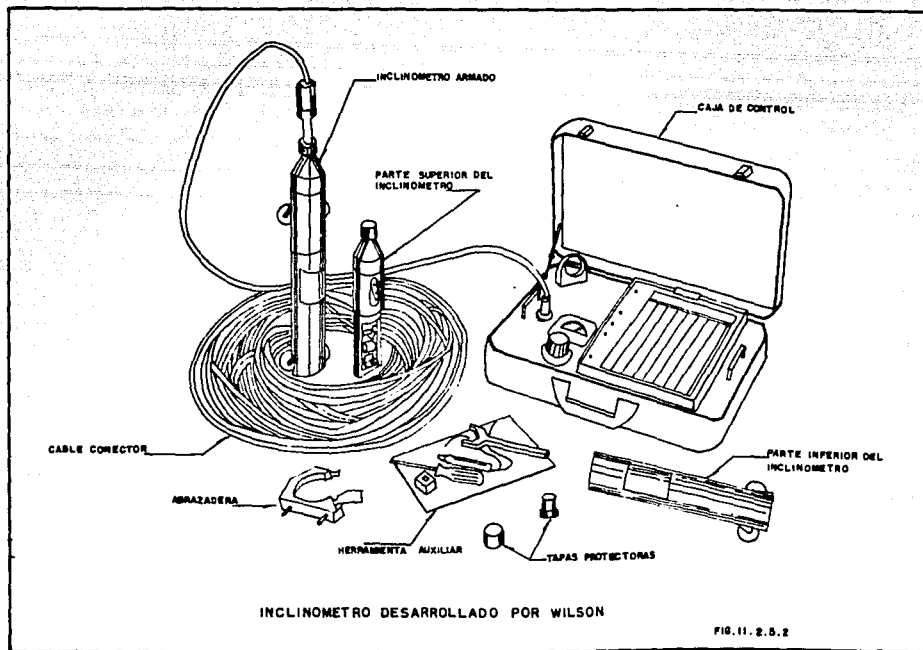
La mayoría de los aparatos que se utilizaron en principio con estos fines, tenían la misma idea básica, introducir en el terreno un tubo flexible, cuya original verticalidad se modificará al paso del tiempo, debido a los desplazamientos horizontales, proporcionando así una imagen objetiva y cuantitativa de los desplazamientos que han tenido lugar. La geometría del tubo deformado se obtiene midiendo los ángulos de inclinación de cada uno de los segmentos de tubo respecto a la vertical esta medición se hace con un "torpedo" que contiene una unidad sensible que registra las deflexiones y cuyo principio de operación es el de la fig. II.2.5.1.

El elemento sensor del inclinómetro se baja y sube colgado del cable graduado y estando sus ruedas guiadas por las ranuras longitudinales del ademe.

En algunas investigaciones se han utilizado junto con instrumentos más elaborados tubos de 2" y 3" de  $\phi$  para complementar información de desplazamientos horizontales para ayudar a definir la posición de cualquier superficie de falla que pudiera desarrollarse. En este caso se introduce por el tubo una barra rígida y se puede conocer la profundidad de la deformación, en el lugar en que se impida el paso de la varilla. Estos instrumentos tan sencillos en ocasiones proporcionan información muy útil a un costo demasiado bajo y disponible en el momento requerido.

En nuestro medio el inclinómetro más empleado es el desarrollado por S.D. Wilson y C.W. Holcock (Fig. II.2.5.2) en la década de los sesenta, que consiste en una tubería de aluminio extruído o PVC en la que se introduce un torpedo sujeto a la tubería por cuatro ruedas que se deslizan sobre las ranuras.





Otro inclinómetro empleado en México se basa en un péndulo cuyo extremo inferior hace contacto con una resistencia semi-circular; la resistencia eléctrica medida entre el punto de contacto del péndulo y el extremo de la resistencia es proporcional a la inclinación del dispositivo.

Existe otro tipo de inclinómetro el "Digitilt" (Fig. II.2.5.3) cuyo funcionamiento se basa en un par de servoacelerómetros colocados en forma transversal al eje del torpedo; al inclinarse los servoacelerómetros miden una fracción de la aceleración de la gravedad, que es proporcional al ángulo de inclinación. Este aparato no ha sido muy empleado en México.

Pero centraremos toda nuestra atención en el inclinómetro desarrollado por Wilson. El aparato completo consta de una unidad sensible y una unidad portátil de control y lecturas, cable conector y una tubería ranurada en dos planos ortogonales entre sí; se emplean tramos de 1.5 m. ó 3.0 m. con coples "media caña" de 30 cm. de largo para unir las tuberías.

La unidad sensible tiene un circuito interno que es un puente de -- Wheatstone actuando por un péndulo cobrado. Cuando el inclinómetro está vertical, el péndulo toca el centro de una resistencia calibrada (Strain Gages), subdividiéndolo en dos, las cuales constituyen la mitad del puente de -- Wheatstone; la otra mitad, formada por un potenciómetro de precisión, resistencia y las necesarias conexiones van instaladas en la caja de control, el conjunto está accionado por baterías.

Cuando la unidad sensible se inclina, por seguir la trayectoria de la tubería el péndulo permanece vertical, de manera que la resistencia calibrada con la que contacta queda dividida en dos porciones desiguales, lo que - cambia el circuito interno y modifica las lecturas en la unidad de control.

La fig. II.2.5.4 reproduce un esquema de la unidad medidora, con un - corte que permite observar el interior.

El inclinómetro se hace descender por la tubería y se van obteniendo lecturas en intervalos prefijados. Una calibración previa en el laboratorio puede proporcionar directamente la inclinación que corresponda a cada lectura eléctrica.

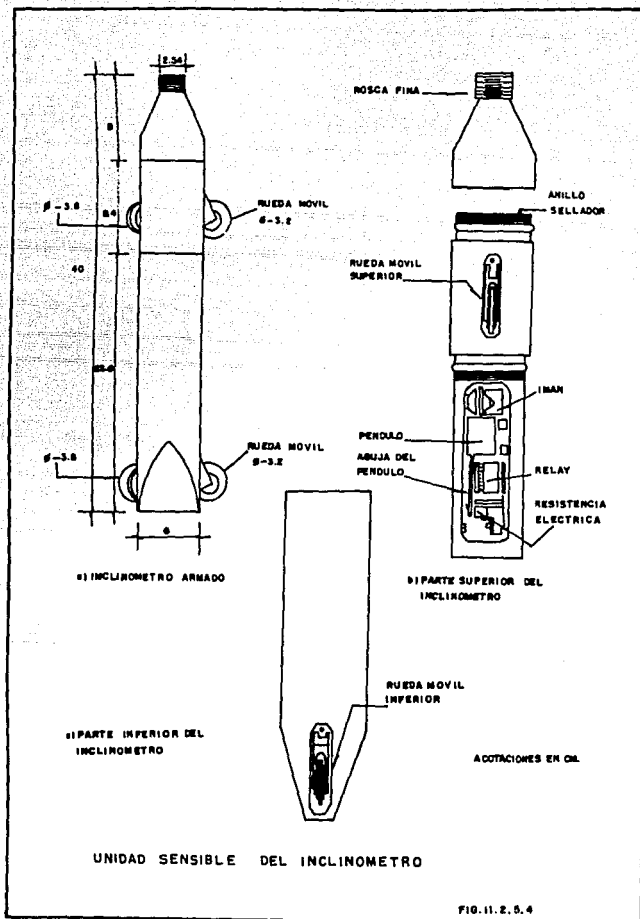


FIG. 11.2.5.4

Se hacen las mediciones en dos posiciones ortogonales entre sí, para obtener en forma más precisa la imagen de deformación en el espacio. Es importante orientar los planos definidos por las ranuras siguiendo la dirección principal de la deformación.

La tubería tiene que ser lo suficientemente fuerte para soportar la instalación y a la vez lo suficientemente flexible para seguir fielmente los movimientos del terreno. La tubería de aluminio es la que más se ha utilizado por ofrecer mayor resistencia y manejabilidad.

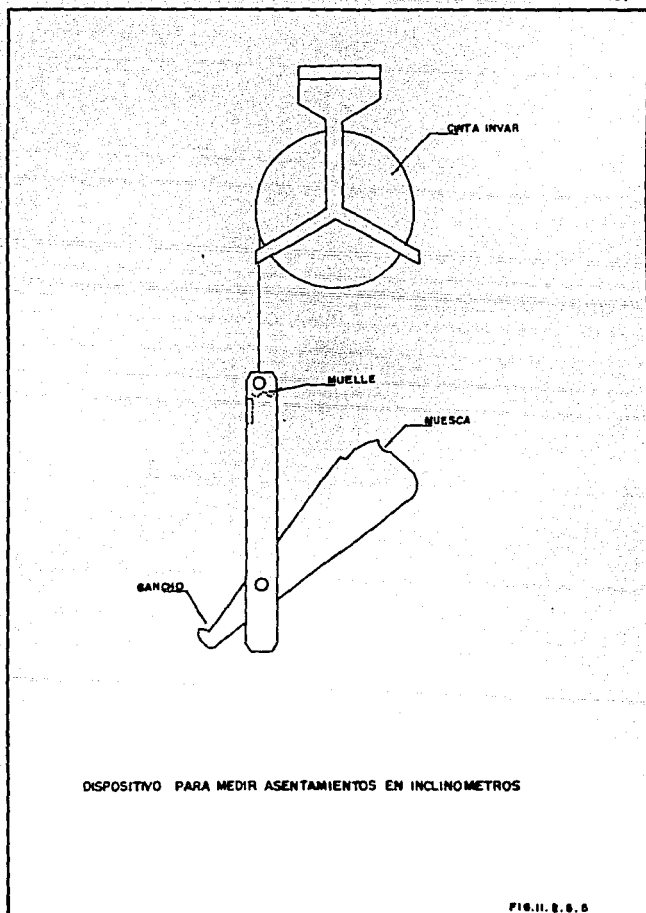
Conviene aclarar que la tubería es capaz de deformarse lateralmente porque los coples, formados por dos piezas longitudinales ensambladas, permiten el movimiento angular relativo y, el espacio dejado entre dos tubos consecutivos también permiten medir los asentamientos con un dispositivo como el que se muestra en la fig. II.2.5.5.

Indudablemente el inclinómetro ha sido aplicado con mayor éxito en la medición de deformaciones en las presas grandes de tierra; esto esencialmente se debe a que la instalación de la tubería se puede controlar cuidadosamente, conforme se incrementa la altura del terraplen.

Previo a la instalación de la tubería se deberá disponer del material necesario para la impermeabilización de las uniones; brea, parafina y cinta poliken, además de contar con la cantidad de tubos de 1.50 m. coples de aluminio de 30 cm. flejes de acero, tapón macho de aluminio, flejadora y pinzas, necesarios para su realización.

Primero hay que colocar el tapón macho fijado con remaches pop en el extremo inferior de la tubería que será instalada en el fondo, en seguida se impermeabiliza este tramo y se coloca un pasador de acero de  $3/8"$  de  $\phi$  a  $\pm 60$  cm del fondo de la tubería, que servirá para almacenar azolves y de tope de la sonda de desplazamientos.

A continuación se procede a unir el siguiente tramo por medio de los coples, abrazando a los dos tubos (los traslapes cople-tubo serán de 7.5 cm. en cada tramo), quedando un espacio para medir deformaciones verticales en



caso de que se requiera de esta tubería. Para asegurar esta unión, se refuerzan los coples con flejes y estos se colocarán a 3.75 cm. en los extremos del cople y un tercer fleje al centro del cople (fig. II.2.5.6). Una vez acoplados los tubos se impermeabilizan, envolviendo las uniones de los tubos y coples con cinta poliken hasta  $\pm$  10 cm. en los extremos del cople; posteriormente se calienta brea y parafina, hasta derretirlas, aplicándolas sobre el encintado de poliken (esta operación de impermeabilizado se realizado en la unión tapón-tubería del fondo).

Comúnmente los inclinómetros se colocan en perforaciones de 6" de  $\emptyset$  aun- que la tubería de 3"  $\emptyset$  puede colocarse en perforaciones de 4 1/2 de  $\emptyset$

Es conveniente aprovechar la perforación para obtener un perfil del subsuelo, sobre todo si está estratificado, de esta manera será de mayor utilidad la información obtenida.

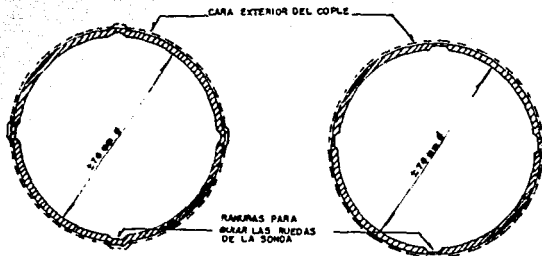
El procedimiento de perforación es el convencional estabilizando las paredes con lodo bentónico; se debe de tener cuidado que la perforación sea totalmente vertical.

Los tramos de tubo se acoplan fuera de la perforación, procurando apretar suficientemente los flejes para manejar cuatro o cinco tramos unidos con ayuda de la torre de perforación.

La tubería de fabricación nacional en ocasiones tiene una pequeña deformación torsional, de tal forma que las ranuras llegan a girarse hasta 5 ó 10 grados, este defecto debe corregirse antes de apretar los flejes.

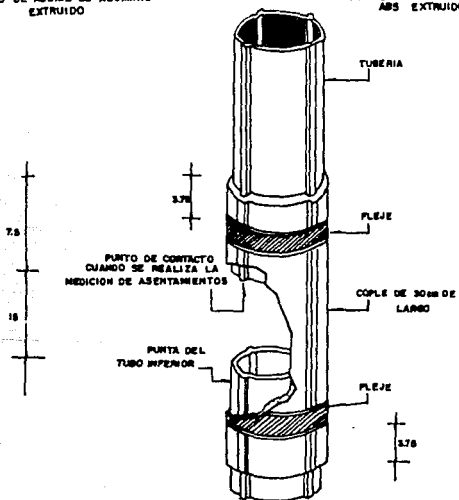
La tubería se baja en la perforación lentamente, se debe llenar de agua para poder hacerlo fácilmente; una vez introducido el primer segmento se acopla el segundo apoyándose en la torre de perforación y se baja, esta operación se repite hasta completar la longitud del inclinómetro; en cuanto se termina se orientan las ranuras topográficamente.





TUBO DE ADENE DE ALUMINIO  
EXTRUIDO

TUBO DE ADENE DE PLASTICO  
ABS EXTRUIDO



DETALLE DE ACOPLAMIENTO DE TUBERIA PARA  
INCLINOMETRO

FIG. 2.5.6

Una vez colocada la tubería se rellena el espacio anular entre ésta y la perforación, este relleno depende del tipo de suelo en que se esté instalando el instrumento.

En enrocamiento, suelos granulares y suelos duros, se emplea un mortero arena-cemento mientras que en suelos blandos se emplea una mezcla bentonita-cemento. El relleno debe de colocarse asegurándose que no queden -- huecos, la mejor forma de hacerlo es inyectándolo por un tubo de PVC de 1/2" o 3/4" de Ø desde el fondo de la perforación con la agua de una bomba de lodos.

En cuanto se termina de colocar el relleno se verifica la orientación de las ranuras, normalmente en esta etapa aún se puede girar la tubería.

Se tapa y se protege la boca de la tubería para evitar que se introduzcan materiales extraños o que sea golpeada.

Después que frague se obtiene la lectura inicial del instrumento, midiendo la inclinación de la tubería a determinados intervalos, las posteriores lecturas se obtendrán en los mismos sitios. Finalmente habrá que proteger el brocal con un tapón y un registro, en el cual se anotan los datos del inclinómetro.

#### INSTALACION EN TERRAPLEN

a) Instalación durante la construcción, conservando la tubería por arriba de las terracerías.

Este método consiste en efectuar simultáneamente el acoplamiento de la tubería conforme van avanzando las terracerías, hasta llegar a su fin. Lo más importante en este periodo de construcción, radica en la protección que se le da a la tubería del paso de la maquinaria pesada, para que no sufra - daños.

Localizado el punto donde se va a instalar el instrumento, de acuerdo con el proyecto (controlado topográficamente). Será necesario disponer de miras y monumentos desde la etapa de construcción, para garantizar de esta

Una vez colocada la tubería se rellena el espacio anular entre ésta y la perforación, este relleno depende del tipo de suelo en que se esté instalando el instrumento.

En enrocamiento, suelos granulares y suelos duros, se emplea un mortero arena-cemento mientras que en suelos blandos se emplea una mezcla bentonita-cemento. El relleno debe de colocarse asegurándose que no queden huecos, la mejor forma de hacerlo es inyectándolo por un tubo de PVC de 1/2" o 3/4" de Ø desde el fondo de la perforación con la agua de una bomba de lodos.

En cuanto se termina de colocar el relleno se verifica la orientación de las ranuras, normalmente en esta etapa aún se puede girar la tubería.

Se tapa y se protege la boca de la tubería para evitar que se introduzcan materiales extraños o que sea golpeada.

Después que frague se obtiene la lectura inicial del instrumento, midiendo la inclinación de la tubería a determinados intervalos, las posteriores lecturas se obtendrán en los mismos sitios. Finalmente habrá que proteger el brocal con un tapón y un registro, en el cual se anotan los datos del inclinómetro.

#### INSTALACION EN TERRAPLEN

a) Instalación durante la construcción, conservando la tubería por arriba de las terracerías.

Este método consiste en efectuar simultáneamente el acoplamiento de la tubería conforme van avanzando las terracerías, hasta llegar a su fin. Lo más importante en este periodo de construcción, radica en la protección que se le da a la tubería del paso de la maquinaria pesada, para que no sufra daños.

Localizado el punto donde se va a instalar el instrumento, de acuerdo con el proyecto (controlado topográficamente). Será necesario disponer de miras y monumentos desde la etapa de construcción, para garantizar de esta

manera la instalación vertical de la tubería y la orientación adecuada de las ranuras.

Lo anterior se logra referenciando los líneas que se cruzan en el centro de la tubería, por medio de dos monumentos, uno de centraje forzoso y uno de mira de referencia, procurando darles una elevación más alta que la elevación de proyectos del brocal del inclinómetro, (Fig. II.2.5.7).

Una vez ubicadas e instaladas las referencias, se inicia el desplante de la tubería; se fija la tubería, de tal forma que quede bien anclada a la cimentación, perforando a la profundidad marcada por el proyecto.

Para la perforación se debe utilizar una máquina que garantice la verticalidad de la barrenación, en suelos blandos, donde existe cierta inestabilidad en el barreno, es recomendable utilizar ademe de lodo bentónico; es necesario perforar con una broca que garantice el diámetro del proyecto generalmente 6".

Simultáneamente se debe revisar la tubería cuidando que no tenga golpes y preparar el tramo que va colocado al fondo, cuidando con detalle que las uniones estén bien impermeabilizadas y colocados los aditamentos correspondientes.

A continuación se introduce la tubería en la perforación, procurando que dos de sus ranuras queden en un plano paralelo al eje de la cortina y como son ortogonales, las otras quedan paralelas al sentido del río. Para estar seguros de que las ranuras de la tubería estén siempre bien orientadas, o bien, para corregir ciertos giros que se puedan presentar, se debe obtener el ángulo que forma el eje de la cortina con una de las líneas de intersección conservando el ángulo en la sobre elevación de la tubería.

Para lograr un buen empotramiento en la base, se tiene que retacar el espacio entre la pared del barreno y el tubo, con arena gruesa y fina bien graduada, o mortero simple, tratando de compactarla lo mejor posible, una vez fijado este primer tramo se procede a la sobre-elevación.

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

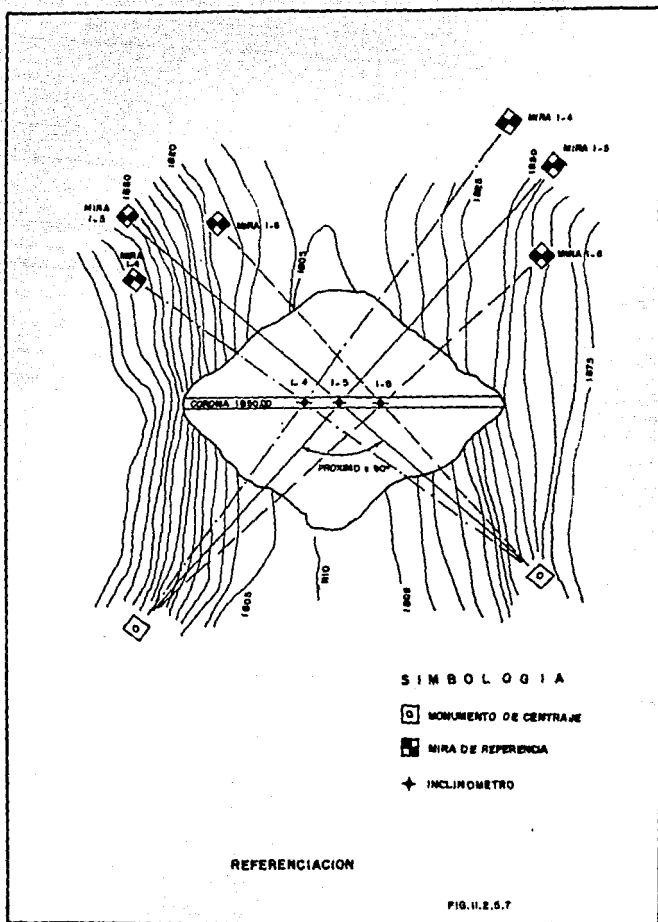


FIG. II.2.5.7

Para proteger la tubería se construye un terrapien circular de arcilla, compactando con equipo neumático manual (ballarina). Esta protección será un cono de  $\pm 4.0$  m. de base y  $\pm 2.0$  m. aproximadamente en la parte superior, variando su altura entre 1.0 y 1.5 m. tal como se ve en la fig. II.2.5.8.

Inmediatamente se coloca un tapón a la tubería, para evitar que se introduzcan piedras u otros objetos.

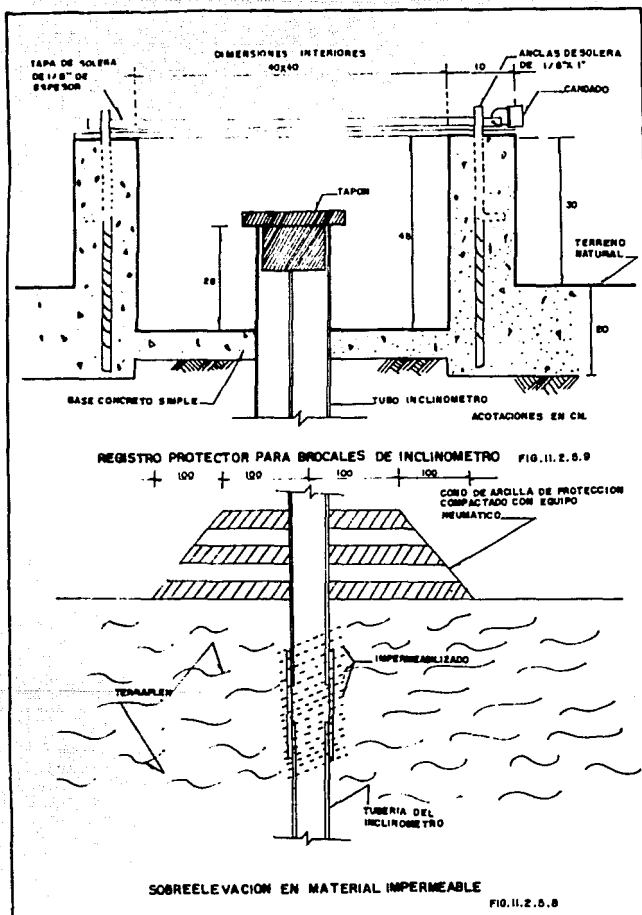
Al llegar las terracerías a 30 cm. por abajo del cono de protección, se procede al acoplamiento de un nuevo tramo, cuidando nuevamente la orientación de sus ranuras. Se continúa con el mismo procedimiento de protección, hasta que la elevación del brocal alcance la del proyecto, procurando dejar la tubería unos 25 cm. arriba del nivel del proyecto, procediendo a su protección definitiva (fig. II.2.5.9). Un tapón se coloca en el brocal y para dar por terminada su instalación se le identifica, anotando el número correspondiente en la tapa.

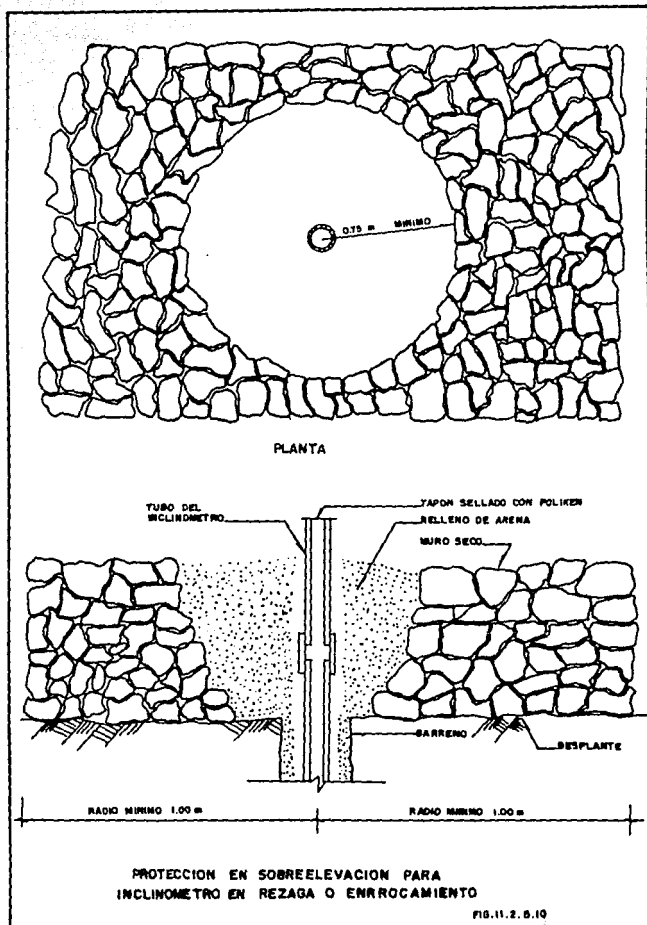
Cuando la tubería tenga que atravesar por materiales de respaldo, la forma de protección es la siguiente: se forma un corral de piedra acomodada a mano de 2.0 m. de  $\emptyset$  y de 1.0 a 1.5 m. de altura, relleno entre éste y la tubería, con material grueso o fino (grava-arena), tratando de dar la misma compactación que el resto del material circundante (fig. II.2.5.10). Las operaciones de orientación de las ranuras de la tubería y acoplamiento de nuevo tramo, así como de protección se efectúan tal como se mencionó anteriormente.

b) Instalación conservando la tubería por abajo de las Terracerías.

Este método consiste en mantener la tubería por abajo del avance de las terracerías para no ser dañadas por el equipo de construcción, el cual podrá pasar inclusive sobre la zona donde está instalada la tubería.

La etapa de control topográfica de la tubería se realiza de la misma forma que se ha descrito anteriormente, la protección se realiza de la siguiente forma: será necesario que la tubería de aluminio colocado en la cimentación sobresalga  $\pm 15$  cm. del nivel de desplante de la cortina, colo-







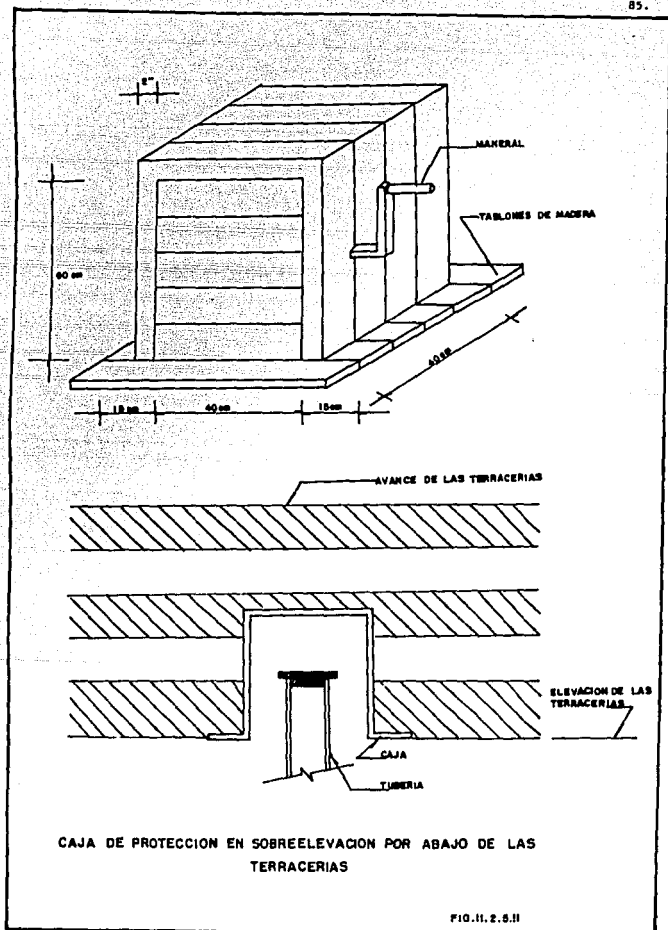
cando sobre la tubería un cilindro de 25 cm. de  $\varnothing$  y de 60 cm. de altura, fabricado con lámina estructural de 1/2" de espesor como se observa en la fig. II.2.5.11. O bien, esta protección se puede realizar con tabloncillos de 2" de espesor. Además, se le proporciona, provisionalmente y sólo en esta etapa, una protección a base de arcilla, dándole un espesor de 1.0 m. y  $\pm$  4.0 m. de base y  $\pm$  2.0 m. en su parte superior. El material deberá ser compactado con equipo manual, posterior a ésto se podrá continuar con el avance de las terracerías.

Cuando la sobre-elevación de la terracería alcance una altura de  $\pm$  2.0 m por arriba del brocal de la tubería, se procede a localizar nuevamente la tubería del inclinómetro por medio de la intersección de las dos líneas imaginarias referenciadas a través de los monumentos. Seguidamente se realiza la excavación de aproximadamente 1.50 X 1.0 m. hasta encontrar el brocal del tubo instalado. Una vez acoplado el nuevo tramo se verifica que no tenga giros, se impermeabiliza y se procede a rellenar esta trinchera con el mismo material que el de las terracerías hasta una elevación de 0.80 m. por abajo de las terracerías, luego se procede a tomar lecturas de asentamientos, desplazamientos y elevaciones del brocal. Enseguida se coloca el cilindro de acero o la caja de madera y se repite la operación hasta llegar a la elevación del proyecto, donde se hace su registro de protección.

#### c) Instalación en Materiales Pétreos

Para esta operación también se utiliza una máquina que garantiza la verticalidad de la perforación; la localización topográfica se efectúa de acuerdo a lo mencionado en métodos anteriores.

Será necesario remover la parte de enrocamiento para tener una base firme para la máquina, la perforación se realiza con una broca que de un sondeo de 6" de  $\varnothing$ ; se tendrá la necesidad de ademar la perforación, debido a la inestabilidad de los materiales, la introducción de la tubería será similar a la ya mencionada, solo que, para la etapa de empaque se tendrá que ir subiendo el ademe y rellenando de la siguiente manera: se extraerá el ademe en 50 cm. y se rellenará el espacio hasta 10 cm. por abajo del ademe, siguiendo este mismo procedimiento hasta llegar al último tramo se colocará el registro de protección.



### Calibración del Inclínómetro

La calibración es imprescindible, para obtener la constante, por lo cual habrá de multiplicarse las lecturas obtenidas, a fin de convertirlas en unidades métricas.

Esta actividad se realiza en el laboratorio, colocando el torpedeo en una mesa metálica adaptada a un sistema que puede tener inclinaciones de  $-10^\circ$  a  $+10^\circ$  de  $1^\circ$  grado en  $1^\circ$  grado, las lecturas respectivas se anotan en una tabla, posteriormente se tienen lecturas teóricas en otra columna y se efectúa la diferencia o desviación entre la tomada y la teórica, graficando los valores como se muestra en la gráfica de calibración (Fig. II.2.5.12).

La constante se calcula tomando la diferencia de lecturas a ángulos de  $-10^\circ$  y  $+10^\circ$  efectuando la división de estas diferencias entre la relación arco-radio del ángulo, para obtener la constante:

$$k = \frac{\text{Dif. de lecturas}}{\text{Arco/Radio}}$$

Pero  $\frac{\text{Arco}}{\text{Radio}} = \text{Tan } \alpha$  para ángulos pequeños.

Por lo tanto:

$$k = \frac{\text{Dif. de lecturas}}{\text{Tan } \alpha}$$

Basándonos en el mismo principio y para conocer el ángulo adyacente formado con la vertical y desplazamiento lateral, se divide la tangente entre dos. Despejando la tangente se tiene:

$$\text{Tan } \alpha = \frac{\text{Dif. de lecturas}}{2k}$$

ó

$$\text{Tan } \alpha = \frac{L_1 - L_2}{2k} \quad \text{Pero } \text{Tan } \alpha = \frac{d}{l}$$

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
 ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON  
 AREA DE MECANICA DE SUELOS Y ROCAS  
 OFICINA DE INSTRUMENTACION

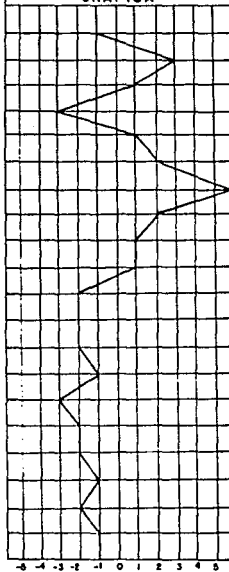
## CALIBRACION DE INCLINOMETRO

FECHA 4-V-81 CAJA DE MEDICION No. 200-B USADA EN PRESA REQUENA

LONGITUD DEL CABLE \_\_\_\_\_ CONSTANTE C : 0.0138 CALIBRO J. LUIS ZAVALA

ANGULO	LECTURA EN EL MICRODIAL	VARIACION DE LECTURAS	SUMA DE VARIACIONES OBTENIDAS	SUMA DE VARIACIONES TEORICAS	DIFERENCIA (OBTEN - TEOR)
+10	902	38	0	0	0
+9	864	33	38	35	3
+8	831	31	71	70	1
+7	800	39	102	105	-3
+6	761	36	141	140	1
+5	725	38	177	175	2
+4	687	31	215	209	6
+3	656	34	246	244	2
+2	622	35	280	279	1
+1	587	32	315	314	1
0	555	35	347	349	-2
-1	520	35	382	384	-2
-2	485	36	417	419	-2
-3	449	33	453	454	-1
-4	416	36	486	489	-3
-5	380	34	522	524	-2
-6	346	36	556	558	-2
-7	310	34	592	593	-1
-8	276	36	626	628	-2
-9	240	35	662	663	-1
-10	205		697	698	-1

GRAFICA



TOPE DERECHO \_\_\_\_\_ TOPE IZQUIERDO \_\_\_\_\_

LOS ANGULOS CON SIGNO (+) CORRESPONDEN A INCLINACIONES DE LA SONDA SOBRE SUS RUEDAS FIJAS  
 LOS ANGULOS CON SIGNO (-) CORRESPONDEN A INCLINACIONES DE LA SONDA SOBRE SUS RUEDAS MOVILES

$$K = \frac{D \cdot (101 - |L - 101|)}{\text{ARCO RADIO}} = \frac{897}{0.349} = 1097.3 \quad 2K = 3994.68 \quad C_2 = \frac{38}{2K} = 0.0138$$

K - CONSTANTE DEL APARATO

L - DISTANCIA DE LECTURAS

C - CONSTANTE CALCADA

FIG. 11.2.5.12

$$d = \tan \alpha \cdot l$$

Sustituyendo se tiene: 
$$d = \left( \frac{L_1 - L_2}{2 K} \right) l$$

Donde:

$d$  = Desplazamiento lateral

$l$  = Longitud entre dos puntos de medición

$k$  = Constante del equipo determinada en el laboratorio

$L_1$  = Lectura 1

$L_2$  = Lectura 2

Obteniendo entonces que:

$$\text{Constante de cálculo} = \frac{1}{2k}$$

De donde tenemos que:

$$d = \frac{l}{2k} (L_1 - L_2)$$

Ejemplo:

Si la lectura tomada a  $-10^\circ$  correspondió a 689 U.P. y para  $+10^\circ$  fue de 140. (Puede tomarse las lecturas en cualquier grado):

$$\frac{\text{ARCO}}{\text{RADIO}} = \frac{20^\circ}{\frac{180^\circ}{\pi}} = \frac{20^\circ}{57.17^\circ} = 0.349$$

$$k = \frac{689 - 140}{0.349} = 1573$$

Luego entonces: las lecturas se toman a cada 55 cm. y la constante de cálculo será:

$$c = \frac{l}{2k} = \frac{55}{2(1573)} = 0.0175$$

El desplazamiento horizontal entre dos puntos será:

$$d = 0.0175 \times \text{Dif. de lecturas}$$

#### Toma de Lecturas

Debido a que todas las lecturas del inclinómetro están referidas a una serie inicial de medición, se debe tener mucho cuidado en que las observaciones iniciales sean confiables.

Las lecturas deben hacerse siempre a la misma elevación, normalmente se hacen tres lecturas en cada tramo, las cuales se anotan en la forma de datos como lecturas a, b, c, del tramo "Y"(Fig. II.2.5.13).

Para obtener mejores resultados en la toma de lecturas, se utiliza una polea de 15 cm. de Ø para dar medición. La polea es apoyada en un tramo de 0.40 m. de tubo y se acopla con el brocal del tubo instalado (Fig. II.2.5.14).

Para tomar las lecturas se procede de la siguiente forma:

- a) Cuando las ruedas superiores de la sonda de inclinación hace contacto con el brocal de la tubería, se marca en la polea el cero y se hace coincidir la marca con el "Fiel".
- b) Se hace descender 5 cm. y se marca la letra "a" en la polea, que también coincide con el "Fiel". A partir de esta posición se baja 55 cm. y se marca la polea con la letra "b".
- c) Bajar desde "b", otros 55 cm. y marcar la letra "c" (Fig. II.2.5.15).

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON**  
 AREA DE MECANICA DE SUELOS Y ROCAS  
 OFICINA DE INSTRUMENTACION

**DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES EN INCLINOMETROS**

INCLINOMETRO No. \_\_\_\_\_ LECTURA EN EJE \_\_\_\_\_ ELEVACION DEL BRACAL \_\_\_\_\_

FECHA \_\_\_\_\_ ELEV. DEL ENBALSE \_\_\_\_\_ LECTURISTA \_\_\_\_\_

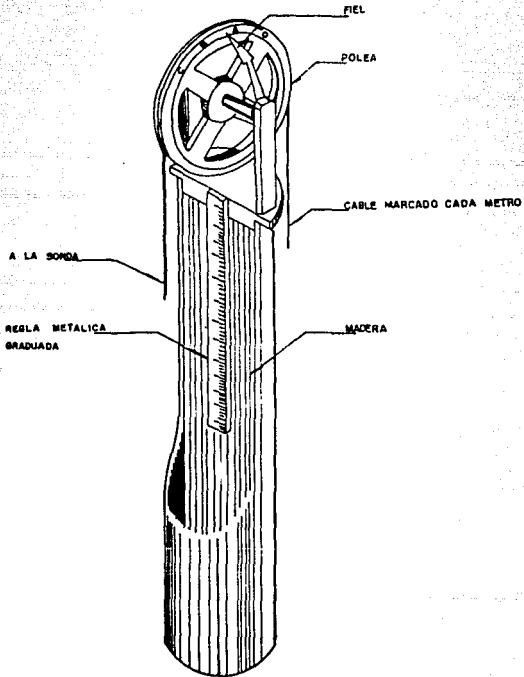
CALCULO \_\_\_\_\_ GRAFICO \_\_\_\_\_ REVISO \_\_\_\_\_ HOJA \_\_\_\_\_ DE \_\_\_\_\_

T I P O	L E C T U R A	LECTURA	SUMA	DIFERENCIA	DIFERENCIA POR	DESPLAZ.	DESPLAZ.	DESPLAZ.
		A	A+B	A-B	CONSTANTE	ACTUAL	INICIAL	OBSERVADO
(1)	(2)	(3)	(5) = (3)+(4)	(6) = (3)-(4)	(7) = (6) x C	(8) = $\sum$ (7)	(9)	(10) = (8)-(9)
a								
b								
c								
a								
b								
c								
a								
b								
c								
a								
b								
c								
a								
b								
c								
a								
b								
c								
a								
b								
c								
a								
b								
c								
a								
b								
c								

SONDA No. \_\_\_\_\_ CONSTANTE "C" DE LA SONDA \_\_\_\_\_

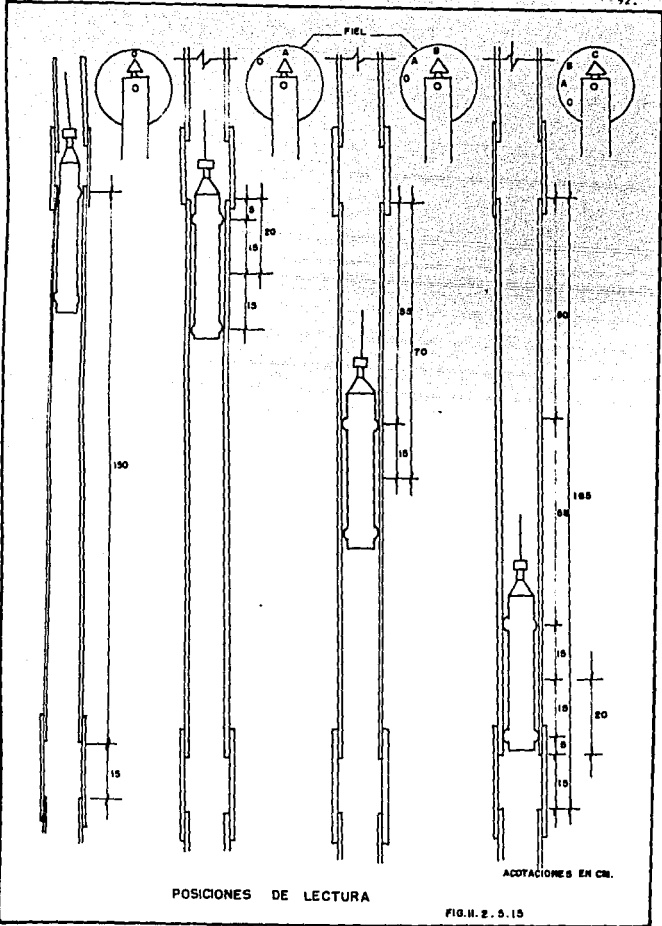
LECTURA "A" CON RUEDAS FIJAS HACIA MARGEN DERECHA O HACIA AGUAS ARRIBA  
 LECTURA "B" CON RUEDAS FIJAS HACIA MARGEN IZQUIERDO O HACIA AGUAS ABAJO

INCLINOMETRO DE FONDO \_\_\_\_\_



DETALLE DE POLEA PARA INCLINOMETRO





POSICIONES DE LECTURA

FIG. II. 2. 5. 15

Las marcas hechas en la polea nos proporcionan las elevaciones a las que se deberá tomar las lecturas y haciendo "[ $\theta$ " constante e igual a 55 cm. Los pasos anteriores sólo se realizan una sola vez a menos que se cambie la polea ó el soporte, entonces deberá realizarse nuevamente toda la operación.

En presas las lecturas se harán en el sentido paralelo del eje de la cortina y perpendicular a este o al eje del río.

Primeramente la sonda es orientada sobre el eje de la cortina y con las ruedas fijas hacia margen derecha, se desciende hasta la marca "a" en la polea estando en esta posición, se mueve la perilla en la consola de medición, hasta que la aguja del galvanómetro se fije en el cero de la escala; se toma la lectura del contador y se anota en la forma de datos de campo en la columna que dice letra "a" y en el renglón correspondiente al tramo "1-a", enseguida se desciende la sonda a la letra "b" de la polea y se toma la lectura en la forma anterior, anotándola en "1-b" correspondiente al tramo 1, nuevamente se desciende hasta la letra "c" de la polea, se toma la lectura y ahora se anota en "1-c" completando así el tramo 1.

Para tomar las lecturas del trabajo 2 se hace descender la sonda hasta sentir que las ruedas superiores hacen contacto con el siguiente tramo, entonces se hace coincidir el cero de la polea con el fiel y se realiza la toma de lecturas en las posiciones a, b y c tomando las lecturas correspondientes y anotándolas en los renglones 2-a, 2-b, 2-c; siguiendo el mismo procedimiento para cada tramo.

Terminando de tomar las lecturas en este sentido, se introduce la sonda pero ahora con las ruedas fijas en la margen de la izquierda y se procede a leer en la forma descrita anteriormente, anotando los datos correspondientes ahora en la columna "b", de esta manera se concluye con las lecturas correspondientes al eje de la cortina.

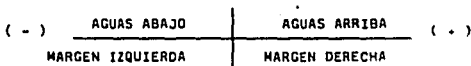
Posteriormente se procede a tomar las lecturas en el otro eje; para ello se introduce la sonda con las ruedas fijas en el sentido de aguas arriba, se toman las lecturas de la forma descrita, anotando las lecturas en -

la columna "a"; se extrae la sonda y se orienta con las ruedas hacia abajo y se anotan las lecturas en la columna "b" concluyendo de esta forma las lecturas en este inclinómetro.

#### Cálculo

Para tener una referencia clara, tomaremos la siguiente convención de signos: Las lecturas en la columna "a", son cuando las ruedas se deslizan por la tubería con sentido hacia la margen de la derecha ó hacia aguas arriba; la lectura en la columna "b" corresponde al deslizamiento de las ruedas hacia el margen izquierdo ó hacia aguas abajo.

El siguiente esquema tiene el fin de aclarar, hacia donde se registra el movimiento.



Se presentan dos situaciones de cálculo que depende del material de cimentación en que se encuentre empotrado el inclinómetro. Considerando fondo fijo cuando se encuentra empotrado en roca sana y cuando el material donde se localiza el fondo del inclinómetro no es lo suficientemente firme o con movimientos, considerándose para el cálculo como fondo móvil.

#### a) Método de cálculo de fondo fijo.

Se realizan las operaciones indicadas en las columnas de la forma de registro hasta llegar a la columna 7 que es donde se multiplica la constante por la diferencia de lecturas. Los resultados de la columna 8 se obtienen de sumar los desplazamientos parciales desde el tramo inferior hasta el superior, para obtener el desplazamiento actual de cada tramo.

Se compara algebraicamente el desplazamiento obtenido en la columna 8, con la lectura inicial, es decir columna (9), resultando el desplazamiento actual, el cual se llevará al formato correspondiente para su interpretación.

#### b) Método de Cálculo de Fondo Móvil

El procedimiento es semejante al anterior, con la diferencia de que los desplazamientos horizontales obtenidos en la columna (10) tienen que corregirse de acuerdo con el desplazamiento topográfico observado en el broncal de la tubería, el cual debe ser sumado a cada uno de los desplazamientos de los tramos.

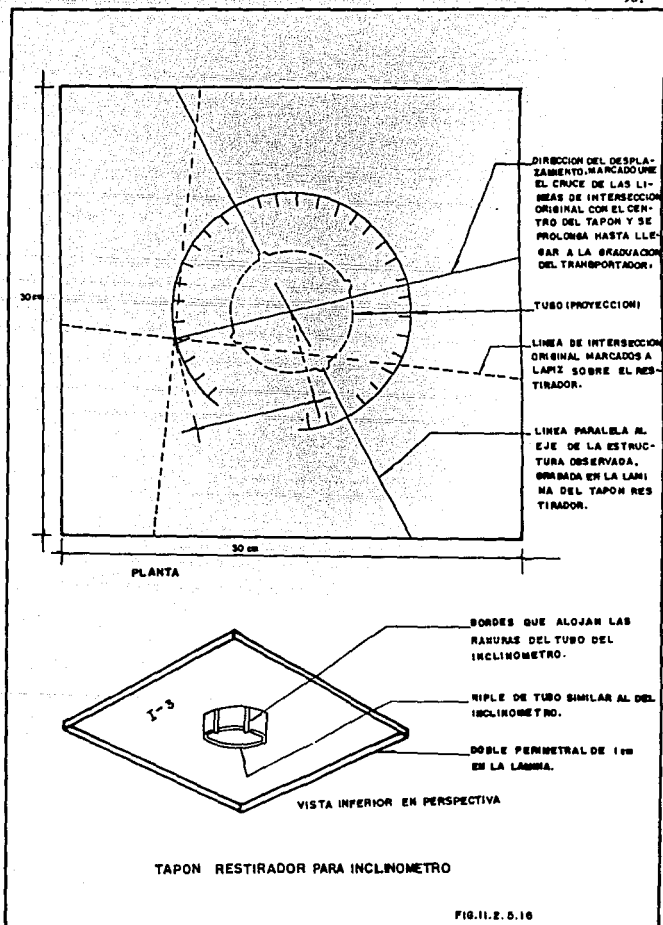
Cuando la tubería del inclinómetro es desplantada en cimentación - considerada de fondo móvil, se hace necesario controlar los movimientos en el broncal, lo cual puede efectuarse con un restirador como el mostrado en la fig. II.2.5.16.

En él, se marca el centro de la tubería, por medio de dos líneas perpendiculares entre sí, cada vez que se tomen lecturas se fija una hoja tamaño carta en el tablero y se trazan estas dos líneas; con un tránsito se localiza la posición actual del broncal y se determinan los desplazamientos obtenidos utilizando el restirador.

Tomando en cuenta la convención de signos que explicamos al principio, se representa el perfil acumulado del desplazamiento sobre un eje vertical, anotando las correspondientes elevaciones del broncal y del fondo de la tubería del inclinómetro, que deben representarse sobre el perfil o eje del río, en una escala adecuada.

Es importante anotar el avance de construcción y la correspondiente curva de embalse en una gráfica por separado; se deberán anotar también - las fechas de lecturas, e identificar las gráficas con el número que le - corresponda para su correlación; cada inclinómetro se identifica con su número asignado en el proyecto.

Generalmente se presentan dos formatos; uno donde se presentan los movimientos ocurridos durante la construcción y en otro los ocurridos en operación.



### II.2.5.1 Causas comunes de fallas en inclinómetros

Las fallas más comunes en que se incurren en la instalación de la tubería del inclinómetro son las siguientes:

- Ranuras desalineadas con respecto a la dirección de las deformaciones que se desean medir. Para evitar esta falla es necesario que el hilo orientado topográficamente permanezca durante toda la instalación.
- Pérdida de alineamiento con respecto a la profundidad, debido a deformación torcional del tubo. Debe verificarse que la tubería no tenga esta deformación acoplando 4 ó 5 tubos; en caso de que exista se debe corregir antes de instalar la tubería.
- Desprendimiento de los tramos de tubo al izarlos para su instalación, o pérdida de espacio entre tramos de tubo dentro de los coples; por lo que conviene darles una tensión normal y supervisar las uniones antes de instalar la tubería.
- Azolves de la perforación que impide llevar la tubería a la profundidad de proyecto. Antes de bajar la tubería conviene verificar que la perforación este estable, con una sonda; en caso de presentarse caídos es necesario perforar y estabilizar con bentonita de mayor densidad, no es conveniente colocar seme metálico debido a que al retirarlo le causa movimientos a la tubería e incluso ser extraída.
- Quedades en el relleno del espacio anular entre la tubería y la perforación. Este defecto causa una mala sensibilidad del instrumento y se piensa que incluso alterar las distribuciones de deformación obtenidas.
- Deformación de la tubería instalado en terraplenes incrustación de bloques de roca o coples durante su colocación.

Durante la obtención de lecturas las principales fallas son las siguientes:

- Posicionamiento del torpedo en diferentes puntos en las lecturas sucesivas.

- Ajuste del cero inadecuado en inclinómetro de Strain Gages.

- No tomar en cuenta el movimiento del fondo del inclinómetro. Es conveniente verificar que este punto sea realmente fijo, esto puede realizarse midiendo topográficamente los desplazamientos de la boca del tubo y compararlo con los obtenidos con el torpedo. En caso de encontrar diferencias significativas conviene realizar varias mediciones con el torpedo hasta obtener lecturas consistentes, antes de considerarlo de fondo móvil.

La principal causa de falla en el torpedo es la entrada de agua a su interior; todos los diseños tienen arosellos para evitar este problema, -- cuando se presenta este problema conviene cambiar todos los arosellos.

Las cubiertas exteriores con latex o neopreno son poco eficaces, la mejor cubierta exterior se puede fabricar en el campo con una cámara de bicicleta donde entre el torpedo forzado.

Finalmente el error más común es el humano, al posicionar el torpedo, al balancear el punte de Weathstone, al apuntar los datos ó al procesamiento debido a la gran cantidad de datos que se manejan incluso es conveniente la captura de datos por medios electrónicos.

#### II.2.6 Extensómetro

Resulta de gran importancia conocer las deformaciones que se presentan en la construcción de una estructura térrea, a fin de poder establecer una correlación con los análisis teóricos efectuados para el diseño de la obra.

Se han desarrollado instrumentos para registrar deformaciones que se presentan en el interior de una estructura, entre esos instrumentos están los extensómetros, que permiten medir el cambio de distancia entre dos o más puntos, cuya separación se conoce aproximadamente.

En el caso de extensómetros colocados dentro de una masa de suelo, la aplicación más común se tiene en la medición de deformaciones unitarias dentro de las presas de tierra.

Desde el punto de vista de su funcionamiento, hay dos tipos de extensómetros y son los que a continuación se describen:

#### 1) Extensómetro Electrónico

Estos aparatos están formados por un dispositivo medidor de deformaciones acoplado a una barra fija entre dos placas de anclaje. El sistema de medición es un potenciómetro que registra y transmite los cambios de resistencia a un puente de Wheatstone, equivalentes al cambio de posición de los puntos de referencia del extensómetro.

Este instrumento puede medir deformaciones en cualquier dirección, según quede orientado en el momento de su instalación.

El aparato en sí consta de un potenciómetro, una barra de acero coloroiled y dos placas de 40X40 cm. y de 1/2" de espesor que sirven como referencia; una de las placas va unida al elemento transductor y la otra a la varilla. (Fig. II.2.6.1).

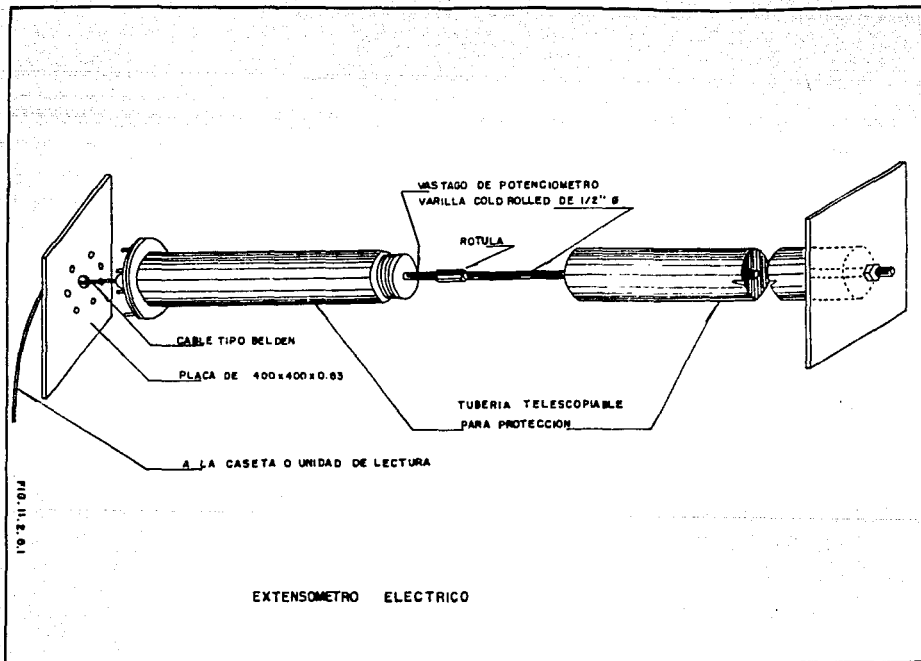
Las deformaciones son conocidas con una unidad remota de lecturas, - que se ubica ya sea en una galería, talud o corona de la cortina.

Para que la varilla tenga un movimiento libre, se le protege con tubería telescópica de 1½" y 1" de Ø empacando las uniones con material flexible.

#### 2) Extensómetro Mecánico

Este instrumento mide únicamente deformaciones en una sola dirección; el funcionamiento es muy sencillo y consta de una placa de acero de 40X40 - cm. (variable) conectada a un alambre invar, el cual pasa sobre una polea con un contrapeso al final, referido a un punto fijo para registrar los movimientos.





El alambre invar se protege con tubería galvanizado o de PVC telescopiada de 5" y 4" de Ø y las uniones son protegidas con material flexible - (cámara de llanta), y sujetos con amarres de alambre recocido. La fig. II.2.6.2 muestra este tipo de extensómetros.

a) **Instalación de Extensómetro Eléctrico durante la construcción.**

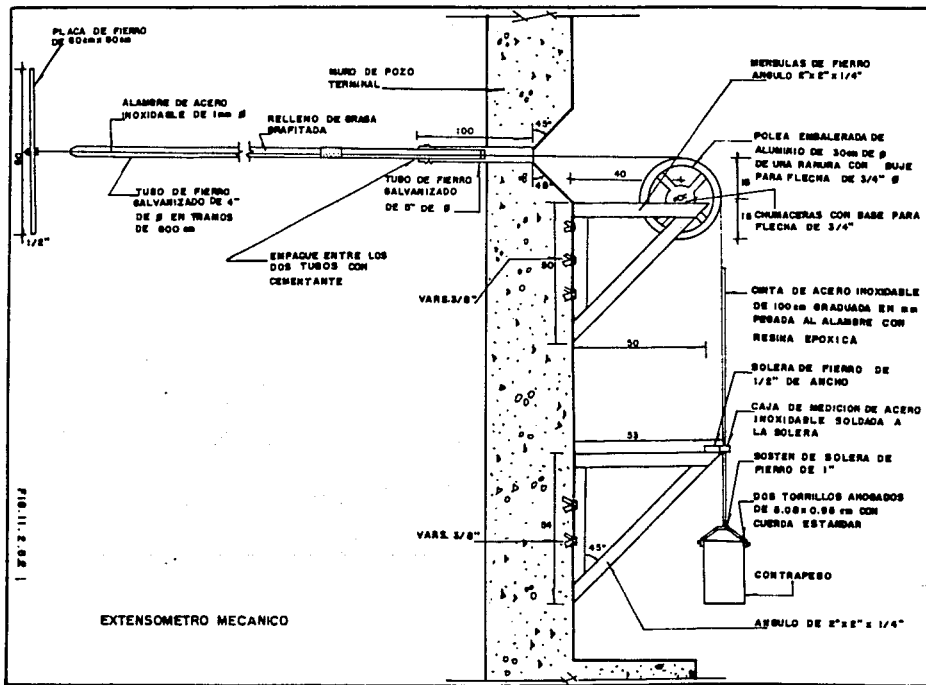
La localización del punto de instalación del extensómetro se realiza con métodos topográficos, posteriormente cuando las terracerías sobrepasan 60 cm. la elevación del proyecto del instrumento, se abre una trinchera acorde a las dimensiones del extensómetro.

Enseguida se revisa la unión de las placas con el potenciómetro y la varilla verificando que estén bien acopladas y que la varilla esté recta y se deslice adecuadamente. Asimismo, debe asegurarse que el aparato esté bien calibrado, que se cuente con la tubería de protección necesaria y el cable eléctrico con la longitud adecuada, evitando uniones.

Para la instalación se excavan dos cajas de 50X25X25 cm. de profundidad para alojar las placas de referencia. La tubería de protección debe quedar bien asentada, para lo cual se extiende una capa de arena en el fondo de la excavación.

La placa externa se une con la varilla cold rolled y se va introduciendo en los tubos de protección telescopiados, se embebe la placa de acero en la cavidad correspondiente, rellenándola de concreto para lograr anclar media placa. Para instalar la otra placa, primero se tiene que conectar el vástago del potenciómetro con la varilla cold rolled (por medio de un niple) y posteriormente se deja el extensómetro en la posición adecuada, dándole al vástago espacio suficiente para medir acortamientos y alargamientos, realizada esta operación se procede a embeber la mitad de la otra placa. (Fig. II.2.6.3).

El siguiente paso es identificar el cable con un color, anotándolo en la bitácora de trabajos con los siguientes datos de instrumentación, elevación, longitud entre placas de referencia al milímetro, posición de instala



lación bien definida, coordenadas, lectura inicial. En seguida se hace pasar el cable por los tubos de protección hasta la caseta de lecturas.

Por último se rellena la excavación con el material utilizado y se compacta en pequeñas capas de 20 cm. sobre las tuberías y de 45 cm. en la zona del potenciómetro con pizón de mano. Se rellena después el resto de la trinchera, pero esta vez se compacta con equipo neumático.

Posteriormente se colocará una zona de protección abarcando 1.0 m. por fuera de la trinchera y una altura de 1.5 a 2.0 m. como se muestra en la fig. II.2.5.4.

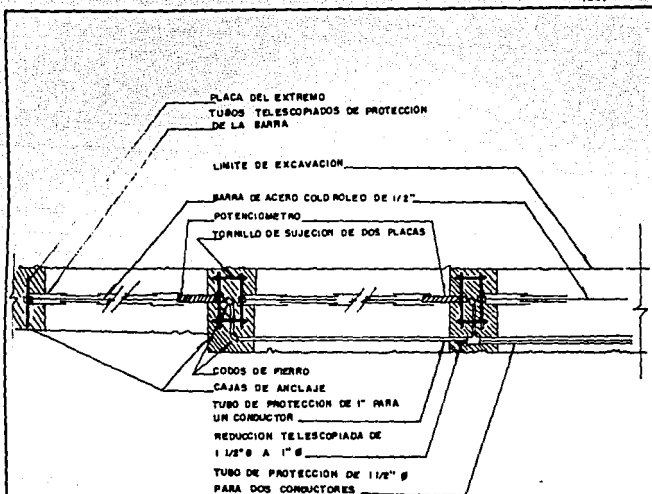
En seguida se continúa con la construcción normal de las terracerías y se trata de sobreelevar los conductores eléctricos protegiéndolos debidamente con la tubería telescopiada y en seguida se compacta con equipo manual. Cuando la posición del extensómetro es vertical se siguen las mismas indicaciones de instalación, debiendo proteger al final con un colchón de mayor espesor para que pueda pasar el equipo de construcción.

Finalmente, se construye la caseta de lecturas o de registro, la que está marcada claramente con el número del extensómetro y su clave, otro factor que habrá que considerar es la protección contra la humedad y del paso de personas ajenas.

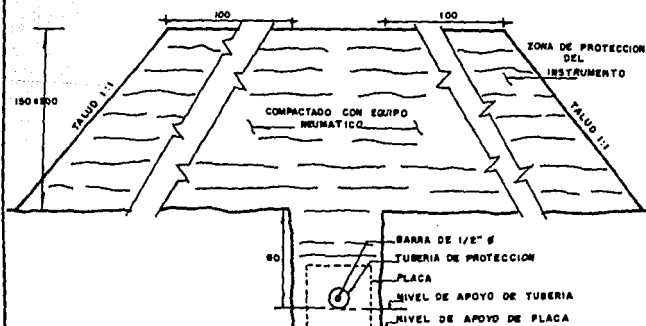
#### b) Instalación de extensómetro eléctrico en Obra Terminada

La instalación de extensómetros en la obra terminada se presenta cuando hay incertidumbre del comportamiento de la estructura o cuando se presenta algún movimiento imprevisto y se requiere verificar el estado actual de los movimientos.

Una vez localizado el lugar de instalación se procede a realizar la excavación respetando las condiciones del proyecto; se embeben las mitades de placas en concreto simple en zanjas previamente preparadas, se sacan los conductores eléctricos hacia un costado o al fondo de tal manera que todos se protejan con una sola tubería, para esto se utilizan codos para las unió



PLANTA DE UNA SERIE DE EXTENSOMETROS ELECTRICOS UNIDOS ENTRE SI LINEALMENTE FIG.11.2.6.3



PROTECCION DE LA ZONA DEL INSTRUMENTO FIG.11.2.6.4

nes y se telescopiará en la forma ya expuesta, con la premisa de que los conductores irán de los extremos hacia el centro, por comodidad y economía, prolongándose en forma vertical hacia la superficie, dejando la tubería un poco salida del nivel de la corona. Terminando la sobre-elevación se procede a la protección y el acondicionamiento del tablero de lecturas en forma similar a la mencionada.

c) Instalación de Extensómetro Mecánico

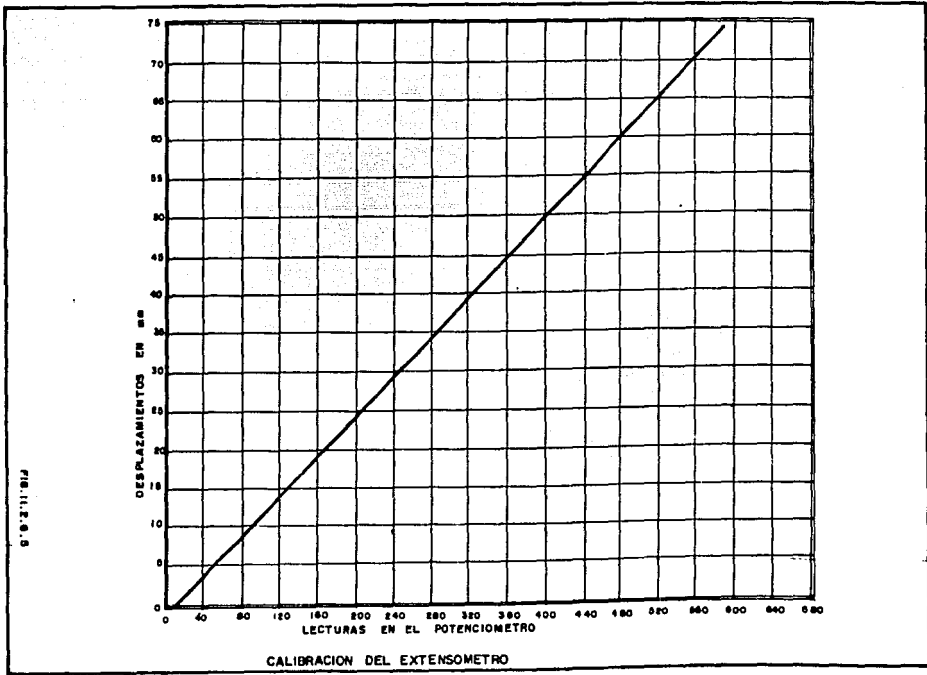
La colocación de los extensómetros mecánicos se realizan en forma similar a los eléctricos, con la diferencia de que aquí hay una sola placa y ésta se conecta a un alambre invar, el cual se prolonga en forma horizontal hasta la caseta de mediciones; ya en la caseta, el alambre pasa sobre la polea, la que está fija a la pared por medio de una ménsula y en el extremo del alambre invar está sujeto el contrapeso, sobre el cual se coloca un micrómetro fijo por medio de un sistema independiente para registrar los movimientos.

Se acostumbra construir un testigo superficial por encima de la caseta para observar los movimientos vertical y horizontal de ésta. De esta forma se podrán eliminar errores que se presentan por este efecto.

-Calibración del Extensómetro Eléctrico

La calibración se requiere para conocer el factor que transforma las unidades puente a deslizamientos, para lo cual se procede de la siguiente forma: Se fija el aparato sobre una base horizontal y en el extremo de la varilla del potenciómetro se coloca un micrómetro. La varilla se introduce totalmente y se comienza a extraerla a cada distancia "d" tanto para el micrómetro como para el extensómetro, haciendo una table para anotar las lecturas correspondientes.

Los datos obtenidos se grafican como se muestra en la fig. II.2.6.5.



9.9.2.11.91/

#### -Toma de Lectura y Cálculo del Extensómetro Eléctrico

Se conecta el cable conductor del extensómetro a la consola de lecturas, se enciende el switch y se opera el seleccionador, hasta que la aguja esté en el centro de la carátula del galvanómetro, se toma la lectura (unidades puente) en el microdial y contador y se anotan en la forma de campo (Fig. II.2.6.6) como la primera y segunda lectura en las columnas (2) y (3).

En la etapa de construcción se requiere tomar lecturas constantemente conforme avanza el terraplen, para conocer el estado de deformaciones que se van presentado, en la etapa de operación es necesario efectuar lecturas con mayor frecuencia durante el primer y segundo llenado. Posteriormente se podrán ir espaciando, dependiendo de los movimientos observados.

Para realizar los cálculos se tomarán los siguientes signos convencionalmente: Los movimientos de la varilla del extensómetro hacia afuera del potenciómetro (extensiones) tendrá signo (+) y las compresiones tendrán signo (-).

El procedimiento de cálculo se realiza tal como se indica en las columnas de la forma de registro. Cabe aclarar que los valores de la columna (7) se obtienen de la gráfica de calibración del extensómetro y los valores de la columna (8) resultan de:

$$\Delta = \frac{\text{Columna (6)}}{\text{Columna (7)}}$$

$$\epsilon = \frac{\Delta}{L_i}$$

Donde:

$\Delta$  = Def. observada

$L_i$  = Longitud inicial entre placas

$\epsilon$  = Def. unitaria.

#### -Cálculo de Extensómetro Mecánico

Convencionalmente referenciaremos los movimientos observados en extensómetros mecánicos de la siguiente forma:



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON**  
 AREA DE MECANICA DE SUELOS Y ROCAS  
 OFICINA DE INSTRUMENTACION

**EXTENSOMETROS POTENCIOMETRICOS**

FECHA \_\_\_\_\_ ELEVACION DEL EMBALSE \_\_\_\_\_ LECTURISTA \_\_\_\_\_

CALCULO \_\_\_\_\_ GRAFICO \_\_\_\_\_ REVISO \_\_\_\_\_

EXTENSOMETRO	PRIMERA LECTURA	SEGUNDA LECTURA	LECTURA ACTUAL	LECTURA INICIAL	DIFERENCIA	FACTOR DE CONVERSION	DEFORMACION OBSERVADA
NO.	UNIDAD PUENTE	UNIDAD PUENTE	UNIDAD PUENTE	UNIDAD PUENTE	UNIDAD PUENTE		cm.
(1)	(2)	(3)	(4) = (2) - (3) / 2	(5)	(6) = (4) - (5)	(7)	(8) = (6) / (7)

DEFORMACION OBSERVADA (Δ)

LONGITUD ENTRE PLACAS (L1)

TENSION (+)

DEFORMACION UNITARIA (ε) =  $\frac{\Delta}{L1}$

COMPRESION (-)

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Tomaremos signo (+) para los movimientos observados hacia aguas arriba y (-) para los registrados hacia aguas abajo.

En caso de que el extensómetro esté colocado en forma vertical tomaremos (+) para expansiones y (-) para compresiones.

Para los registros de las lecturas y el cálculo se utilizará la forma presentada en la fig. 11.2.6.7.

En la columna (1) y (2) aparecen las elevaciones iniciales de los extensómetros.

Para obtener el movimiento vertical de la caseta de medición se observa topográficamente el testigo instalado en la parte superior y se anota la elevación inicial en la columna (4) para realizar las correcciones pertinentes.

En la columna (5) se anota la elevación actual y en la columna (6) se obtiene el movimiento de la caseta, esto es la deformación vertical del origen de medición.

En las columnas siguientes, se anotan las lecturas correspondientes a cada deformación ocurrida en el alambre, la lectura inicial en la columna (7) y la lectura actual en la columna (8).

Para obtener la deformación horizontal se resta la lectura actual con la lectura inicial,  $9 = (8) - (7)$ .

Es necesario que las deformaciones sean graficadas contra el tiempo, representando en la misma gráfica el embalse y el avance de construcción.

Las deformaciones son presentadas como sigue: Las extensiones con signo (+) y las compresiones con signo (-), las cuales son representadas sobre el eje vertical; en este mismo eje pero separado y a una escala conveniente, se indican las elevaciones de la curva de embalse y del avance de construcción; en el eje horizontal se indica el tiempo, expresado en días,

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON**  
**AREA DE MECANICA DE SUELOS Y ROCAS**  
**OFICINA DE INSTRUMENTACION**

**EXTENSOMETROS MECANICOS**  
 FECHA \_\_\_\_\_ LECTOR \_\_\_\_\_ ELEVACION DEL EMBALSE \_\_\_\_\_  
 EXTENSOMETROS SITUADOS EN \_\_\_\_\_ ELEVACION DEL TERRAPLEN \_\_\_\_\_

LOCALIZACION			ELEVACION INICIAL DEL ORIGEN DE MEDICION	ELEVACION ACTUAL DEL ORIGEN DE MEDICION	ASESORAMIENTO DEL ORIGEN DE MEDICION	LECTURA INICIAL EN ALAMBRE DE ACERO	LECTURA ACTUAL EN ALAMBRE DE ACERO	DESPLAZ. HORIZONTAL SEGUN CORR. <small>(+ para arriba - para abajo)</small>
ESTACION	DISTANCIA AL EJE <small>(para arriba para abajo)</small>	ELEVACION INICIAL DEL EXTREMO DEL EXTENSOMETRO						
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) ± (3) - (4)	(7)	(8)	(9) = (8) - (7)

NOTAS:  
 OBSERVACIONES:

meses o años, obteniendo así las curvas, deformaciones contra tiempo, embalse contra tiempo y avance contra tiempo.

Es importante anotar en un recuadro el número del extensómetro y su longitud inicial, e ir anotando el número del extensómetro en su gráfica correspondiente. Asimismo, se anotan a escala, la sección de la estructura con la ubicación y elevación de cada una de las estaciones extensométricas.

## **CAPITULO III**

### **MEDICIÓN DE ESFUERZOS**

## CAPITULO III

### MEDICIÓN DE ESFUERZOS

- III.1 PRESIONES HIDRÁULICAS
  - III.1.1 PIEZÓMETRO ABIERTO (TIPO CASAGRANDE)
  - III.1.2 PIEZÓMETROS NEUMÁTICOS
  - III.1.3 PIEZÓMETRO HIDRÁULICO CERRADO
  - III.1.4 PIEZÓMETRO ELÉCTRICO A BASE DE CUERDA VIBRANTE
  - III.1.5 PIEZÓMETRO ELÉCTRICO A BASE DE STAIN-GAGES SEMICONDUCTORES
  - III.1.6 CAUSAS DE FALLAS EN PIEZÓMETROS
  
- III.2 PRESIONES DE TIERRA
  - III.2.1 TIPOS DE CELDAS
  - III.2.2 GATO PLANO

### III. MEDICION DE ESFUERZOS

#### III.1. Presiones Hidráulicas

En problemas relacionados con la colocación de terraplenes o de cimentaciones construidas sobre suelos blandos, es esencial el conocimiento de la evolución de las presiones en el agua del subsuelo en exceso de hidrostáticas.

La medición de las presiones hidráulicas tiene algunos objetivos fundamentales, entre los cuales están:

- Conocer el grado de consolidación de un terraplen durante su construcción y una vez terminado; dado que el proceso de consolidación implica una transferencia de presiones del agua que satura el suelo a la estructura sólida del mismo; en principio toda la carga transmitida por el terraplen será tomada por el agua, produciéndose una presión neutral que en principio puede conocerse en relación a las condiciones iniciales de presión intersticial, que también pueden ser determinadas; después, a medida que el proceso de consolidación avanza, el exceso de presión adquirida por el agua disminuye, con un aumento correspondiente de la presión efectiva. El conocimiento de la presión de poro, en cualquier momento del proceso, permite conocer la etapa en que se encuentra el proceso de consolidación en ese momento.
- Conocer las condiciones hidráulicas en el interior de los estratos que constituyen el subsuelo.
- Las mediciones de presiones de poro son asimismo, una valiosa ayuda en problemas de filtración, ya que permiten apreciar la efectividad del sistema subterráneo de drenaje y el abatimiento del nivel freático.

En muchos problemas de cimentación resulta imposible poder calcular analíticamente las presiones de poro en forma confiable, por lo que es necesario registrar el desarrollo de las presiones hidrostáticas en puntos fijados de antemano, ya sea para fines de control durante la construcción,

de la verificación de la estabilidad, o de ambos.

Bajo condiciones puramente estáticas, la carga correspondiente a la presión neutral en todos los puntos, está dada por el nivel del espejo de agua (N.A.F.); sin embargo, salvo en masas de suelo uniformes y en terrenos planos, esta condición estática pura es muy difícil que exista en la naturaleza. Además, los cambios en las condiciones de esfuerzos propios de los proyectos de ingeniería inducen filtraciones que pueden persistir a lo largo de mucho tiempo en suelos de grano fino, y para las cuales las relaciones hidrostáticas ya no son aplicables al análisis de presiones de poro.

Los aparatos cuya función es medir la presión estática o carga del aire o del fluido que llena los vacíos entre las partículas minerales sólidas del subsuelo se denominan genéricamente piezómetros.

El principio básico de operación de todos los piezómetros estriba en la colocación de un elemento poroso dentro del suelo en forma tal que permita un flujo de agua a través de los huecos del elemento y esta agua se acumule en una cavidad; el tiempo que tarda en realizarse este flujo se llama "tiempo de respuesta" y es función de la permeabilidad del suelo donde está instalado el aparato y de la geometría de la cámara piezométrica; todo cambio de presión de poro requerirá un tiempo de respuesta finito para registrarse en el piezómetro.

Un concepto muy relacionado con el tiempo de respuesta es la flexibilidad del sistema, que es la deformación del piezómetro; al aumentar la presión medida con esta deformación aumenta el volumen de agua que debe moverse para que se registre. Ciertamente la deformación del dispositivo es pequeña pero el concepto tiene importancia porque dentro de la flexibilidad del sistema se incluye la deformación volumétrica de las burbujas de aire dentro del piezómetro, que provoca incrementos importantes del tiempo de respuesta de cualquier sistema piezométrico.

En el libro "Time Lag and Soil Permeability in Ground Water Observations" de Hvorslev, M.J. se desarrolla la teoría del tiempo de respuesta que calculan de la siguiente forma:



$$q = \frac{2 \pi L k H}{\ln \left( \frac{L}{D} + \sqrt{1 + \left( \frac{L}{D} \right)^2} \right)}$$

$$V = \frac{\pi D^2}{4} H$$

$$T = \frac{V}{q}$$

En donde:

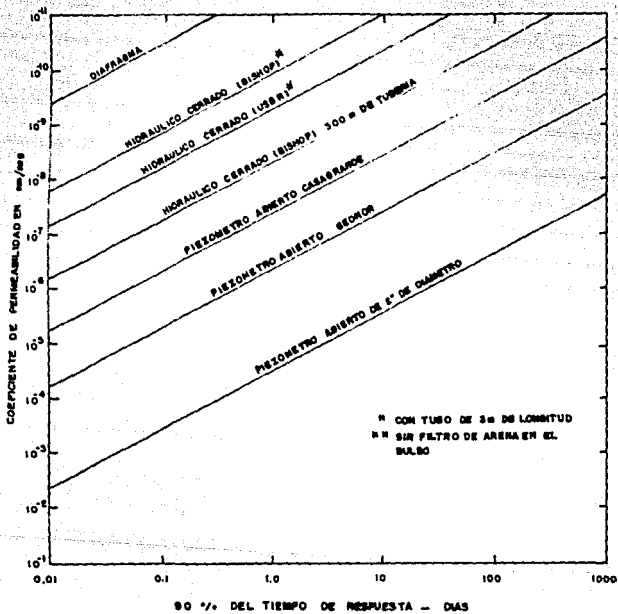
- q = Gasto de aportación de la cámara piezométrica.
- V = Volumen de agua que se debe movilizar.
- T = Tiempo de respuesta
- L = Longitud de la cámara piezométrica
- K = Permeabilidad del suelo
- H = Carga
- D = Diámetro de la cámara piezométrica

En la fig. III.1.1 se observan las gráficas del tiempo de respuesta de diferentes tipos de piezómetros.

el principal preparativo antes de instalar un piezómetro es el análisis de la estratigrafía encontrada durante la perforación a partir de la cual se determinará la profundidad de instalación

La instalación de un piezómetro merece tanta atención como el diseño, construcción y calibración del mismo. Un sello ineficiente en la tubería puede echar a perder el funcionamiento de cualquier aparato, lo mismo se puede decir de la utilización de un mal filtro.

En instalaciones profundas en suelos deformables, con frecuencia la tubería tiene un fenómeno de auto-incado, que genera una presión en la punta de manera que el piezómetro proporciona lecturas falsas. En este mismo caso se pueden presentar cambios de posición del dispositivo a lo largo del tiempo; para solucionar estos últimos problemas se aisla el aparato y su tubería de los movimientos del terreno circundante.



TIEMPOS DE RESPUESTA APROXIMADOS PARA VARIOS TIPOS  
DE PIEZOMETROS

Un enemigo muy importante de muchos piezómetros es el conjunto de -- efectos de corrosión y ataque a las partes metálicas fundamentales por las aguas impuras; la mejor manera de combatir estos efectos es utilizando aparatos con todas sus partes de plástico no susceptibles a estos fenómenos.

A continuación se describen algunos tipos de piezómetros, poniendo especial atención en la explicación de los piezómetros más comunmente utilizados en nuestro país.

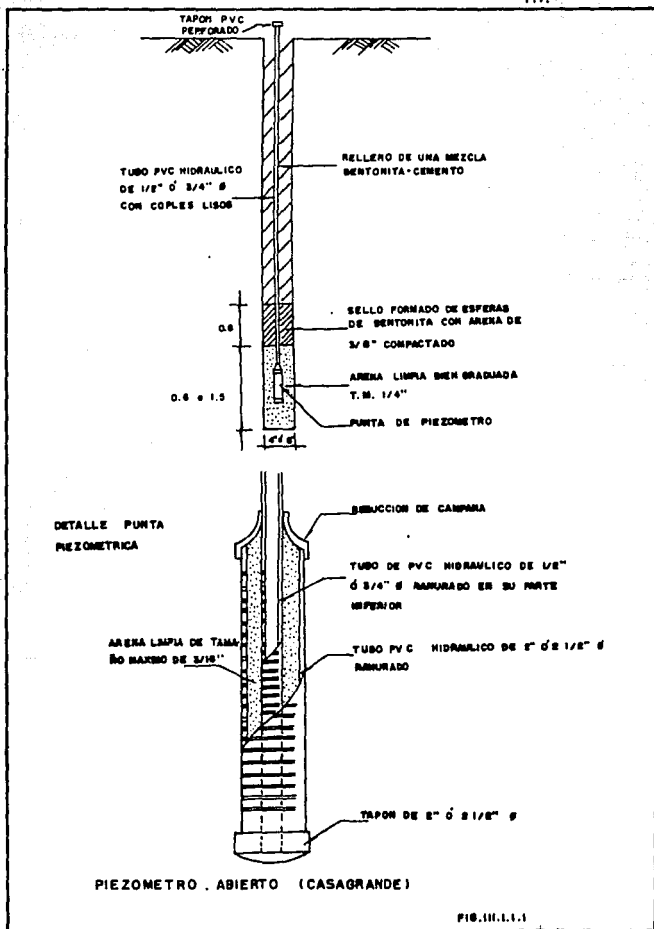
### III.1.1 Piezómetro Abierto (Tipo Casagrande)

Este tipo de piezómetro es muy utilizado en nuestro país por ser un - aparato de bajo costo y de operación e instalación sencilla que además, - proporciona datos confiables. El éxito de la operación de este piezómetro depende en gran medida de la atención y cuidado que se preste a los detalles de instalación y lectura.

El aparato consta de una punta piezométrica de 0.50 m. de longitud. la cual se ranura o perfora a fin de que pueda fluir fácilmente el agua a - través de ella. Debe ser lo suficientemente resistente para soportar la - presión máxima de sobrecarga del relleno y, lo suficientemente porosa para permitir el paso del fluido hacia el interior del bulbo sin permitir el - arrastre de partículas de suelo.

La punta piezométrica está formada por dos tubos concéntricos de PVC de 2" y 3/4" de  $\emptyset$  por 50 cm. de longitud; ambos son perforaciones laterales de 1/8" de  $\emptyset$ , separadas a 2.5 cm. o con ranuras de 1/16" con separación de 1 cm. En el extremo inferior del tubo de 2" de  $\emptyset$  se coloca un tapón y en - el superior una reducción de campana de 2" a 3/4" de  $\emptyset$  que comunica a la superficie.

El espacio entre los dos tubos se rellena de arena limpia bien graduada para que sirva de filtro. En la fig. III.1.1.1, se observa un esquema del piezómetro tipo Casagrande que se utiliza en la actualidad.



Para medir el nivel de agua dentro del tubo se hace descender sujeto a contrapesos de plomo un alambre eléctrico flexible que en la punta sujeta dos electrodos que al hacer contacto con el agua se registra por medio de una señal a base de luz, sonido o un galvanómetro de precisión. A continuación se marca el cable tomando como referencia el nivel del brocal del piezómetro y se toma la distancia de la punta del cable hasta donde se registró el contacto con el agua, anotando en el formato respectivo (Fig. III.1.1.2), la distancia del brocal al nivel del agua en el piezómetro.

Al igual que otro tipo de instrumentos, los piezómetros se pueden instalar dependiendo de las condiciones de los materiales donde se vayan a colocar y el proyecto mismo.

a) Instalación en perforación

El lugar de instalación se localiza por métodos topográficos y se nivela el brocal del barreno para controlar posteriormente el nivel del piezómetro cuando se instale.

En la perforación es conveniente aprovechar el sondeo como muestreo exploratorio, ya que es básico conocer el suelo en que quedó instalado el piezómetro para estar en posibilidades de interpretar correctamente las mediciones.

Cuando los piezómetros quedan instalados en suelos de permeabilidad baja o media conviene que la perforación sea del mayor diámetro posible, ya que de esta manera, aumenta el área de aportación a la cámara piezométrica con lo que se disminuye el tiempo de respuesta. La perforación se realiza utilizando un equipo que garantice la verticalidad del barreno y el diámetro iniciado en el proyecto, si el barreno cruza suelos blandos se usará ademe metálico recuperable.

El barreno deberá llegar hasta una profundidad de 0.50 cm. por abajo de la indicada en el proyecto, para que el centro del bulbo quede al nivel proyectado. Terminada la perforación se inyecta agua limpia por las barras de perforación durante un lapso de 5 a 10 minutos para limpiar totalmente



el recorte de la perforación y se mantiene el nivel del agua en el brocal para provocar un flujo descendente.

Se verifica la profundidad con una sonda, si hay caídos será necesario bajar el ademe hasta el fondo, no se recomienda utilizar bentonita para estabilizar porque se modifica la permeabilidad del suelo.

Se arroja lentamente el volumen necesario de arena para formar un filtro bajo el piezómetro y se verifica con la sonda el nivel alcanzado, después de retirar el ademe de este tramo.

Se une el piezómetro y la tubería de PVC con coples cementados y biselados previa previsión de la limpieza interior de la tubería y el forrado del piezómetro, el cual se efectúa mediante una bolsa de tela plástica de mosquitero, conteniendo en su interior arena gruesa o fina bien graduada, para asegurar que el bulbo quede protegido con el filtro. (Fig. III.1.1.3).

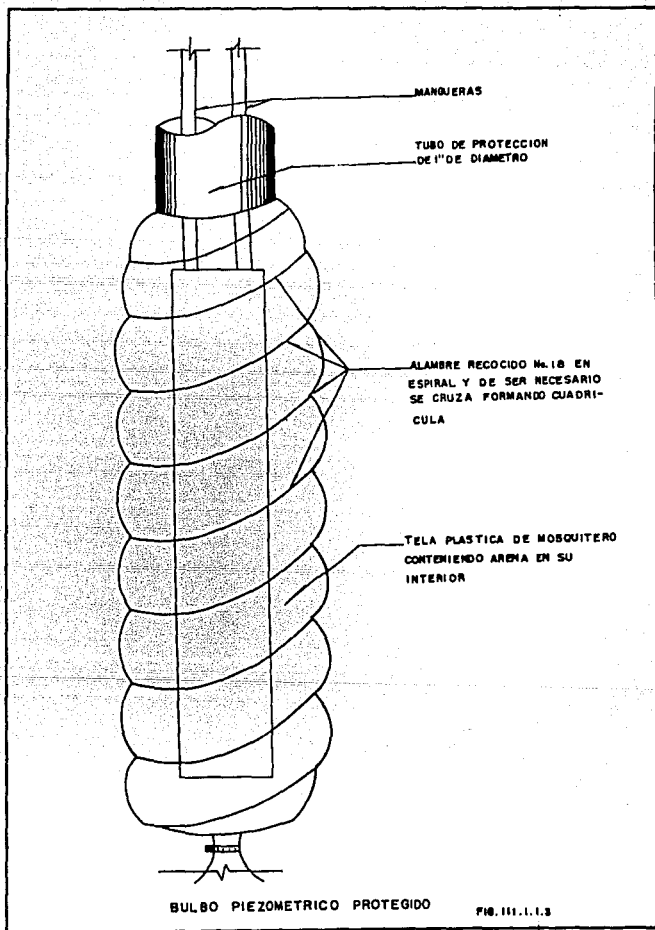
Se hace descender lentamente el piezómetro dentro del barreno, es conveniente mantenerlo lleno de agua durante toda la instalación y bajarlo hasta la profundidad del proyecto.

En la instalación de piezómetros profundos la tubería de PVC se flexiona considerablemente para lo cual se recomienda utilizar el tripie de la perforadora para reducir la flexión. La supervisión en las uniones y secado del pegamento de los coples evitará problemas posteriores.

Una vez colocada la tubería se retira el ademe hasta el nivel de la parte superior del bulbo.

Se vierte el volumen de arena necesario para formar el espesor de filtro sobre el piezómetro, en esta parte conviene vibrar ligeramente el tubo y verificar el nivel superior del filtro.

Se forma un sello sobre el filtro con bentonita en bolas de 3/8" a 1/2" de diámetro mezclada con arena compactándola en pequeñas capas con un





pizón anular, este sello debe tener un espesor mínimo de 60 cm.

Se continúa extrayendo el ademe, rellenando el barreno conforme sube el ademe con un mortero, arena-cemento-bentonita (una parte de cemento, dos de arena en volumen y la bentonita al 3% en peso del cemento), hasta 3.0 m. arriba del sello de bentonita, compactando y comprobando sus niveles con sonda. La colocación del mortero se efectúa con una bomba de lodos y la última parte del relleno es con material arcilloso hasta 0.5 m. antes de la elevación del terreno natural.

Finalmente se colocará un tapón perforado para mantener la presión atmosférica en el interior y de esta manera se impide la penetración de cualquier objeto ajeno y, por supuesto se construye un registro protector donde se anotan los datos del aparato para su identificación.

b) Instalación durante la construcción.

En este caso se localiza topográficamente las estaciones piezométricas por instalar, perforando con la broca adecuada, hasta llegar a la profundidad de instalación. Termina la perforación, ésto es, 0.50 m. por abajo del nivel de proyecto, se forma una cama de gavilla-arena bien graduada de 0.30 m. para asentar el bulbo. La tubería es unida al piezómetro, con coples cementados y biselados, revisando precisamente la limpieza interior de la tubería y el forrado del bulbo piezométrico. Cabe hacer la observación de que la tubería acoplada será únicamente la necesaria para alcanzar el nivel de avance.

Una vez asentado el piezómetro se vierte arena compactándola en forma manual hasta 20 cm. por abajo del nivel de las terracerías. Posteriormente, se protege la tubería con una caja metálica, la cual ya se ha mencionado en otros métodos de sobre-elevación.

Para realizar la sobre-elevación de la tubería de PVC se efectúa de la siguiente manera:

Una vez removida la caja metálica se acopla un nuevo tramo de tubo - de 3/4" Ø por 1.40 m. de longitud y se unen mediante un cople de PVC a la tubería ya colocada, cementando ambas uniones para fijarlas; posteriormente se protege con un tramo de tubo galvanizado o PVC de 1 1/2" de Ø por -- 1.75 m. de longitud. Se adapta un tapón hembra de PVC al brocal del tubo de piezómetro para protección y se rellena el pozo con material impermeable compactado con equipo neumático manual; se coloca nuevamente la protección y se repiten las operaciones ya indicadas más arriba, sólo habrá que inter cambiar el tubo galvanizado o de PVC de 1 1/2 por el 2" de Ø para el telescopiado.

Hay que tomar la elevación para cada tramo y efectuar las lecturas de los niveles de agua en los piezómetros. Al término de la colocación de los tubos habrá que protegerlos con un registro y para su identificación, se marca su nomenclatura.

De acuerdo con la forma de registro, el cálculo se efectúa en la forma siguiente:

- Para obtener la elevación del agua en el piezómetro columna (5) se efectúa la diferencia de la elevación del brocal columna (3) al espejo del agua columna (4) de donde se tiene:

$$(5) = (3) - (4)$$

- Para obtener la carga de agua que actúa sobre la punta piezométrica - columna (7), se efectúa la diferencia de elevación del agua columna (5) a la elevación del bulbo columna (6), o sea,

$$(7) = (5) - (6)$$

- Para convertir la carga de agua columna (7) a presión de poro, se multiplica por el peso volumétrico del agua. Posteriormente se divide la columna (7) entre 10 para obtener la congruencia en las unidades empleadas ya que en la forma se usan Ton/m<sup>2</sup> y la presión están en Kg/cm<sup>2</sup>.

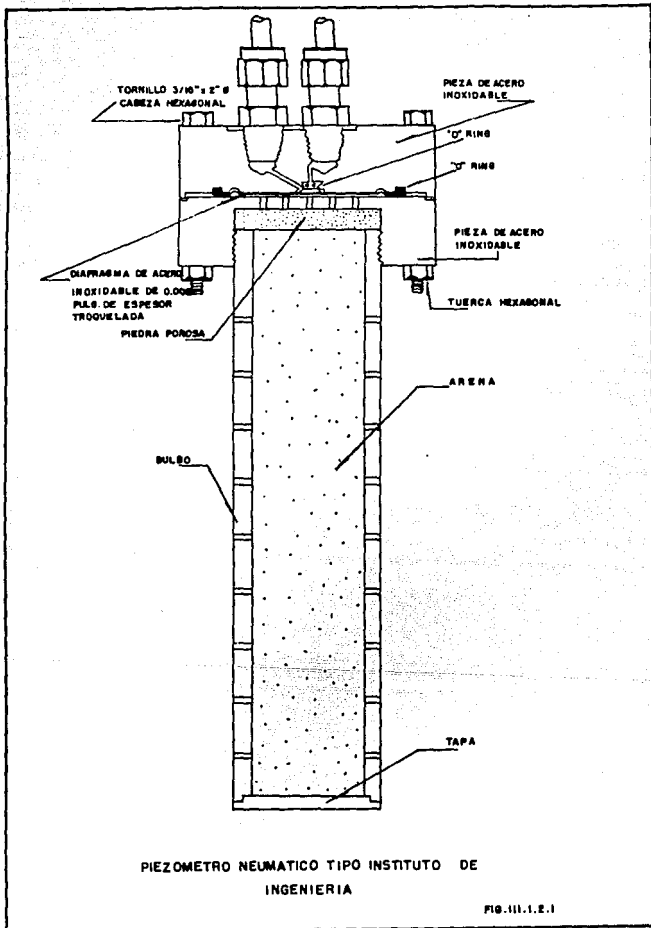
Los resultados se presentan gráficamente en un formato, indicando en el eje vertical, las elevaciones del nivel de agua y en el horizontal, el tiempo; generalmente en el eje vertical y con la misma escala, se grafica también el embalse de la estructura, para poder correlacionar los movimientos del embalse con las elevaciones del agua en los piezómetros; por cada piezómetro se dibuja una gráfica y se proporciona una planta de localización y una sección para observar las variaciones del nivel del agua y las posiciones que guardan los bulbos piezométricos en el interior de la estructura.

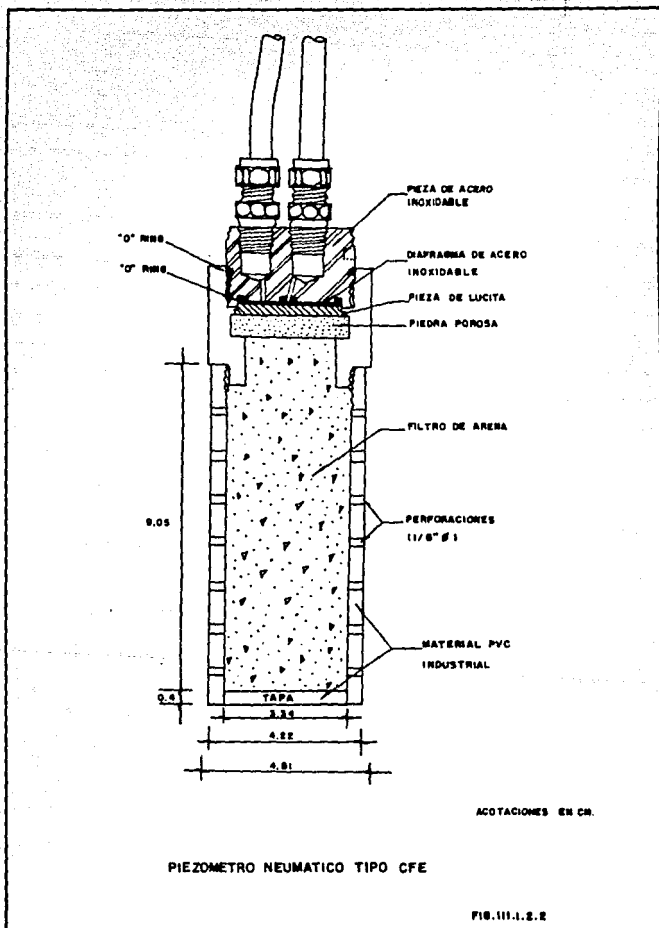
### III.1.2 Piezómetros Neumáticos

El piezómetro neumático es operado por inyección de aire y ha sido utilizado por la Tecnología Mexicana exitosamente. Este tipo de aparato es utilizado cuando los materiales que constituyen la masa de suelo donde quedará instalado son de baja permeabilidad, y se requiere un instrumento con respuesta rápida. Los piezómetros neumáticos más comunes son los diseñados por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, (Fig. III.1.2.1) y la Comisión Federal de Electricidad, (Fig. III.1.2.2).

Estos tipos de instrumentos están formados por: un elemento sensor que se encarga de detectar los cambios de presión que se desea medir, un elemento transductor que transforma la señal detectada por el sensor y finalmente un elemento terminal, que sirve para indicarnos la medición o lectura.

La unidad sensible (punta piezométrica) se encuentra constituida por una cápsula de acero a la cual se conectan dos mangueras o conductores neumáticos (que operan y comunican a la punta piezométrica desde el exterior) en la parte inferior tiene un tubo de PVC ranurado que contiene en su interior un filtro de arena bien graduada, de gruesa a fina, para permitir el paso del agua. El filtro tiene en la parte superior una piedra porosa y sobre ésta se encuentra fija una pequeña membrana cóncava de teflón o acero inoxidable que soporta la presión ejercida por el agua en el interior del filtro.





En la parte inmediata superior se encuentra una pequeña cavidad a la que llegan los conductores que comunican al exterior por medio de dos tubos de polyflow de 1/4" de Ø uno de los cuales transmite aire a presión, la cual al ser mayor que la presión ejercida por el agua sobre la membrana, la deforma permitiendo el paso de uno a otro conducto.

En este momento se regula la presión que ha sido suministrada, hasta que la membrana (diafragma) obtiene nuevamente la comunicación entre los dos conductores, de esta forma, la presión del aire en el conducto de entrada equivale a la presión de poro y se puede registrar con el auxilio de un manómetro.

La consola de medición es la encargada de proporcionar la presión de la superficie al bulbo piezométrico, la cual está constituida con un filtro de aire que se localiza inmediatamente después de la entrada del mismo; a continuación se localiza el regulador de presión, con el fin de evitar incrementos demasiado grandes que pudieran afectar la membrana y por consiguiente causarle daño al bulbo, que solo podría corregirse reemplazándolo por otro; en seguida una llave de paso, y después, una válvula micrométrica seguida por una válvula que controla el paso del aire al piezómetro y, finalmente, se conecta el retorno a un manómetro de Bourdon, con capacidad de 0 a 15 - Kg/cm<sup>2</sup>, después del cual existe una conexión a un manómetro de mercurio con longitud de escala de 2.50 m.

Para que un piezómetro neumático registre un valor correcto de la presión de poro es importante que la deflexión de la membrana no origine un cambio en dicha presión en el momento de la lectura. Cuando los piezómetros se instalan en suelos arcillosos de hecho inducen un cambio en la presión de poro ya que la deflexión hacia afuera del diafragma causa la disminución de volumen y un aumento en la presión aplicada al exterior del diafragma.

Los piezómetros neumáticos disponibles comercialmente tienen desplazamientos volumétricos comprendidos entre 0.5 y 0.002 cm<sup>3</sup> y se deben seleccionar los de menor magnitud.

## INSTALACION DE PIEZOMETROS NEUMATICOS

### a) Instalación en perforación

El procedimiento de instalación en perforación de piezómetros neumáticos es básicamente similar a la instalación de piezómetros abiertos (Fig. III.1.1.1), aunque es necesario tomar medidas adicionales que se comentan enseguida.

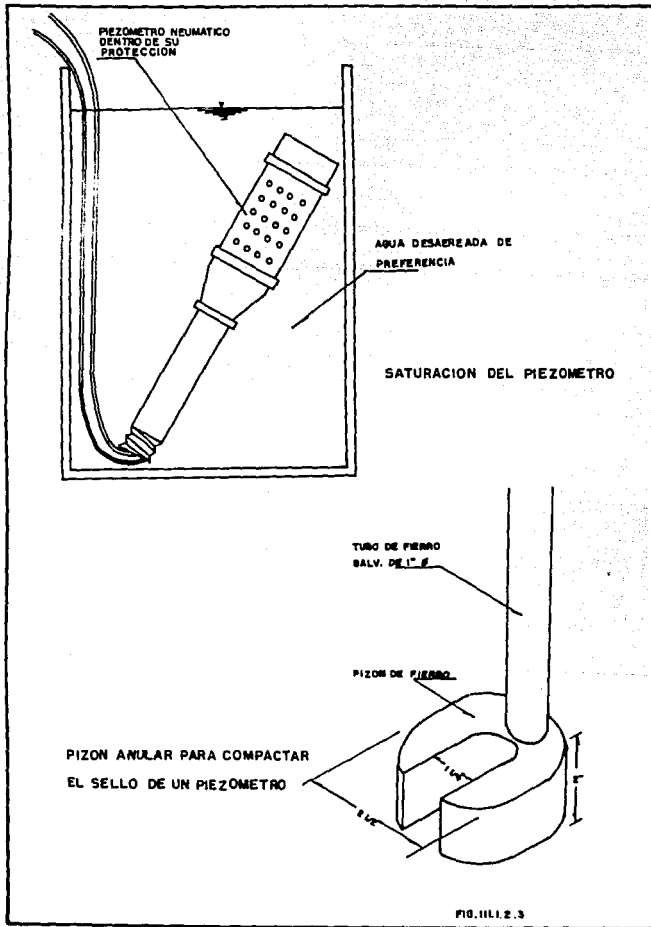
Como la tubería de protección del piezómetro neumático es rígida deberá introducirse por tramos en la perforación, lo mejor es hacerlo en tramos de 6.4 m. El primer tramo de tubo debe ser pequeño para manejarlo fácilmente, ya que para mantener la saturación del piezómetro se debe tener sumergido (Fig. III.1.2.3), y únicamente al instalarlo se saca del recipiente en que se transportó y se introduce rápidamente en la perforación, la cual está llena de agua.

Colocado el piezómetro se verifica que no haya fugas, aplicando presión por los conductores neumáticos y viendo si se mantiene en un manómetro de mercurio.

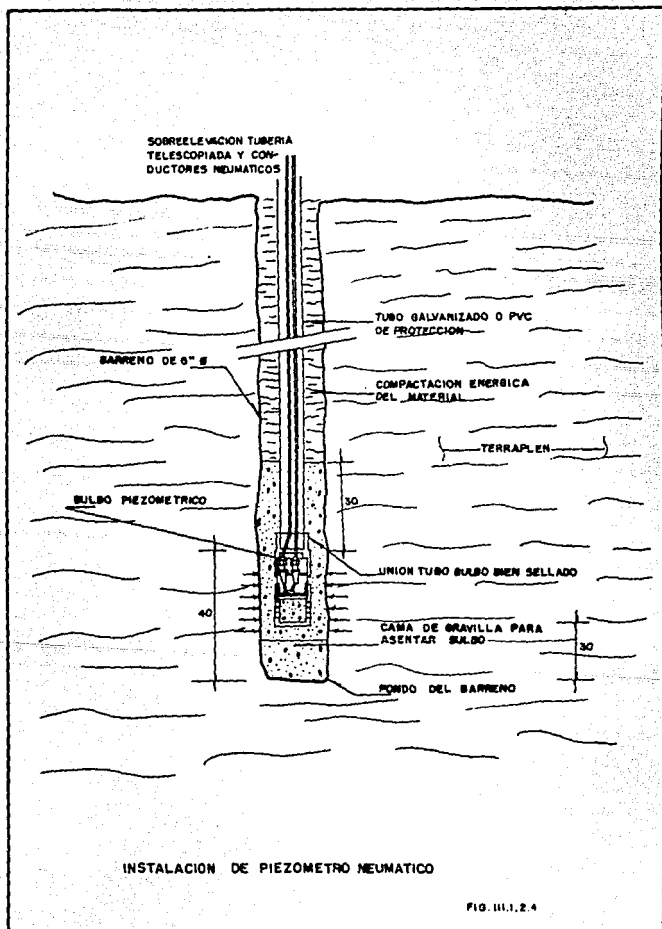
La presión que se aplique deberá ser igual o ligeramente mayor que la hidrostática, actuando en el piezómetro; también conviene checar que no haya obstrucción en las mangueras ya que pueden estrangularse de entrada al piezómetro (lateral) y observando si sale por la manguera de salida (central), la presión que se aplique deberá ser mayor que la actuante en el aparato, pero no exceder de  $0.5 \text{ kg/cm}^2$  para no dañar el diafragma.

Los conductores neumáticos serán protegidos con una tubería de PVC fijada al bulbo piezométrico. Cabe hacer la observación de que los conductores neumáticos deberán contar con la longitud necesaria para poder llegar hasta el lugar de instalación del tubo sin ninguna añadidura. La fig. III.1.2.4 muestra los detalles de instalación de un piezómetro neumático.

Los conductores neumáticos deben cuidarse de los trabajos de construcción y no dejarse expuestos al sol, debido a que la manguera "polyflow" que







se fabrica actualmente, se degrada rápidamente por la irradiación solar, volviéndose quebradiza en poco tiempo.

Una vez terminada la instalación se anota en la bitácora las observaciones referentes a su instalación, coordenadas y elevación final del bulbo, color de los conductores, identificación del bulbo y estación piezométrica correspondiente.

b) Instalación en sobre-elevación.

La instalación de los piezómetros neumáticos en el material de núcleo impermeable durante la construcción se realiza de la siguiente manera:

Cuando el nivel de avance de la terracería ha sobrepasado 1.00 m. el nivel de instalación del bulbo, se procede a localizar el sitio de forma topográfica de acuerdo con el proyecto.

Realizar un barreno en diámetro no menor de 6", utilizando una barra na elicoidal, llevando la perforación hasta 40 cm. abajo de la elevación de instalación del proyecto. Para la introducción del bulbo y el relleno de la perforación se efectúan las mismas operaciones descritas en el método anterior.

La protección de los conductores en la etapa de sobre-elevación se pueden realizar de dos maneras:

i) La primera consiste en llevar la tubería de protección y conductores neumáticos en forma horizontal, a través de una zanja, hasta la galería o registro en el talud de aguas abajo. El procedimiento es el siguiente:

- Una vez que se han instalado los bulbos piezométricos, se trazará y excavará una zanja de 0.30 m. de ancho y 0.40 m. de profundidad para alojar la tubería de protección de los conductores neumáticos.

- Se efectúa el traslape de la tubería de protección telescópica, la cual será de dos diámetros diferentes, dependiendo del número de conductores que lleven.

- Se introducen los conductores en los tramos de tubería de protección y se asienta en el fondo de la zanja procurando que no existan irregularidades en el fondo.

- En la galería o registro se identifican cada uno de los piezómetros neumáticos de acuerdo con los datos obtenidos de su instalación.

- La excavación se rellena con material de terracería, compactando con pizón de mano hasta 0.20 m. arriba de la tubería; posteriormente, se compacta con pizón neumático hasta el nivel de terracerías.

- Una vez cubierta la excavación de construye un terraplen de protección de 0.90 m. de ancho y de 1.00 m. de espesor, con material circundante y compactado con equipo neumático manual. Posteriormente a esta operación se podrá continuar con los trabajos de terracerías; lo anterior se muestra en la fig. III.1.2.5.

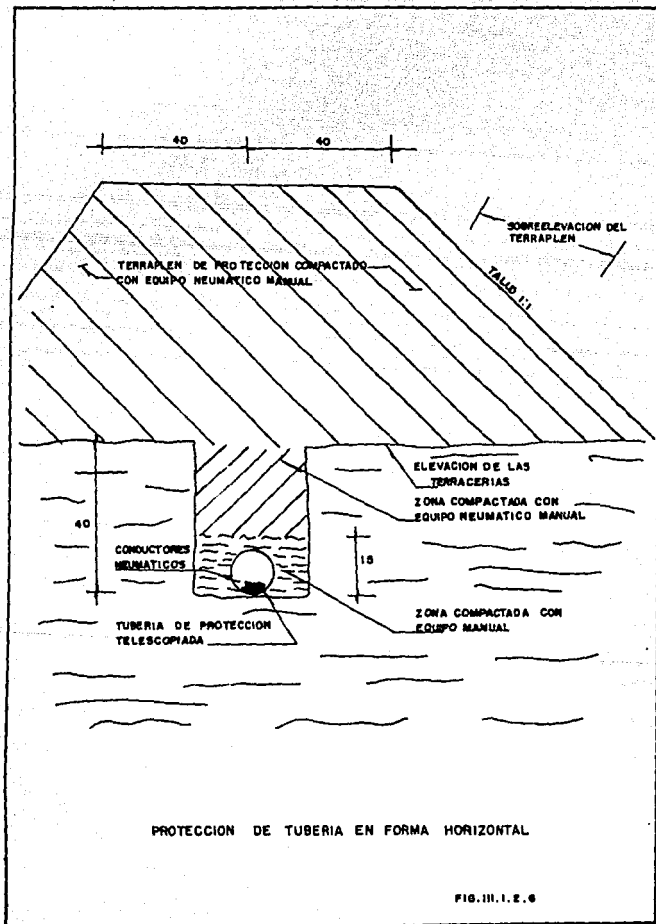
11) La segunda consiste en llevar a la tubería de protección y conductores neumáticos en forma vertical, ya sea haciéndolo por arriba del nivel de las terracerías o por abajo de la elevación en que se está trabajando el terraplen.

- Protección por arriba de las terracerías.

Quando se trabaja en arcilla y se lleva la instrumentación por arriba del avance, se forma un cono de protección de 1.0 m. de  $\varnothing$  en la parte superior con taludes 1:1 y 3.0 m. de  $\varnothing$  en la parte inferior; dando una compactación con equipo neumático manual igual al del material circundante, evitando de esta forma que el equipo pesado se acerque y pueda dañar la tubería.

- Protección por abajo de las terracerías.

Para llevar la tubería de protección y los conductores neumáticos por abajo de las terracerías, se protegerán con una caja metálica o de madera permitiendo de esta forma continuar con la colocación de las terracerías; es conveniente que la caja no descansa sobre la tubería de protección; en cambio se dejará un colchón de 0.40 m. descansando sobre material



compactado y cubriéndola del mismo material de que se trate, pero con procedimientos manuales. Posteriormente, al lograr un avance fijado se localiza el punto donde se lleva a cabo la sobre-elevación de los instrumentos, procediendo a excavar y sobre-elevar la tubería de protección y las mangueras hasta 0.50 m. por abajo de la elevación actual del terraplen.

La operación se debe repetir hasta llegar a la superficie, en la cual se identifican las mangueras y se construye un registro de concreto con tapa y candado. Cuando se concentran varios piezómetros en un registro y con el fin de hacer más funcional la toma de lecturas, se construye un registro como el mostrado en la fig. III.1.2.6.

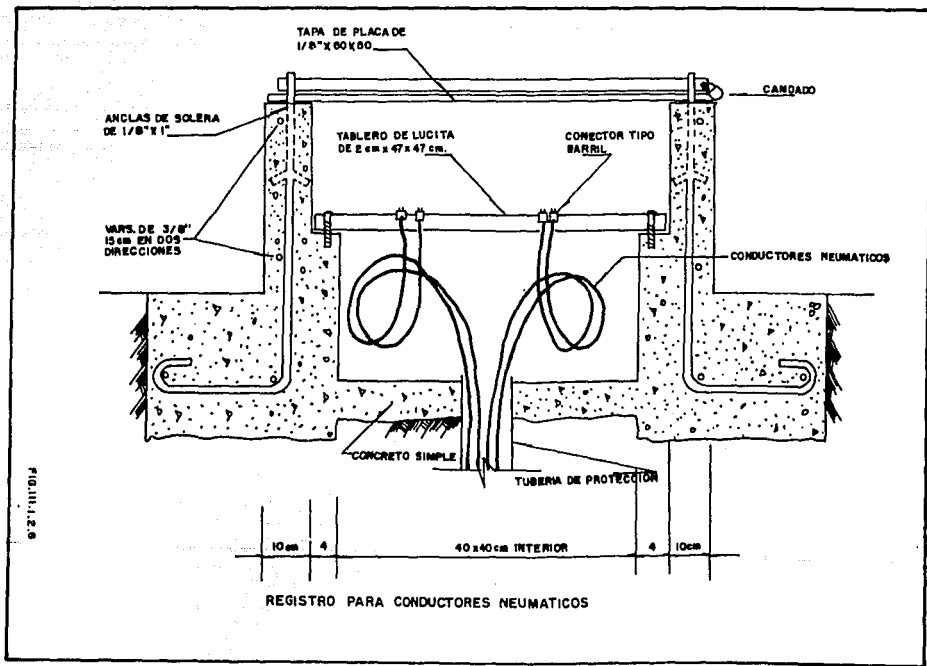
Las tuberías telescópicas de protección deberán ser de fierro galvanizado o PVC, en tramos de 1.5 m. y de 1 1/2" y 2" de  $\varnothing$ , el objetivo fundamental por lo cual las tuberías son telescópicas, es el dar flexibilidad al conjunto sujeto a presiones laterales y deformaciones verticales.

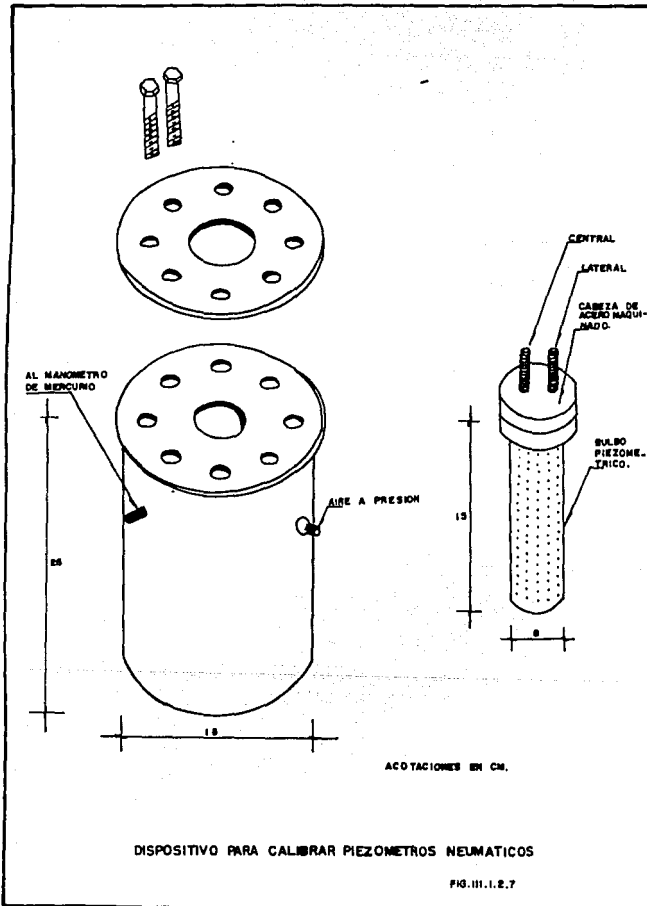
Generalmente se instalan varios piezómetros, ya sea sobre la misma elevación o a diferentes elevaciones, procurando utilizar una sola tubería de protección, para lo cual al hacer las conexiones se usarán quebres suaves, evitando los de 90°.

Antes de la instalación de cualquier piezómetro se recomienda calibrarlo correctamente y ponerlo un tiempo mínimo de una hora en agua para saturarlo perfectamente.

La calibración de los bulbos piezométricos consiste en someter a ciclos de aplicación de presión y descarga para conocer su funcionamiento; con los resultados obtenidos se elabora una gráfica, en la que se relaciona la presión actuante en el bulbo y la presión leída en la consola de medición.

Para realizar la calibración habrá que saturar perfectamente el bulbo y colocarlo en un recipiente hermético como el mostrado en la fig. III.1.2.7.; el espacio anular se llena con agua y se tapa, dejando la parte superior del bulbo con las conexiones accesibles, para conectar las mangueras





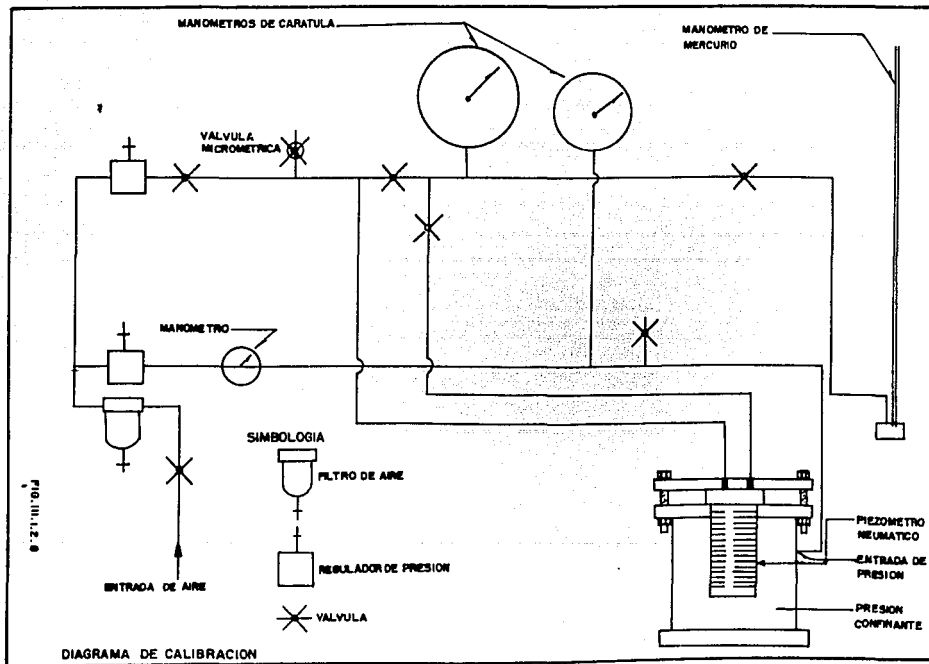
ras a la consola de medición; una vez sellado el recipiente y asegurándose que no existan fugas, se aplica la presión al recipiente por medio de una válvula que permite el paso del aire en un solo sentido y mediante un manómetro conectado también al recipiente, se puede conocer la presión confinante que existe en la cámara y en el bulbo; posteriormente se toma la lectura inyectando aire al piezómetro por medio de la consola de medición, la aplicación se realiza por el conector lateral y retorna por el central, registrándose la presión aplicada tanto en el manómetro de la consola con la escala de mercurio, se procede a estabilizar la presión para verificar que no existen fugas en el sistema. La fig. III.1.2.9 muestra el diagrama de la calibración del piezómetro neumático.

Para calibrar en el rango de 0 a 2 kg/cm<sup>2</sup> se aplican incrementos de presión de 0.25 kg/cm<sup>2</sup> y el rango de 2 kg/cm<sup>2</sup> hasta 8 kg/cm<sup>2</sup> los incrementos serán de 0.50 kg/cm<sup>2</sup>. La operación de calibración se deberá repetir tres veces como mínimo. Con los resultados se traza una gráfica que generalmente corresponde a una recta de 45°.

La toma de lecturas se puede realizar tanto durante las etapas de construcción como de operación, con el objetivo fundamental de conocer la evolución de las presiones de poro con el proceso constructivo y con el tiempo. Antes de tomar las lecturas, debemos checar que los conductores neumáticos estén respectivamente bien conectados e identificados en la consola con el fin de evitar errores en las lecturas, ya que si se invierten pueden ocasionar que no cierre la membrana. Posteriormente, se conecta la escala de mercurio en la salida correspondiente y la entrada de aire a presión, contando con un manómetro para medir la presión que conserva el tanque y otro para la presión que se está extrayendo; previamente se debe checar que el regulador de la consola esté cerrado.

checar que las válvulas se encuentren en las posiciones siguientes: La válvula micrométrica en cerrado, la válvula lateral en abierto, la válvula de intercomunicación en cerrado, la válvula central en abierto y la válvula que permite accionar el manómetro en posición de abierto.





Cuando las cinco válvulas estén en la posición indicada, se gira lentamente la manija del regulador de presión inyectando por la manguera conectada en lateral al piezómetro aire a presión, incrementando en rango de  $0.25 \text{ Kg/cm}^2$  hasta vencer la presión actuante sobre la membrana del piezómetro, comunicándose de esta manera la manguera de entrada con la de salida y registrándose la presión en la carátula del manómetro de la consola y en la escala de mercurio.

Registrada esta presión, se cierra la válvula de entrada y se abre la válvula micrométrica de desfogue, con lo que el aire comenzará a salir, - disminuyendo la presión gradualmente; cuando se iguala la presión, la membrana se cierra, interrumpiendo la comunicación, el aire de la manguera de entrada continúa saliendo, pero la presión en la manguera de salida queda atrapada y registrada en los manómetros. En ese momento deberá tomarse la lectura y repetirse la operación tres veces en cada piezómetro para garantizar que son correctas.

Los datos que se registran para cada lectura son: la presión aplicada en  $\text{Kg/cm}^2$ , altura de las columnas de mercurio, escala A y B y la presión leída en la carátula del manómetro, en la fig. III.1.2.9, se presenta la forma de registro.

Con los datos obtenidos en el campo se puede calcular la presión leída en el manómetro, utilizando la diferencia entre las lecturas de los manómetros de mercurio (A y B); multiplicando la diferencia por un factor de conversión que involucra la constante de calibración del piezómetro y el peso volumétrico del mercurio. Este cálculo se realiza en la misma forma utilizada para registrar los datos en el campo.

La presentación de los resultados puede ser en forma gráfica, mostrándose los cambios de presión registrados en cada piezómetro contra el tiempo de observación.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
 ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON  
 AREA DE MECANICA DE SUELOS Y ROCAS  
 OFICINA DE INSTRUMENTACION

## PIEZOMETROS NEUMATICOS

FECHA \_\_\_\_\_ ELEVACION DEL ENWALSE \_\_\_\_\_ LECTORISTA \_\_\_\_\_

CALCULO \_\_\_\_\_ GRAFICO \_\_\_\_\_ REVISO \_\_\_\_\_

PIEZO- METRO	ESTACION	ELEVACION		PRESION APLICADA	MERCURIO			DIFERENCIA	PRESION CALCULADA	PRESION MEDI- DA EN LA CARATULA
		DEL BULBO	DEL BROCAL		Al	B	C			
No.	Mm	M. S. P. M.	M. S. P. M.	Kg/cm <sup>2</sup>	cm	cm	cm	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)-(9)+100	(10) 0.83 x F en C	(11)	

FACTOR DE CONVERSION F en C: \_\_\_\_\_

OBSERVACIONES:

FIG. III.1.2.0

Es frecuente dibujar también en la misma figura la curva de embalse, para visualizar fácilmente si existe relación entre ellos. Cuando se están tomando lecturas en la actividad de construcción es importante anotar el avance de construcción para poder relacionar el aumento o disminución de presiones.

### III.1.3 Piezómetro Hidráulico Cerrado

El aparato consiste en una unidad sensible de paredes porosas, de la que salen hacia el exterior dos tubos conectados a un medidor de vacío o a un manómetro, ya sea de mercurio o bourdon.

Una de las mangueras pasa por la punta del bulbo poroso y la otra termina en la parte superior del mismo. Después de instalado, se hace circular por el piezómetro un flujo de agua para eliminar la burbuja de agua; terminando el desaireado y lleno de agua los conductos se cierra la manguera de inyección y el tubo de retorno se conecta a un manómetro o a un transductor de presión.

En la fig. III.1.3.1 se muestra en forma esquemática un piezómetro hidráulico, cuyo empleo es frecuente para observar a largo plazo las presiones generadas - por el flujo de agua a través de las presas de tierra.

El medidor de presión y su registro de protección o lumbreira construidas en el talud de aguas abajo de la presa deben estar a una elevación ligeramente mayor que la del bulbo poroso.

Como la manguera de polietileno es permeable al aire, se recomienda emplear tubing de nylon con forro de polietileno, generalmente de 3/8" de  $\varnothing$  interior y de 1/2"  $\varnothing$  exterior. Este tipo de manguera es resistente, flexible e impermeable tanto al aire, como al agua y puede usarse durante mucho tiempo sin necesidad de desairearse.

Se pueden encontrar otros tipos de piezómetros hidráulicos dependiendo del tamaño y tipo de cavidad de recolección de agua, del tamaño y tipo de mangueras y del diseño del tipo de medidor de presión. La instalación, así como la protección y telescopiado es similar a lo comentado en el punto III.1.2.

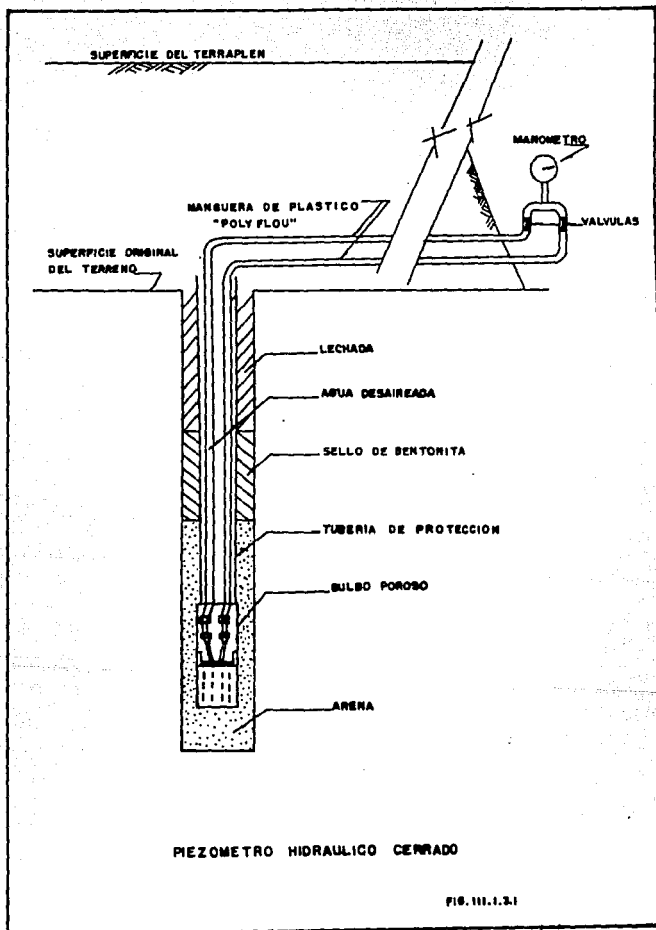


FIG. III.1.3.1

#### III.1.4 Piezómetro Eléctrico a Base de Cuerda Vibrante

El principio de acción de todos estos instrumentos es el mismo. Existe la correspondiente celda porosa a través del cual el agua presiona hacia arriba una membrana flexible (diafragma) en la parte superior de la membrana está fijo el dispositivo de medición, el de cuerda vibrante.

El extremo inferior de esta cuerda está ligado a la membrana medidora de que se habló. En las condiciones iniciales la cuerda tiene una cierta longitud y una cierta tensión, de manera que al ser excitada por un electroimán vibra con una cierta frecuencia natural.

Sobre la superficie de la consola de medición existe otra cuerda idéntica, cuyo extremo inferior se puede medir ligeramente con un tornillo micrométrico; los circuitos de ambas cuerdas pueden compararse, estableciendo el momento en que son iguales, lo que sucede en la posición inicial del acurato.

Cuando la membrana sube por efecto de la presión del agua, se modifica la longitud de la cuerda en la unidad sensible y correspondientemente su frecuencia natural de vibración, por lo que habrá que ajustar el tornillo de la consola de medición, hasta igualar las dos frecuencias.

Una calibración previa hecha en el laboratorio proporciona una curva que permite calcular la presión de poro a partir del cambio de frecuencia medido.

Estos aparatos son de respuesta prácticamente instantánea y poco sensible a efectos derivados de la acción físico-química del agua. Por lo cual son adecuados para instalarse en materiales arcillosos bastante impermeables y de alta plasticidad.

Los piezómetros eléctricos no son recomendables para instalarse donde se requieren mediciones confiables durante un tiempo largo, esto es debido a la afectación que sufre por el medio ambiente; verbigracia, en presas de tierra.

Otra limitación sería el alto costo de los piezómetros, cables de conexión y dispositivos de medición, ya que el piezómetro necesita una calibración que no puede revisarse una vez instalado. La instalación así como la protección y sobre-elevación de la tubería es similar a la comentada en el inciso II.1.2.

### III.1.5 Piezómetro Eléctrico a Base de Strain-Gages Semiconductores

La variación en los diferentes tipos de piezómetros corresponde al tipo de transductor, el elemento poroso y la geometría del cuerpo; en el piezómetro eléctrico a base de strain-gages se emplea un transductor de presión de poro transmitida por el agua que fluye a través de la piedra porosa, los cambios de presión son registrados en la superficie por la consola de medición. La cámara donde están los strain-gages se encuentra al vacío, para evitar que entre humedad.

Estos aparatos presentan como ventajas su facilidad de lectura, tiempo de respuesta rápidos, puede leer presiones de poro negativas y sirve para mediciones dinámicas y registros neumáticos. Sin embargo algunos modelos son susceptibles a la temperatura y las mediciones se pueden alterar si se transmiten a largas distancias.

Las protecciones y telescopiados, así como su instalación, es similar a lo comentado en el punto III.1.2.

### III.1.6 Causas de Fallas en Piezómetros

Uno de los errores más importantes probablemente sea la selección del tipo de piezómetro o el diseño inadecuado de la instalación de piezómetros abiertos da como resultados tiempos de respuesta excesivos para el objetivo buscado. Se puede caer en este error si no se conoce la estratigrafía del sitio o por no verificar el tipo de suelo en que quedó alojado el piezómetro.

En la formación de la cámara piezométrica se pueden presentar las siguientes causas de falla:

- Oclusión de los poros en la pared de la cámara piezométrica por el empleo de bentonita para la estabilización de la perforación; en este caso el tiempo de respuesta se incrementa considerablemente, pudiéndose llegar al caso de no lograr ninguna medida significativa.
- Sellado deficiente de la cámara piezométrica por no compactar el sello de bentonita o porque un alto porcentaje de bentonita queda adherida a la pared de la perforación, por no establecer el flujo descendente y/o no arrojarlas lentamente.
- Filtración por los coples de los tramos inferiores de la tubería PVC si no se les aplica suficiente pegamento, esto incrementa el tiempo de respuesta y puede alterar totalmente las mediciones.
- Obstrucción de la tubería de PVC por exceso de pegamento en los coples, esto ocasiona que no sea posible bajar la sonda para medir la profundidad del espejo de agua.
- Medición defectuosa del espejo de agua debido a defectos de la sonda eléctrica; si los electrodos no van protegidos puede cerrarse el circuito por gotas adheridas a las paredes del piezómetro, también es común si no se lastra la sonda, ésta no baja al fondo del piezómetro.

En la instalación de piezómetros neumáticos las causas más frecuentes de falla son:

- Fuga en las conexiones intermedias en las mangueras para minimizar la posibilidad de fuga.
- Fuga en las mangueras. Este tipo de fugas se presentan por las siguientes causas:
  - . Por defecto de las mangueras, por lo que conviene probarlas antes de instalar.



. Por degradación del plástico de las mangueras por exposición continua al sol.

- Estrangulamiento de mangueras, si no se tiene cuidado en la instalación pueden torcerse o doblarse originando la inutilización parcial o total del piezómetro.

- Obturación de los orificios de la cabeza del piezómetro; ocurre generalmente por rebabas o residuos de materiales extraños en el interior de las mangueras.

- Una causa de falla común es no sellar adecuadamente el interior de la tubería de protección; se debe colocar un sello que resista la presión máxima que se pretende medir ya que de presentarse una filtración se formará una columna de agua y el tipo de respuesta será el de un piezómetro abierto.

- En la instalación de piezómetro neumático la presencia de burbujas en el filtro de la cámara piezométrica y en el piezómetro mismo afecta las mediciones, ya que origina el tiempo de respuesta, que debe ser nulo, aumenta hasta valores parecidos al de un piezómetro abierto.

- Cuando se instalan varios piezómetros juntos, es común conducir juntas todas las mangueras, por lo que es necesario identificarlas con etiquetas y con un código de colores para evitar confusiones.

### III.2 Presiones de Tierra

En esta parte de la exposición nos referimos a la medición de esfuerzos totales en una masa de suelo o los cambios de esfuerzos producidos por las operaciones de construcción. Los esfuerzos totales en suelos se pueden estimar empleando varios procedimientos analíticos, aunque la medición real de estos esfuerzos es difícil. Las mediciones de esfuerzos totales son necesarios para obtener esfuerzos efectivos a partir del conocimiento de la presión de poro y, así poder estimar la magnitud y dirección de los esfuerzos principales dentro de un terrapién y calcular la resistencia al fracturamiento hidráulico.

Los dispositivos utilizados para medir presiones verticales son las celdas de presión. Estos aparatos han sido utilizados para medir esfuerzos en terraplenes y en estructuras en contacto con el suelo, o en el caso más general, esfuerzos de campo libre dentro de un terraplen, sin embargo, no es tan fácil hacer dichas mediciones y la precisión de los valores medidos depende más del método de instalación y de las propiedades de los materiales que de las características de las celdas.

Para obtener datos confiables es necesario que todos los detalles de diseño, fabricación, calibración, instalación y lectura se controlen cuidadosamente, ya que cualquier deficiencia en estos aspectos puede invalidar por completo la respuesta medida.

A pesar de que la determinación de los esfuerzos actúan sobre una celda enterrada es bastante compleja, se ha comprobado que esta complejidad se puede manejar calibrando adecuadamente la celda.

Es conocido que los esfuerzos medidos con una celda dependen en gran parte de la rigidez relativa entre la celda y el suelo en el cual se coloca. Idealmente la celda debería de tener las mismas características esfuerzo-deformación que el material que sustituye, pero esto es prácticamente imposible. Si la celda es demasiado rígida, el instrumento estará sometido a esfuerzos mayores que los del suelo circundante; lo contrario sucede cuando el sensor es más comprensible que el suelo, además resulta imposible colocar el relleno de suelo en forma tal que se conserven las propiedades del resto del terraplen.

El instrumento ideal deberá tener un diámetro grande para minimizar las concentraciones locales de esfuerzos y además de poco espesor para minimizar los efectos de rigidez.

### III.2.1 Tipos de Celdas

La primera celda que se instaló dentro de un terraplen operaba aplicando aire a presión al respaldo de un diafragma hasta equilibrar el empuje de tierras

actuando en su frente. La alimentación de aire se realizaba desde una caseta de instrumentación donde se medía su presión. Si se pudiera mantener un equilibrio entre la presión del aire y el empuje de tierras de tal forma que el diafragma no se moviera, en ese momento la presión neumática medida reflejaría la presión de tierra promedio actuando en el diafragma.

Posteriormente, se desarrolló una celda hidráulica muy delgada a base de un sistema cerrado, lleno de aceite, que consta esencialmente de dos láminas de acero con sus extremos unidos entre sí en forma flexible. El aceite se conecta a un transductor de presión a través de un tramo corto de tubo, montado en una de las caras de la celda.

El transductor contiene un diafragma de plástico que se opera a través de dos mangueras llevadas hasta una caseta de instrumentación. El aceite dentro de la celda se precarga ligeramente para mantener el diafragma en posición de cerrado, lo cual ocurre al sellarse los extremos de los dos tubos de conexión llenos también de aceite. Para tomar lecturas se aumenta la presión del aceite inyectando un volumen pequeño y constante en uno de los tubos hasta que sea suficiente para empujar el diafragma y permitir que el aceite regrese por el otro tubo. En ese momento se suspende el bombeo y el aceite tiende a regresar hasta que el diafragma obture el tubo de retorno; la presión del aceite en el tubo de entrada medida en la caseta de instrumentación, deberá entonces ser la misma - que la del aceite de la celda actuando en el lado opuesto del diafragma de plástico.

La celda puede ser de geometría circular o rectangular, tiene una relación área-espesor alta, por lo que la celda resulta muy delgada y en consecuencia los efectos de distorsión debidos a variaciones en los módulos de deformación de la celda y el suelo son muy pequeños. Por su simplicidad, este sistema posee muchas ventajas para emplearse en terraplenes.

Con base en este sistema y variando únicamente el principio de medición del transductor se han desarrollado varios tipos de celdas; a continuación describiré con detalle el tipo de celda más utilizado en nuestro país.

El instrumento consiste en dos elementos que son: el elemento sensor y el elemento receptor.

El elemento sensor consta de un anillo de acero al que se acoplan dos láminas delgadas circulares para formar la celda, tiene una altura de 1/2" y un diámetro de 44 ca. en el interior contiene aceite, que transmite la presión por medio de un tubo de cobre de 1/4" de diámetro y va colocado al elemento receptor.

El elementoreceptor es similar al del piezómetro neumático, de un lado se tiene la presión que hace que la membrana de teflón accione contra las paredes del elemento y, por otro lado, se tiene el sistema que se debe operar desde la superficie y que registra la presión que se está generando en la celda. La fig.III.2.1.1, muestra los detalles de la celda de presión.

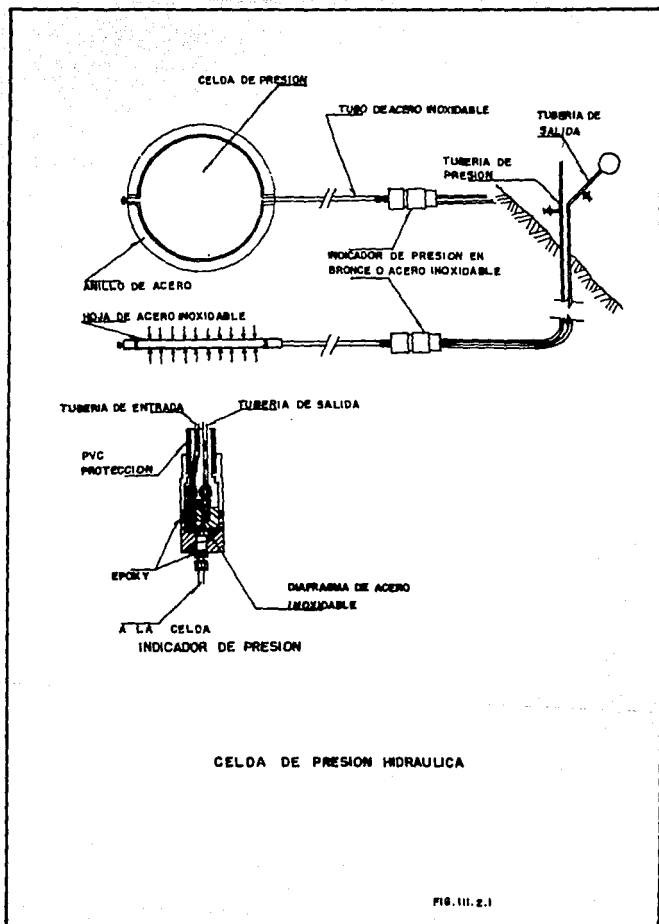
Previo a la instalación se debe verificar, para cada celda, que: las mangueras "poly flow" de 1/4" de Ø, tengan la suficiente longitud para llegar al tablero de lecturas previsto en el proyecto, sin que haya uniones, se procurará que cada celda tenga conductores de colores diferentes y marcas iguales por cada par de conductores y que no puedan ser borradas ni confundirse, además de previa calibración.

Es necesario establecer una técnica uniforme de colocación de celdas para minimizar la dispersión de resultados, así como tomar el promedio de varias celdas para representar el esfuerzo en un punto. La dificultad principal en la instalación de celdas es la colocación adecuada y la compactación del relleno a su alrededor hasta "igualar" la del suelo circundante.

Sería ideal poder colocar la celda sobre la superficie de un relleno y dejar que la siguiente capa se compactara sobre ella con el procedimiento constructivo normal, esto resulta impropio por dos razones.

- Se dañaría la celda y las mangueras de conexión por el paso de la maquinaria de construcción.

- Es conveniente instalar grupos de celdas, colocadas de tal modo que se puedan medir esfuerzos en varias direcciones, para que los resultados se puedan utilizar en el cálculo de la magnitud y dirección de los esfuerzos principales.



El relleno va compactado en capas delgadas sobre la celda, primero a mano, luego con equipo ligero y por último con equipo más pesado, hasta alcanzar un espesor del orden de dos diámetros de la celda sobre la instalación donde ya puede entrar el equipo de compactación sobre toda la capa.

Dependiendo del objetivo del estudio, se hará referencia a la posición de apoyo de las celdas, las cuales pueden ser orientadas en posición horizontal, vertical e inclinada.

#### - Celda en Posición Horizontal

Cuando la excavación se encuentre aproximadamente a 10 cm. antes de llegar a la profundidad de instalación se labra únicamente la zona de apoyo de la celda, procurando una superficie bien nivelada, sobre ésta, se tiende una capa de aproximadamente 1 cm. de arena fina bien graduada que pase la malla No. 40 y se retenga en la malla No. 200, cubriendo las asperezas propias de la excavación. (Fig. III.2.1.2.a). Sobre dicha capa se asienta la celda, conectando el sensor de medición a la tubería de protección de fierro galvanizado por medio de una reducción de campana y haciendo pasar los conductores de plástico por el interior del tubo de protección; se debe proteger la tubería que va de la celda al sensor, con tubería flexible, -- para que absorba los movimientos.

Antes de rellenar la zanja se verifica el funcionamiento del sistema, aplicando aire a presión; la presión deberá ser mínima y se conservará un tiempo razonable, observando en el manómetro si no hay baja de presión, revisando conexiones y repitiendo la prueba hasta confirmar que no existen fugas; posteriormente se registra en la bitácora los siguientes datos: elevación de la instalación, posición de la celda, color o marca de las mangueras, posición de la cortina, número de celdas, constante de calibración, condiciones de escavación y de relleno.

El relleno de la excavación se realiza con material de las terracerías, compactando en pequeñas capas de 30 cm. con pisón de mano sobre la celda y tubería de protección, el resto de la compactación se hará con equipo neumático hasta llegar al nivel de avance.

#### - Celda en Posición Vertical

Llegando a la elevación del proyecto, el cual corresponde al centro de la celda, se labra una caja de 60X20 cm. de profundidad para que se introduzca la mitad de la celda, tal como se aprecia en la fig. III.2.1.2.b.

Se introduce la celda dentro de la caja labrada y cuando queda apoyada se procede a vaciar material de uno y otro lado al mismo nivel en capas; previo a la compactación, se conecta el sensor de medición a la tubería de protección de fierro galvanizado, por medio de una reducción de campana y haciendo pasar los conductores de plástico por el interior de los tubos de protección.

Antes de rellenar la excavación se comprueba el funcionamiento del aparato, inyectando aire a presión; la presión será mínima y se conservará un tiempo razonable, observando en el manómetro si no hay baja de presión; se revisan las conexiones y se repite la operación hasta estar seguros de que no existen fugas.

La compactación se realizó con pisón de mano, evitando golpear la celda y conservando su verticalidad; se continúa compactando en pequeñas capas, hasta un espesor de 60 cm. sobre la celda y sensor y, en la tubería será de 20 cm. terminando el resto con un compactador neumático.

#### - Celda en Posición Inclinada

Al tener la excavación 20 cm. antes de llegar a la posición de proyecto de la celda, se deberá labrar la zona donde se va a instalar, el asiento de la celda deberá tener la inclinación de proyecto, tal como se indica en la fig. III.2.1.2.c.

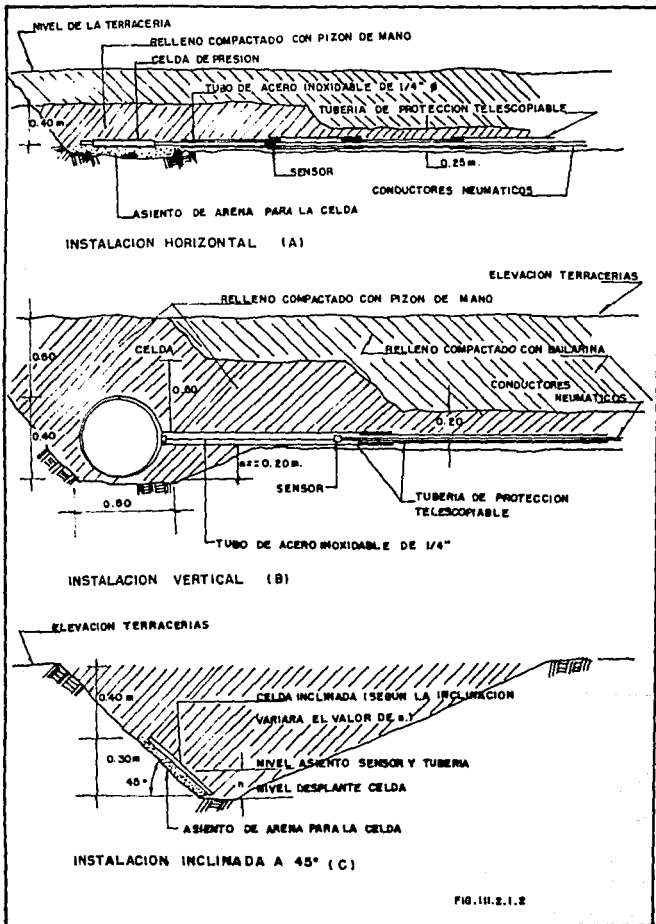


FIG. III.2.1.2



Antes de colocar la celda se coloca una capa de arena fina bien graduada de 1.0 cm. para el apoyo de la celda y posteriormente, se va cubriendo con arcilla compactada con pizón de mano, en capas pequeñas. Se continúan las mismas operaciones de compactación hasta llegar al nivel de avance de las terracerías.

Aunque lo que se ha comentado únicamente involucra instalación de celdas en material arcilloso y, como también es usual instalar celdas dentro de la zona de filtros o de rezaga, cabe mencionar que, para dicha instalación se llevan las mismas actividades enumeradas, sólo se habrá de proteger los instrumentos de una concentración que pueda dañarlos y arrojar resulta dos incongruentes, por lo que en unos 10 a 20 cm. alrededor de la celda, - tanto en el apoyo, como en el relleno; se efectúa utilizando arena fina a gruesa, bien graduada, que pase la malla No. 4 y se retenga en la malla No. 100, para evitar que los fragmentos de roca maltraten o destruyan los instrumentos. La compactación se efectúa de acuerdo al proceso constructivo.

Para la protección de la celda y tubería de protección existen dos formas que se utilizan con mayor frecuencia para dicho propósito:

a) La primera consiste en llevar la tubería de protección y conductores neumáticos en forma horizontal, a través de una zanja, hasta la galería o registro en el talud de aguas abajo y se procede de la siguiente forma:

- Una vez instalada la celda, se trazará y excavaré una zanja de 0.30 m. de ancho y de 0.40 m. de profundidad para alojar la tubería de protección y los conductores neumáticos.

- Se efectúa el traslape de la tubería de protección telescópica, la cual será de dos diámetros diferentes, dependiendo del número de conductores que lleven.

- Se introducen los conectores en los tramos de tubería de protección y se asienta en el fondo de la zanja procurando que no existan irregularidades en el fondo.

- En la galería o registro se identifican los conductores de cada caída de acuerdo con los datos de instalación.

- La excavación se rellena con material de terracería, compactando con pizón de mano hasta 0.20 m. arriba de la tubería; posteriormente se compacta con pizón neumático hasta el nivel de terracerías.

- Una vez cubierta la excavación se construye un terraplen de protección de 0.90 m. de ancho y de 1.00 m. de espesor, con material circundante y compactado con equipo neumático manual. Posterior a esta operación, se podrá continuar con los trabajos de construcción.

b) La segunda consiste en llevar la tubería de protección y los conductores en forma vertical, ya sea por arriba de las terracerías, o por abajo del nivel que se está trabajando.

- Protección por arriba de las terracerías.

Cuando se trabaja en arcilla y se lleva la tubería por arriba del avance, se forma un cono de protección de 1.0 m. de  $\varnothing$  en la parte superior con taludes de 1:1 y 3.0 m. de  $\varnothing$  en la parte inferior; dando una compactación con equipo manual neumático igual al del material circundante, evitando de esta forma que el equipo pesado se acerque a la tubería.

- Protección por abajo de las terracerías.

Para llevar la tubería de protección y conductores neumáticos por abajo de las terracerías, se protegerán con una caja metálica o de madera; la cual no podrá descansar sobre la tubería de protección; en cambio, se dejará un colchón de 0.40 m. descansando sobre material compactado y cubriéndola del mismo material de que se trate, pero con procedimientos manuales; posteriormente, al lograr un avance fijado se localizará el punto donde se lleva a cabo la sobre-elevación de los instrumentos, procediendo a excavar y sobre-elevar la tubería de protección y las mangueras hasta 0.50 m. por abajo de la elevación del terraplen.

La operación se repite hasta llegar a la superficie, en la cual se identifican las mangueras y se construye el correspondiente registro de concreto con tapa y candado.

Dado que el dispositivo para medir la presión en la celda es igual al del piezómetro, los procesos de lectura y cálculo se harán en forma similar.

Antes de realizar las lecturas debemos cercionarnos de que los conductores neumáticos estén respectivamente bien colocados a fin de evitar errores en el cierre del diafragma.

La escala de mercurio estará conectada en la salida correspondiente - así como la entrada de aire a presión, contando con el manómetro para medir la presión que conserva el tanque y otro para la presión que se está extrayendo; previamente se checa que el regulador de la consola este cerrado.

Además, se checa que las válvulas se encuentren en la posición siguiente: la válvula micrométrica en cerrado; la válvula lateral en abierto; la válvula de intercomunicación en cerrado; la válvula central en abierto y la válvula que permite accionar el manómetro en posición abierto.

cuando las válvulas estén en posición, se gira lentamente la manija - del regulador de presión inyectando por la manguera conectado en lateral a la celda, aire a presión, incrementando en rangos de  $0.25 \text{ Kg/cm}^2$  hasta vencer la presión actuante sobre la membrana de la celda, comunicándose de esta manera la manguera de entrada con la salida y registrándose la presión en la carátula del manómetro de la consola y en la escala de mercurio.

Registrada la presión se cierra la válvula de entrada y se abre la válvula micrométrica de desfogue, con lo que el aire comienza a salir, disminuyendo la presión gradualmente, cuando se iguala la presión, la membrana se cierra interrumpiendo la comunicación; el aire de la manguera de entrada continúa saliendo pero la presión en la manguera de salida queda atrapada y registrada en los manómetros. En este momento se toma la lectura y se registra en el formato correspondiente.

Los datos que se registran para cada lectura son: la presión aplicada en  $\text{Kg/cm}^2$ , altura de la columna de mercurio, escala A y B; la presión leída en el manómetro, los cuales se vacían en la forma de registro que se presenta en la fig. III.2.1.3.

Con los datos obtenidos en el campo se puede calcular la presión leída en el manómetro, utilizando la diferencia entre las lecturas de los manómetros de mercurio (A y B); multiplicando la diferencia por un factor de conversión que involucra la constante de calibración de la celda y el peso volumétrico del mercurio. Este cálculo se realiza en la misma forma utilizada para registrar los datos en el campo.

Teniendo la lectura del manómetro, la presión real de la celda será - la tomada en la consola, multiplicada por la constante de calibración de la celda.

La presentación de los datos consiste en incluir en la misma gráfica, la curva de avance de construcción del terraplen y las variaciones de presión contra tiempo, primeramente para la etapa de construcción, se indica en la parte superior de la curva de avance de la altura del terraplen contra el tiempo; en la parte inferior se presenta la presión que existe sobre la celda, correlacionándola con el tiempo transcurrido.

En la etapa de operación se anexa a la gráfica descrita, la curva de los cambios de los niveles de embalse, para correlacionar además de lo ya - indicado, los cambios de presión contra las variaciones del embalse.

### III.2.2 Gato Plano

La utilización de este instrumento consiste en medir la deformación inducida entre dos puntos de referencia, localizados en la pared de una galería, cuando se realiza una ranura entre ellos. Se introduce en la ranura un gato plano y se aplica una presión tal, que la deformación registrada se recupere. Si el gato plano está localizado en una ranura normal a una dirección principal de esfuerzo, la presión aplicada para la recuperación de



la deformación inducida es igual al esfuerzo principal en esta dirección.

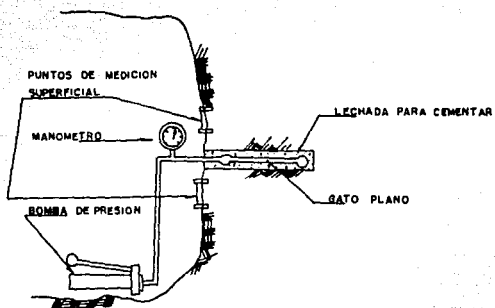
El aparato consiste en dos placas de acero troqueladas, para formar un cuadrado de 60 cm. de lado y 1.5 a 2.0 cm. de altura, soldadas eléctricamente, hacia el exterior se dejan dos tubos de acero de 0.96 cm. de diámetro exterior para permitir la inyección de aceite. La aplicación de la presión se hace por medio de una bomba manual, y en la medición de ésta se emplean tres manómetros de carátula intercomunicados. (Fig. III. 2.2.1).

Para la medición de las deformaciones se emplea un deformómetro tipo Whitteare, (Fig. III.2.2.1) y los puntos de apoyo para estas mediciones son diferencias metálicas con asientos crónicos.

El procedimiento para la utilización del gato plano sobre una superficie limpia y uniforme es la siguiente:

- Se selecciona el sitio y la orientación de los ejes del gato.
- Se instalan los puntos de referencia A-A, B-B y C-C (Fig. III.2.2.2), con un pegamento epóxico a distancias apropiadas a la base de medición del deformómetro que se vaya a utilizar.
- Se perfora una ranura entre los puntos de referencia y se deja abierta durante tres días.
- Se instala el gato y se fija a la roca con un cementante de módulo de elasticidad similar al de la roca.
- Se aplica presión a la roca mediante el gato plano hasta que la deformación de descarga se recupere, obteniendo así la presión P.
- Se calcula el valor del esfuerzo  $T_n$  que actúa perpendicular al gato mediante la ecuación:

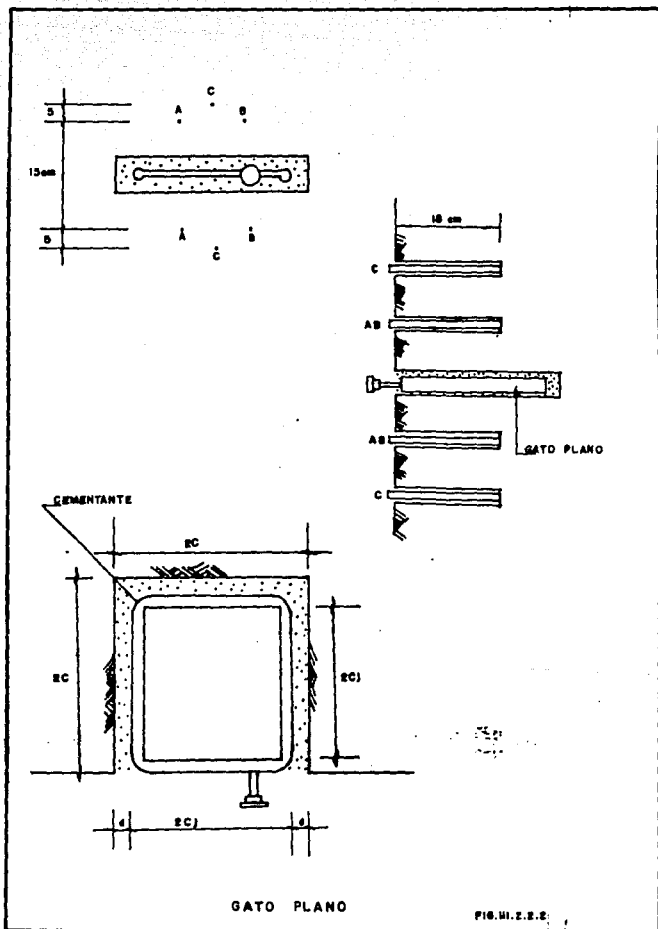
$$T_n = \frac{P \cdot 2 \cdot C_f \cdot d}{2 \cdot C}$$



GATOS PLANOS



DEFORNOMETRO TIPO WITTEMORE





Donde:

- P = Presión de cancelación  
 2C = Longitud de la ranura  
 2Cj = Longitud del gato plano.

Como las presiones necesarias para anular las deformaciones en cada par de puntos de referencia no coinciden necesariamente, se toma como valor de P, el promedio:

$$P = \frac{P_A + P_B + 2P_C}{4}$$

$P_A$  y  $P_B$  representan las presiones necesarias para anular las deformaciones registradas entre los puntos de referencia localizados entre los puntos de referencia localizados en ambos lados de la ranura a 7.5 cm. del eje de ésta, y  $P_C$  la correspondiente a los puntos de referencia a 25 cm.

La precisión del sistema depende de la respetabilidad que se obtenga al efectuar la medición en el deformómetro Whittemore. Esta calibración se hace utilizando los escantillones de referencia que este instrumento contiene.

El manómetro para medición del sistema se calibra en el campo, por comparación con un manómetro de mejor resolución que previamente ha sido calibrado en el laboratorio.

#### **IV. APLICACIONES**

#### IV. APLICACIONES

Las estadísticas sobre el comportamiento de instrumentos instalados en estructuras de tierra, así como las observaciones hechas en éstas, revelan un gran número de resultados satisfactorios. Esto ha provocado un aumento en el uso de instrumentos en obras de importancia como carreteras, presas y túneles.

Cabe hacer mención que debido al alto costo que resulta instalar, calibrar y operar los instrumentos sólo se puede considerar en una obra de esta magnitud, que representa un alto gasto, además en la mayoría de los casos en los que se realizan proyectos de instrumentación son las dependencias gubernamentales las que los aplican. Esto se debe a la inversión que aportan a la investigación y que provoca un abatimiento en el costo, dado que se hacen autosuficientes en el diseño e instalación de los aparatos.

Para estudiar el procesamiento de datos obtenidos en varios tipos de instrumentos, en este trabajo nos abocaremos a las observaciones hechas en presas.

La forma de procesar los datos y de graficarlos ya fue expresada en su momento para cada aparato, de esta forma, analizaremos registros de testigos superficiales, testigos hidráulicos, inclinómetros, deformómetros, piezómetros y celdas de presión.

Los datos que aparecen en los formatos de registro son lecturas tomadas de una sola fecha y en las gráficas, se presenta la historia del comportamiento durante la construcción y operación de la estructura."

Debido a la enorme cantidad de datos que se obtienen en los instrumentos y que en muchas ocasiones se requiere de una compostura para procesarlos, se decidió tomar únicamente un registro, procurando que su explicación fuera clara y fácil de entender.

Como el procesamiento de los datos para las celdas de presión es exactamente igual al del piezómetro neumático; la forma de registro y procesamiento de datos se dan por entendidos y únicamente aparece la gráfica de los resultados.

Pasaremos a la parte práctica de este trabajo en el que se -  
presentan los formatos con la información ya procesada así como su gráfica correspondiente. Para que el entendimiento sea mejor se recomienda repasar el aspecto teórico en el capítulo correspondiente para cada aparato.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON**  
 AREA DE MECANICA DE SUELOS Y ROCAS  
 OFICINA DE INSTRUMENTACION

**ASENTAMIENTOS Y COLIMACION EN TESTIGOS SUPERFICIALES**

FECHA 27 Nov. 1982 ELEVACION DEL BOMBEO 2193.165 LECTURISTA ING. GUSTAVO L. RIVERA C.  
 CALCULO JAIME GABRIEL APREZA GRAFICO JAIME GABRIEL APREZA REVISO ING. A. ACEVEDO S.

TESTIGO	ESTACION	ASENTAMIENTOS			DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES		
		ELEVACION ACTUAL	ELEVACION INICIAL	ASENTAMIENTO	LECTURA INICIAL	LECTURA ACTUAL	DESPLAZ. OBSERVADO
		No. M. M. S. S. M.	No. M. S. S. M.	Cm.	Cm.	Cm.	Cm.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5) = (3) - (4)	(6)	(7)	(8) = (7) - (6)
1	0+015.00				0.000	-0.020	-0.020
2	0+050.00				0.000	-0.039	-0.039
3	0+075.00				-0.002	-0.084	-0.082
4	0+100.00				0.000	-0.089	-0.089
5	0+125.00				0.000	-0.074	-0.074
6	0+150.00				0.000	-0.034	-0.034
7	0+170.00				-0.005	-0.021	-0.016
8	0+190.00				0.000	-0.018	-0.018

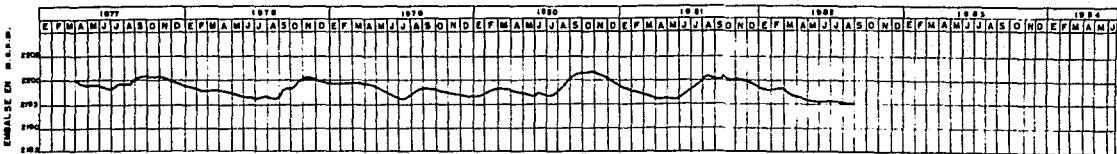
(-) ASENTAMIENTO

(+) DESPLAZAMIENTO HACIA AGUAS ARRIBA

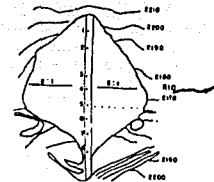
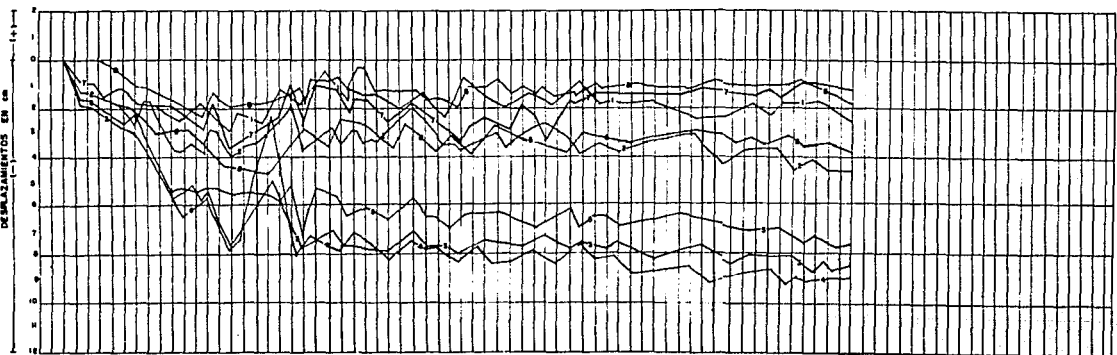
(+) EXPANSION

(-) DESPLAZAMIENTO HACIA AGUAS ABAJO

EMALISE EN M.M.M.



DESPLAZAMIENTOS EN CM



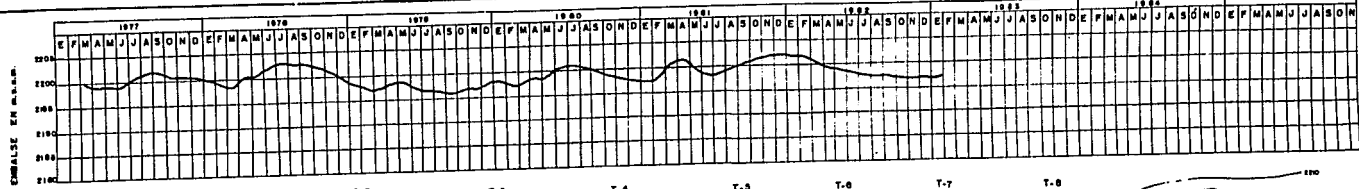
PLANTA  
 BASE ELEV. 2160.00      CORDON ELEV. 2200.00



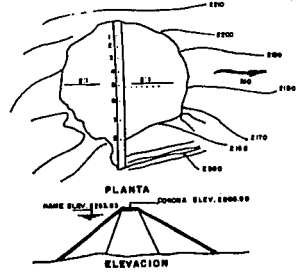
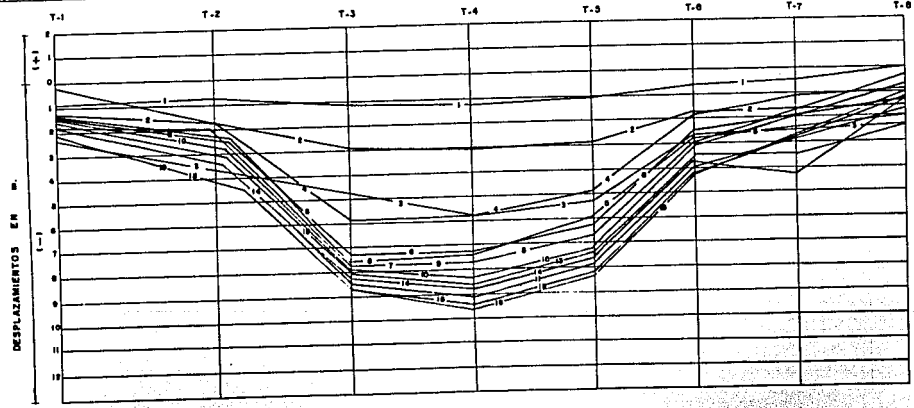
ELEVACION

SIEMPRE  
 (-) HACIA AGUAS ARRIBA  
 (+) HACIA AGUAS ARRIBA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARABO	
AREA DE RECENCIA DE BUCAS Y RECA	
OFICINA DE INSTRUMENTACION	
PRESA LAS TORRES GTO.	
DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES VS TIEMPO EN TESTIGOS SUPERFICIALES DE LA CORONA	
FECHA:	DIAS: 4 V. S.
REVISOR: J. L. R. T.	OPRO:



DIAS	FECHA	ENL	FECHA
1	7-ABR-77		
2	12-SEP-77		
3	12-AGO-78		
4	25-NOV-78		
5	23-MAY-79		
6	24-AGO-79		
7	21-NOV-80		
8	17-MAY-81		
9	18-AGO-81		
10	13-DIC-81		
11	18-MAY-82		
12	22-AGO-82		
13	10-DIC-82		
14	18-FEB-83		
15	12-FEB-83		
16	27-MAR-83		
17	24-ABR-83		
18	17-JUN-83		
19	22-NOV-83		



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
 ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES AGROPECUARIOS  
 AREA DE INGENIERIA DE SUELOS Y ROCAS  
 OFICINA DE INSTRUMENTACION

---

PRESA LAS TORRES GTO.

---

DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES EN TOSTOS SUPERFICIALES  
 DE LA OBRERA POR COLIMACION

FECHA:	DIBUJO: A. V. S.
REVISO: J. L. S. T.	OPERA:

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON**  
**AREA DE MECANICA DE SUELOS Y ROCAS**  
**OFICINA DE INSTRUMENTACION**

**ASENTAMIENTOS Y COLIMACION EN TESTIGOS SUPERFICIALES**

FECHA 27 JUN 1982 ELEVACION DEL BOMBALDO 2193.165 LECTORISTA ING. GUSTAVO L. RIVERA C.  
 CALCULO HERBERTO LLANAS WIMER GRAFICO HERBERTO LLANAS WIMER REVISOR ING. ARTURO ACEVEDO S.

TESTIGO	ESTACION	ASENTAMIENTOS			DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES		
		ELEVACION ACTUAL	ELEVACION INICIAL	ASENTAMIENTO	LECTURA INICIAL	LECTURA ACTUAL	DESPLAZ. OBSERVADO
No.	Rm.	m. s. s. m.	m. s. s. m.	Cm.	Cm.	Cm.	Cm.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5) = (3) - (4)	(6)	(7)	(8) = (7) - (6)
1	0+015.00	2206.139	2206.087	-0.052			
2	0+050.00	2206.327	2206.203	-0.124			
3	0+075.00	2206.437	2206.268	-0.169			
4	0+100.00	2206.307	2206.143	-0.164			
5	0+125.00	2206.192	2206.060	-0.132			
6	0+150.00	2206.077	2205.999	-0.078			
7	0+170.00	2205.998	2205.950	-0.048			
8	0+190.00	2206.063	2206.048	-0.015			
SECCION 0+100.00							
9		2206.055	2205.890	-0.165			
10		2200.893	2200.757	-0.136			
11		2195.872	2195.728	-0.144			
12		2190.979	2190.857	-0.122			
13		2186.282	2186.205	-0.077			
14		2181.290	2181.254	-0.036			
15		2175.746	2175.730	-0.016			
16		2206.207	2206.041	-0.166			

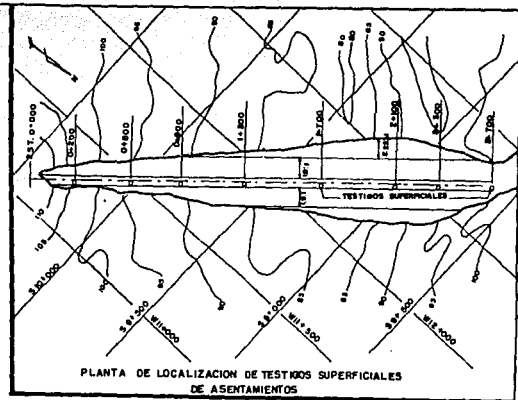
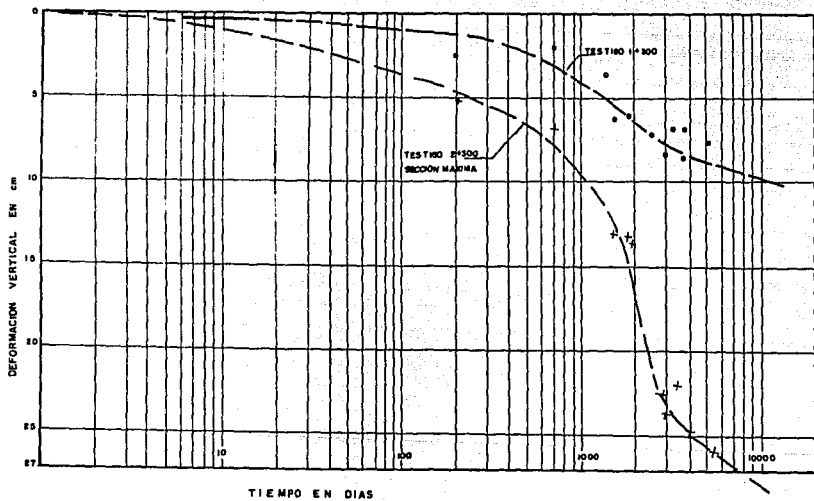
(-) ASENTAMIENTO

(+) DESPLAZAMIENTO HACIA AGUAS ARRIBA

(+) EXPANSION

(-) DESPLAZAMIENTO HACIA AGUAS ABAJO





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES AABOR	
AREA DE MECANICA DE SUELOS Y ROCAS	
OFICINA DE INSTRUMENTACION	
PRESA JOSEFA O. DE DOMINGUES . SINALOA	
ASENTAMIENTO VS. TIEMPO DE TESTIGOS SOBRE LA CORONA	
FECHA: OCTUBRE 1983	DISEÑO: A. V. R.
ESCALA: SIR	REVISO: J. L. R. T.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON**  
 AREA DE MECANICA DE SUELOS Y ROCAS

OFICINA DE INSTRUMENTACION

**DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES Y ASENTAMIENTOS EN TESTIGOS SUPERFICIALES EN LA CORTINA**

FECHA 12 DE DICIEMBRE DE 1982 INGENIERO DEL TRABAJO 2192, 1765 LECTORISTA ERNESTO AQUILAR PEREZ

CALCULO JAIME GABRIEL AFRESA GRAFICO JAIME GABRIEL AFRESA REVISOR ERNESTO AQUILAR PEREZ

TESTIGO	ESTRIBOS	ASENTAMIENTOS			DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES			DISTANCIA ENTRE TESTIGOS			DEF. DE DIST. (+ HERR. - JORN.)	DEF. UNITARIA
		ELEVACION ACTUAL	ELEVACION INICIAL	ASENTAMIENTO DEL TESTIGO	DESPLAZ. INICIAL	DESPLAZ. ACTUAL	DESPLAZ. ACTUAL	DISTANCIA INICIAL	DISTANCIA ACTUAL	DIF. DE DIST.		
No.	Nº	m. m. m. m.	m. m. m. m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	%
(1)	(2)	(3)	(4)	(5) = (3) - (4)	(6)	(7)	(8) = (6) - (7)	(9)	(10)	(11) = (9) - (10)	(12) = (11) x (1)	
1	0+015.00							35,000	35,008	+0,008	-0,02	
2	0+050.00							25,000	24,963	-0,037	-0,15	
3	0+075.00							25,000	24,972	-0,028	-0,11	
4	0+100.00							25,000	24,977	-0,023	-0,09	
5	0+125.00							25,000	24,990	-0,010	-0,04	
6	0+150.00							20,000	20,004	+0,004	+0,02	
7	0+170.00							20,000	20,008	+0,008	+0,04	
8	0+190.00											

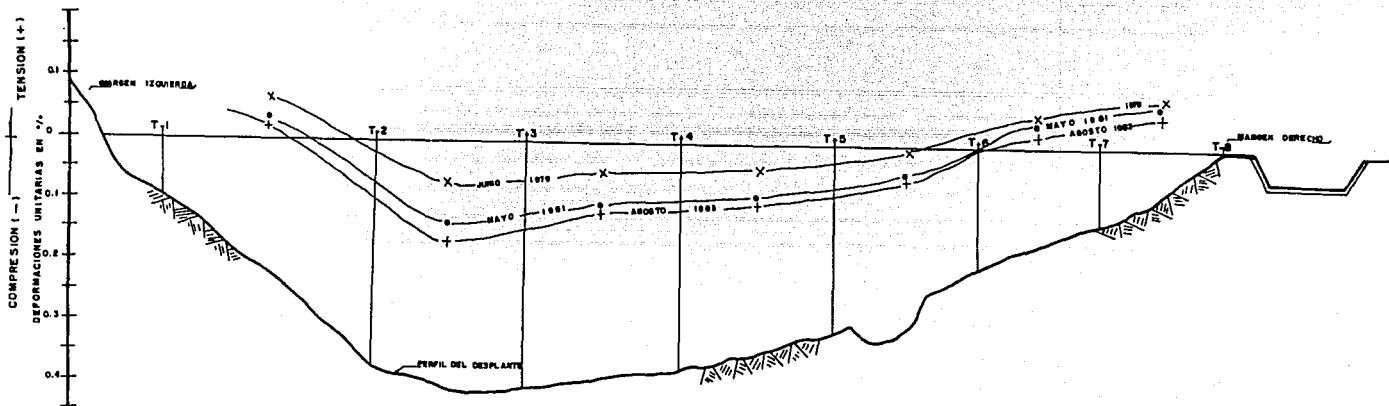
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON**  
**AREA DE MECANICA DE SUELOS Y ROCAS**

**OFICINA DE INSTRUMENTACION**

**DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES Y ASENTAMIENTOS EN TESTIGOS SUPERFICIALES EN LA CORTINA**

FECHA OCTUBRE 22, 1962 ELEVACION DEL ENBALDE \_\_\_\_\_ LECTURISTA ING. G. J. RIVERA  
 CALCULO JAIIE GABRIEL APRESA GRAFICO JAIIE GABRIEL APRESA REVISOR ING. EMILIANO MARTINEZ

TESTIGO	ESTACION	ASENTAMIENTOS			DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES			DISTANCIA ENTRE TESTIGOS			DEF. UNITARIA
		ELEVACION ACTUAL	ELEVACION INICIAL	ASENTAMIENTO DEL TESTIGO	DESPLAZ. INICIAL	DESPLAZ. ACTUAL	DESPLAZ.	DISTANCIA INICIAL	DISTANCIA ACTUAL	DM DE DIST. (+ 25% / - 100%)	
No.	Kb	m. m. m. m.	m. m. m. m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	%
(1)	(2)	(3)	(4)	(5) = (3) - (4)	(6)	(7)	(8) = (6) - (7)	(9)	(10)	(11) = (9) - (10)	(12) = (11) x (8)
4	D-100	2206.144						5.984	5.903	-0.001	-0.017
9		2205.890						8.466	8.475	0.009	0.106
10		2200.758						8.654	8.695	-0.009	-0.104
11		2195.729						8.794	8.787	-0.007	-0.080
12		2190.858						9.037	9.026	-0.011	-0.122
13		2186.206						8.705	8.717	0.012	0.138
14		2181.254						7.997	7.981	-0.016	-0.200
15		2175.729									
					TESTIGOS SOBRE EL TALUD DE AGUAS ABAJO						
					* DISTANCIAS HORIZONTALES CORREGIDAS POR DESNIVEL						

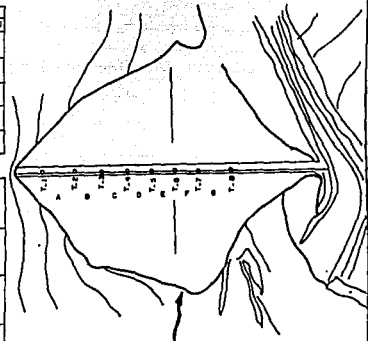
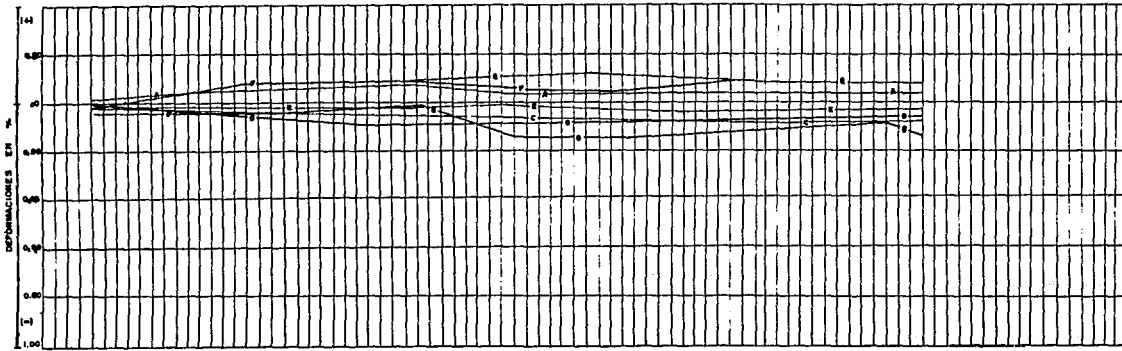
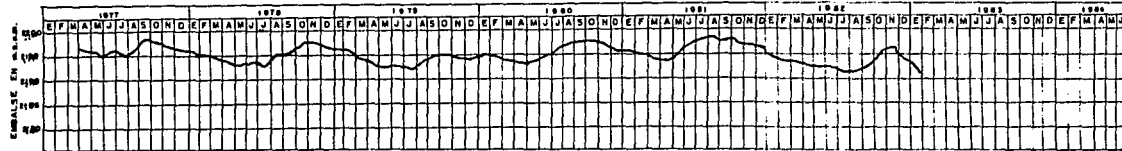


PRESA LAS TORRES © TO.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
 ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES AMBON  
 AREA DE MECANICA DE SUELOS Y ROCAS  
 OFICINA DE INSTRUMENTACION

DEFORMACIONES UNITARIAS EN DISTANCIA ENTRE  
 TESTIGOS EN LA CORONA

FECHA:	DIBUJO: A. V. R.
REVISO: J. L. R. T.	APROBO:



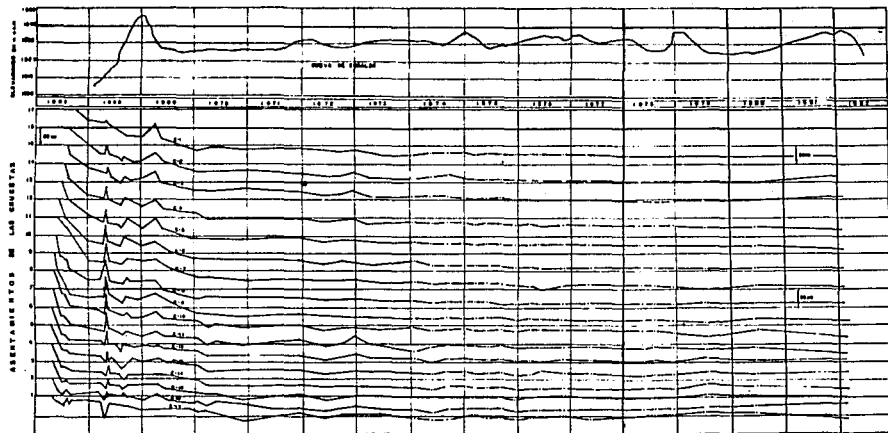
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO	
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES AMBOS	
ÁREAS DE INGENIERÍA DE SUELOS Y AGUAS	
OFICINA DE INVESTIGACIONES	
PRESA LAS TORRES GTO.	
DEFORMACIONES UNITARIAS LONGITUDINALES VS. TIEMPO	
EN TESTIGOS EN LA CORONA	
FECHA:	DESID. A. V. R.
SEÑOR: C. L. B. T.	APROBADO:

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO 169  
 ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON  
 AREA DE MECANICA DE SUELOS Y ROCAS  
 OFICINA DE INSTRUMENTACION

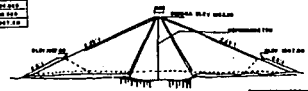
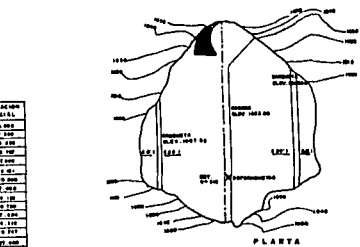
LECTURAS DE ASENTAMIENTOS Y DEFORMOMETRO VERTICAL

ESTACION EST. 0+310 A 6 M. AGUAS ABAJO DEL EJE DE LA CORTINA  
 FECHA 19-VI-82 OBSERVADOR ROGELIO ESCARERO D. HOJA 02  
 ELEV. ACTUAL DEL TERRAPLEN 1058.528 ELEV. DEL ENBALDE 1085.48  
 ELEV. DEL AGUA EN EL POZO 1038.726

No.	ELEV. INICIAL DE LA CRUCETA	ELEV. ACTUAL DE LA CRUCETA	ASENTAMIENTO DE LA CRUCETA	DISY. INICIAL ENTRE CRUCETAS	DISYANCIAS ACTUAL ENTRE CRUCETAS	ASENTAMIENTO ENTRE CRUCETAS A LA PUNTA
1	1050.596	1050.085	0.511	3.365	3.348	0.017
2	1047.339	1046.737	0.602	3.363	3.318	0.050
3	1044.039	1048.424	0.815	3.390	3.351	0.039
4	1040.757	1040.073	0.884	3.387	3.342	0.045
5	1037.446	1038.781	0.715	3.404	3.342	0.062
6	1034.151	1033.389	0.762	3.414	3.341	0.073
7	1030.808	1030.048	0.760	3.401	3.315	0.086
8	1027.488	1026.733	0.755	3.430	3.341	0.089
9	1024.129	1023.392	0.737	3.410	3.308	0.102
10	1020.739	1020.084	0.655	3.368	3.271	0.097
11	1017.454	1016.813	0.641	3.402	3.286	0.115
12	1014.112	1010.527	0.585	3.420	3.328	0.092
13	1010.747	1010.199	0.548	3.310	3.277	0.033
14	1007.406	1006.922	0.484	3.350	3.300	0.050
15	1004.025	1003.622	0.403	3.380	3.318	0.052
16	1000.620	1000.304	0.316	3.330	3.265	0.066
17	997.211	997.089	0.172			
				54.124	53.046	1.078



ESTACION	ELEVACION (m)
17	1040.00
16	1040.00
15	1040.00
14	1040.00
13	1040.00
12	1040.00
11	1040.00
10	1040.00
9	1040.00
8	1040.00
7	1040.00
6	1040.00
5	1040.00
4	1040.00
3	1040.00
2	1040.00
1	1040.00



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
 ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES AVANZADOS  
 AREA DE INGENIERIA DE SUELOS Y FUNDACIONES  
 ESPECIALIDAD DE DEFENSAS TERRESTRES

PROFESOR: LUIS L. LEON CHAVARRIA

ASISTENTES DE CRUCES EN EL DEFORMOMETRO: VICTOR ALVARADO, JUAN CARLOS GONZALEZ

FECHA: FEBRERO 1987

ESCALA: VARIA

REVISOR: G. S. T.

170.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON**  
 AREA DE MECANICA DE SUELOS Y ROCAS  
 OFICINA DE INSTRUMENTACION

**TESTIGOS HIDRAULICOS**

FECHA JA-1-87 ELEV. DEL ENMALSE 2333.35 LECTORISTA JUAN LIMA H.  
 CALCULO JOSE LUIS MORALES GRAFICO DANIEL PERA F. REVISO DAVID TIMCCO PEREZ

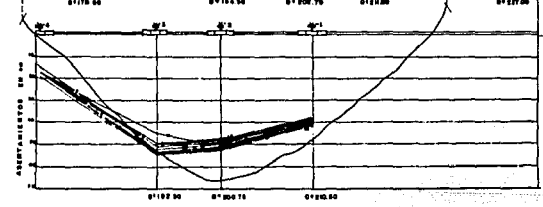
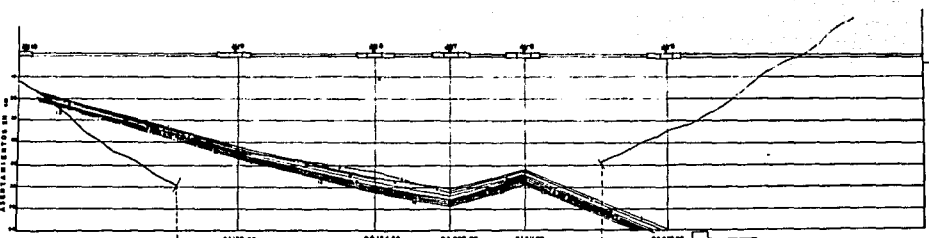
TESTIGO	ESTACION	ELEVACION	PRIMERA LECTURA	SEGUNDA LECTURA	LECTURA ACTUAL	INICIAL	DESPLAZAMIENTO VERTICAL
No.	Km.	M. S. R. M.	m	m	m	m	m
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	$(6) = \frac{(4) + (5)}{2}$	(7)	(8) = (6) - (7)
1	0+178.00	2288.935	2290.306	2290.306	2290.306	2290.490	-0.1840
2	0+194.50	2288.935	2289.059	2289.059	2289.059	2289.610	-0.5510
3	0+202.75	2289.450	2288.740	2288.740	2288.740	2289.262	-0.5220
4	0+210.80	2289.450	2288.508	2288.508	2288.508	2288.920	-0.4120
5	0+152.00	2289.450	2301.807	2301.807	2301.807	2302.664	-0.8570
6	0+178.00	2289.450	2302.301	2302.301	2302.301	2302.899	-0.5980
7	0+194.50	2289.450	2302.501	2302.501	2302.501	2303.196	-0.6950
8	0+202.75	2289.450	2302.998	2302.998	2302.998	2303.627	-0.6290
9	0+211.00	2289.450	2303.713	2303.713	2303.713	2304.193	-0.4800
10	0+327.00	2302.650	2304.463	2304.463	2304.463	2304.634	-0.1717

**OBSERVACIONES**

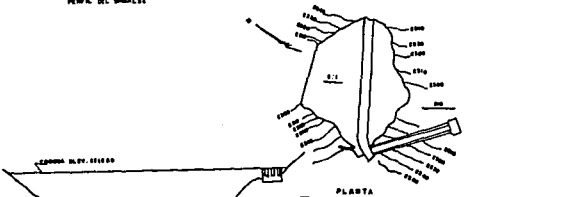
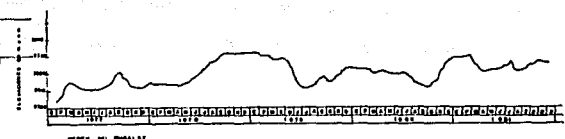
LOS SIGNOS NEGATIVOS DE LA ULTIMA COLUMNA CORRESPONDEN A ASENTAMIENTOS RESPECTO A LA LINEA HORIZONTAL BASE, EN CASO DE RESULTAR ALGUN SIGNO POSITIVO SE PODRIA PENSAR EN EXPANSION RESPECTO A DICHA LINEA.

LA LECTURA INICIAL SE TOMO EL 27 X 75.





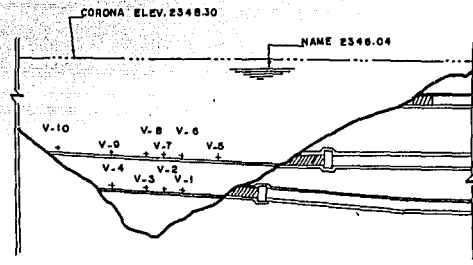
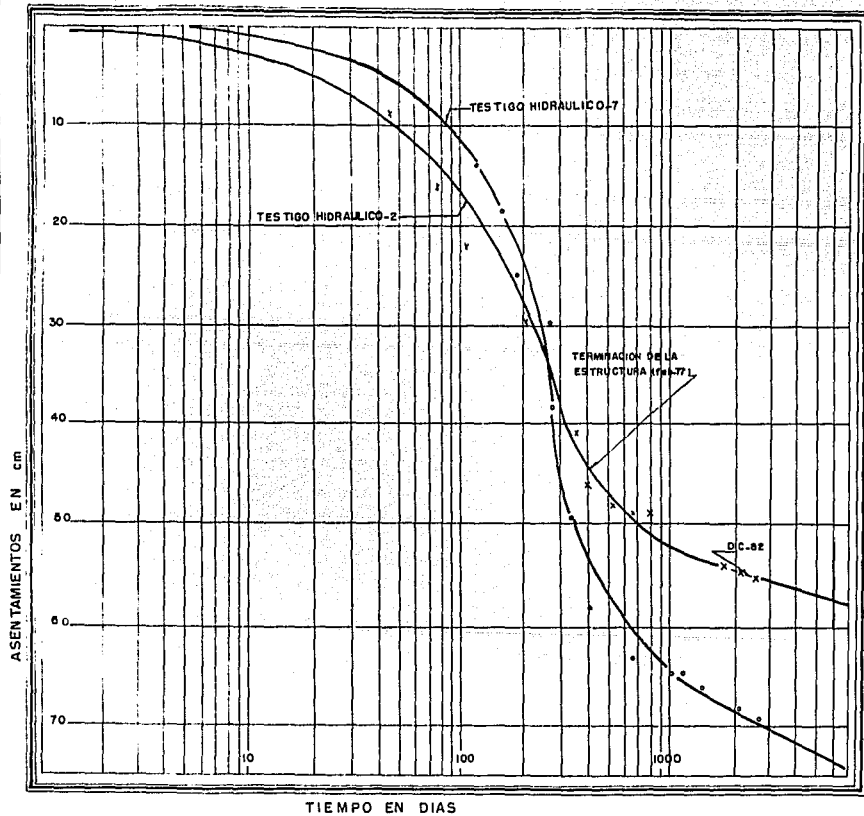
ESTACION	ALTIMETRIA	ALTIMETRIA
1	1000.77	1000.00
2	1000.77	1000.00
3	1000.77	1000.00
4	1000.77	1000.00
5	1000.77	1000.00
6	1000.77	1000.00
7	1000.77	1000.00
8	1000.77	1000.00
9	1000.77	1000.00
10	1000.77	1000.00
11	1000.77	1000.00
12	1000.77	1000.00
13	1000.77	1000.00
14	1000.77	1000.00
15	1000.77	1000.00



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
 FACULTAD NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
 AREA DE INGENIERIA DE OBRAS Y OBRAS  
 DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE OBRAS

PROFESOR: DR. G. GILBERTO GARCÍA  
 ALUMNO: G. GILBERTO GARCÍA

FECHA: MARZO 1957  
 ESCUELA: OBRAS Y OBRAS DE OBRAS



CROQUIS DE LOCALIZACION

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
 ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON  
 AREA DE MECANICA DE SUELOS Y ROCAS  
 OFICINA DE INSTRUMENTACION

PRESA "MADIN" MEX.

ASENTAMIENTOS VS. LOGARITMO DEL TIEMPO EN TESTIGOS HIDRAULICOS

FECHA:

DIBUJO: A. V. R.

REVISO: J.L. R.T.

APROBO:

171.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARASON**  
 AREA DE MECANICA DE SUELOS Y ROCAS  
 OFICINA DE INSTRUMENTACION

PRESA MADIN, MEX.

**DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES EN INCLINOMETROS**

INCLINOMETRO No. 2 LECTURA EN SUELO CORTINA ELEVACION DEL BROCAL 2349.552

FECHA 27-II-87 ELEV. DEL EMBALESE 2337.56 LECTORISTA JUAN LIMA

CALCULO JOSE LUIS MORALES GRAFICO DANIEL PERA F. REVISO DAVID TINOCO HOJA 1 DE 4

T	C	LECTURA A	LECTURA B	SUMA A+B	DIFERENCIA A-B	DIFERENCIA POR CONSTANTE (A-B) ± C	DESPLAZ.	DESPLAZ.	RESERVA
							ACTUAL mm	INICIAL mm	OBSERVADO mm
(1)	(2)	(3)	(4)	(5) = (3)+(4)	(6) = (5)-(6)	(7) = (6) ± C	(8)	(9)	(10) = (8) - (9)
1	a	495	559	1054	-64	-0.88	-38.31	-35.87	-2.44
	b	495	557	1052	-62	-0.86			
	c	496	557	1053	-61	-0.84			
2	a	502	553	1055	-51	-0.70	-85.72	-33.78	-1.94
	b	504	553	1057	-49	-0.68			
	c	508	546	1054	-38	-0.52			
3	a	517	536	1053	-19	-0.26	-33.82	-32.03	-1.79
	b	519	537	1056	-18	-0.25			
	c	519	535	1054	-16	-0.22			
4	a	522	535	1057	-13	-0.18	-33.09	-31.30	-1.79
	b	515	537	1052	-22	-0.30			
	c	509	545	1054	-36	-0.50			
5	a	522	532	1054	-10	-0.14	-32.11	-30.66	-1.45
	b	523	533	1056	-10	-0.14			
	c	520	534	1054	-14	-0.19			
6	a	523	532	1056	-9	-0.12	-31.64	-30.33	-1.31
	b	518	535	1053	-17	-0.23			
	c	513	536	1049	-23	-0.32			
7	a	477	580	1059	-103	-1.42	-30.96	-29.66	-1.60
	b	484	569	1053	-85	-1.17			
	c	492	559	1051	-67	-0.92			
8	a	521	529	1050	-8	-0.11	-27.44	-26.48	-0.96
	b	525	529	1054	-4	-0.06			
	c	526	526	1052	0	0			
9	a	526	531	1057	-5	-0.07			
	b	526	529	1055	-3	-0.04			
	c	521	531	1052	-10	-0.14			
10	a	538	514	1052	24	0.33	-27.02	-26.30	-0.72
	b	540	512	1052	28	0.39			
	c	534	516	1050	18	0.25			

SONDA No. 200-B CONSTANTE "C" DE LA SONDA 0.0138

LECTURA "A" CON RUEDAS FIJAS HACIA MARGEN DERECHA O HACIA AGUAS ARRIBA  
 LECTURA "B" CON RUEDAS FIJAS HACIA MARGEN IZQUIERDO O HACIA AGUAS ABAJO  
 INCLINOMETRO DE FONDO FI.30

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO** 172.  
**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON**  
 AREA DE MECANICA DE SUELOS Y ROCAS  
 OFICINA DE INSTRUMENTACION

PRESA MADIN, MEX.

**DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES EN INCLINOMETROS**

INCLINOMETRO No. 2 LECTURA EN EL CORTINA ELEVACION DEL BRACAL 2342.522

FECHA 27-11-87 ELEV. DEL BRACAL 2337.56 LECTORISTA JUAN LIMA

CALCULO JOSE LUIS MORALES WRAPICO DANIEL PERA F. REVISO DAVID TINOCO HOJA 2 DE 4

I C S	LECTURA A	LECTURA B	SUMA A+B	DIFERENCIA A-B	DIFERENCIA POR CONSTANTE (A-B) x C	DESPLAZ. ACTUAL	DESPLAZ. INICIAL	DESPLAZ. OBSERVADO	
						(8) x (7)	(9)	(10) x (8) - (9)	
(11)	(12)	(13)	(14) = (12) + (14)	(15) = (13) - (14)	(17) x (16) x C	(8)	(9)	(10) x (8) - (9)	
11	a	572	483	1055	89	1.23	-27.99	-27.32	-0.67
	b	573	482	1055	91	1.26			
	c	575	476	1051	99	1.37			
12	a	508	544	1052	-36	-0.50	-34.84	-31.13	-0.71
	b	510	544	1054	-34	-0.47			
	c	510	544	1054	-34	-0.47			
13	a	492	562	1054	-70	-0.97	-30.40	-29.77	-0.63
	b	479	580	1059	-101	-1.39			
	c	457	595	1052	-138	-1.90			
14	a	408	644	1052	-236	-3.26	-26.14	-25.56	-0.58
	b	408	643	1051	-235	-3.24			
	c	408	644	1052	-236	-3.26			
15	a	418	636	1054	-218	-3.01	-16.38	-15.97	-0.41
	b	420	633	1053	-213	-2.94			
	c	421	630	1051	-209	-2.88			
16	a	503	553	1056	-50	-0.69	-7.55	-7.27	-0.28
	b	494	558	1052	-64	-0.88			
	c	485	568	1053	-68	-0.91			
17	a	503	553	1056	-50	-0.69	-4.83	-4.49	-0.34
	b	503	553	1056	-50	-0.69			
	c	502	553	1055	-51	-0.70			
18	a	527	528	1055	-1	-0.01	-2.75	-2.51	-0.24
	b	517	536	1053	-19	-0.26			
	c	514	536	1050	-22	-0.30			
19	a	517	542	1059	-25	-0.35	-2.17	-2.10	-0.07
	b	517	536	1053	-19	-0.26			
	c	512	543	1055	-31	-0.43			
20	a	512	544	1056	-32	-0.44	-1.13	-1.21	-0.08
	b	506	550	1056	-44	-0.61			
	c	506	543	1049	-37	-0.51			

SONDA No. 200 - B

CONSTANTE "C" DE LA SONDA 0.0138

LECTURA "A" CON RUEDAS FIJAS HACIA MARGEN DERECHA O HACIA AGUAS ARRIBA

LECTURA "B" CON RUEDAS FIJAS HACIA MARGEN IZQUIERDO O HACIA AGUAS ABAJO

INCLINOMETRO DE FONDO FIJO

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON**  
 AREA DE MECANICA DE SUELOS Y ROCAS  
 OFICINA DE INSTRUMENTACION

PRESA MADIN, MEX.

**DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES EN INCLINOMETROS**INCLINOMETRO No. 2 LECTURA EN EJE CORTINA ELEVACION DEL BRACAL 2349.552FECHA 27-II-81 ELEV. DEL BRANSE 2337.56 LECTURISTA JUAN LINACALCULO JOSE LUIS MORALES ARABICO DANIEL PERA F. REVISOR DAVID TINOCO HOJA 3 DE 3

T	LECTURA	LECTURA	SUMA	DIFERENCIA	DIFERENCIA POR	DESPLAZ.		DESPLAZ	
						A	B		ACTUAL
(1)	(2)	(4)	(3) = (2)+(4)	(5) = (3)-(4)	(7) = (5) x C	(6) = $\sum (7)$	(8)	(10) = (8) - (9)	
21	a	553	504	1057	49	0.68	0.43	0.27	0.16
	b	563	494	1057	69	0.95			
	c	554	499	1053	55	0.76			
22	a	560	494	1054	66	0.91	-1.96	-2.23	0.27
	b	554	498	1052	56	0.77			
	c	556	501	1057	55	0.76			
23	a	556	498	1054	58	0.80	-4.40	-4.60	0.20
	b	550	501	1051	49	0.68			
	c	550	505	1055	45	0.62			
24	a	554	508	1052	36	0.50	-6.50	-6.62	0.13
	b	554	514	1058	30	0.41			
	c	541	512	1053	29	0.40			
25	a	516	534	1050	-18	-0.25	-7.81	-7.89	0.08
	b	504	548	1052	-44	-0.61			
	c	533	516	1049	17	-0.23			
26	a	520	534	1054	-14	-0.19	-7.19	-7.19	0.00
	b	522	531	1053	-9	-0.12			
	c	528	526	1054	2	0.03			
27	a	537	514	1051	23	0.32	-6.90	-6.81	-0.08
	b	536	519	1055	17	0.23			
	c	553	522	1055	11	0.15			
28	a	526	529	1055	-3	-0.04	-7.60	-7.43	-0.17
	b	543	511	1054	32	0.44			
	c	514	540	1054	-26	-0.36			
29	a	521	532	1053	-11	-0.15	-7.65	-7.48	-0.07
	b	526	527	1053	-1	-0.01			
	c	531	519	1050	12	0.17			
30	a	548	506	1054	42	0.58	-7.65	-7.63	-0.02
	b	546	508	1054	38	0.52			
	c	544	507	1051	37	0.51			

SONDA No. 200 - B CONSTANTE "C" DE LA SONDA 0.0168

LECTURA "X" CON RUEDAS FIJAS HACIA MARGEN DERECHA O HACIA AGUAS ARRIBA

LECTURA "Y" CON RUEDAS FIJAS HACIA MARGEN IZQUIERDO O HACIA AGUAS ABAJO

INCLINOMETRO DE FONDO F130

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO** 174.  
**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON**  
 AREA DE MECANICA DE SUELOS Y ROCAS  
 OFICINA DE INSTRUMENTACION

PRESA HADIN, MEX.

**DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES EN INCLINOMETROS**

INCLINOMETRO No. 2 LECTURA EN EJE CORTINA ELEVACION DEL BRACAL 2349.552

FECHA 27-11-87 ELEV. DEL EMPALME 2337.66 LECTURISTA JUAN LIMA

CALCULO JOSE LUIS MORALES GRAFICO DANIEL PERA F. REVISOR DAVID TINOCO MOJA A DE A

T	P	LECTURA A	LECTURA B	SUMA A+B	DIFERENCIA A-B	DIFERENCIA POR CONSTANTE (A-B) ± C	DESPLAZ. ACTUAL	DESPLAZ. INICIAL	DESPLAZ. OBSERVADO
							±B	±B	±B
(1)	(2)	(3)	(4)	(5) = (3)+(4)	(6) = (3)-(4)	(7) = (6) ± C	(8) = Σ (7)	(9)	(10) = (8) - (9)
31	a	542	511	1053	31	0.43	-9.26	-9.37	0.11
	b	537	517	1054	20	0.28			
	c	537	517	1054	20	0.28			
32	a	546	507	1053	39	0.54	-10.24	-10.30	0.06
	b	543	511	1054	32	0.44			
	c	526	515	1051	21	0.29			
33	a	547	505	1052	42	0.58	-11.51	-11.17	-0.34
	b	526	525	1051	1	0.01			
	c	527	530	1057	-3	-0.04			
34	a	524	527	1051	-3	-0.04	-12.06	-11.80	-0.25
	b	533	520	1053	13	0.18			
	c	548	500	1048	48	0.66			
35	a	509	548	1057	-39	-0.54	-12.86	-12.66	-0.20
	b	513	537	1050	-24	-0.33			
	c	512	540	1052	-28	-0.39			
36	a	508	550	1058	-42	-0.58	-11.61	-11.59	-0.02
	b	509	544	1053	-35	-0.48			
	c	508	545	1053	-37	-0.51			
37	a	508	545	1053	-37	-0.51	-10.03	-10.15	0.13
	b	503	552	1055	-49	-0.68			
	c	489	559	1048	-70	-0.97			
38	a	492	564	1056	-72	-0.99	-7.88	-8.03	0.15
	b	506	549	1055	-43	-0.59			
	c	518	534	1052	-16	-0.22			
39	a	506	546	1052	-40	-0.55	-6.07	-6.08	0.01
	b	498	556	1054	-58	-0.80			
	c	495	558	1053	-63	-0.87			
40	a	479	572	1051	-93	-1.28	-3.85	-3.86	-0.01
	b	479	572	1051	-93	-1.28			
	c	479	572	1051	-93	-1.28			

SONDA No 200 - B CONSTANTE "C" DE LA SONDA 0.0138

LECTURA "X" CON RUEDAS FIJAS HACIA MARGEN DERECHA O HACIA AGUAS ARRIBA

LECTURA "Y" CON RUEDAS FIJAS HACIA MARGEN IZQUIERDO O HACIA AGUAS ABAJO

INCLINOMETRO DE FONDO FIJO

175.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAZON**  
 AREA DE MECANICA DE SUELOS Y ROCAS  
 OFICINA DE INSTRUMENTACION

PRESA MADIN, MEX.

**DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES EN INCLINOMETROS**

INCLINOMETRO No. 2 LECTURA EN EJE R10 ELEVACION DEL BROCAL 2319.552

FECHA 27-II-81 ELEV. DEL EMPALME 2337.56 LECTURISTA JUAN LIMA

CALCULO JOSE LUIS MORALES GRAFICO DANIEL PERA F. REVISO DAVID TINOCO P. NOM. 1 PE. 4

I	J	LECTURA	LECTURA	SUMA	DIFERENCIA	DIFERENCIA POR	DESPLAZ.	DESPLAZ.	DESPLAZ.
		A	B	A+B	A-B	CONTANTE	ACTUAL	INICIAL	OBJETIVO
(1)	(2)	(3)	(4)	(5) = (3)+(4)	(6) = (3)-(4)	(7) = (6) × C	(8) = Σ (7)	(9)	(10) = (8) - (9)
1	a	533	520	1053	13	0.18	14.95	13.28	1.67
	b	535	520	1055	15	0.21			
	c	534	517	1051	17	0.23			
2	a	531	523	1054	8	0.11	- 15.57	- 14.00	- 1.57
	b	531	523	1054	8	0.11			
	c	526	525	1051	1	0.01			
3	a	507	546	1053	- 39	- 0.54	- 15.81	- 14.47	- 1.40
	b	509	546	1054	- 38	- 0.52			
	c	506	549	1055	- 43	- 0.59			
4	a	502	548	1050	- 46	- 0.63	- 14.15	- 12.89	- 1.26
	b	508	546	1054	- 38	- 0.52			
	c	506	547	1053	- 41	- 0.57			
5	a	514	535	1054	- 16	- 0.22	12.43	11.18	- 1.34
	b	524	529	1053	- 5	- 0.07			
	c	525	529	1054	- 4	- 0.06			
6	a	522	532	1054	- 10	- 0.14	- 12.08	- 10.88	- 1.20
	b	524	521	1045	3	0.04			
	c	524	534	1058	- 10	- 0.14			
7	a	560	491	1051	69	0.95	- 11.85	- 10.44	- 1.40
	b	564	491	1055	73	1.01			
	c	564	490	1054	74	1.02			
8	a	576	480	1056	96	1.22	- 14.83	- 13.41	- 1.42
	b	571	484	1055	87	1.20			
	c	569	486	1055	83	1.15			
9	a	572	480	1052	92	1.27	- 18.50	- 17.02	- 1.48
	b	575	479	1054	96	1.32			
	c	574	478	1052	96	1.32			
10	a	525	534	1059	- 9	- 0.12	- 22.42	- 20.77	- 1.65
	b	527	529	1056	- 2	- 0.03			
	c	529	527	1056	- 2	0.03			

SONDA No. 200 - B CONSTANTE "C" DE LA SONDA 0.0138

LECTURA "X" CON RUEDAS FIJAS HACIA MARGEN DERECHA O HACIA AGUAS ARRIBA  
 LECTURA "Y" CON RUEDAS FIJAS HACIA MARGEN IZQUIERDO O HACIA AGUAS ABAJO

INCLINOMETRO DE FONDO FIJO

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO** 176.  
**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON**  
 AREA DE MECANICA DE SUELOS Y ROCAS  
 OFICINA DE INSTRUMENTACION

PRESA MADIN, MEX.

**DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES EN INCLINOMETROS**

INCLINOMETRO No. 2 LECTURA EN EJE R10 ELEVACION DEL BROCAL 2349.552

FECHA 27-11-81 ELEV. DEL BOMALDE 2337.56 LECTURISTA JUAN LINA

CALCULO JOSE LUIS MORALES GRAFICO DAVID FERRA P. REVISO DAVID TIMOCO P. HOJA 2 DE 4

T	L	LECTURA	LECTURA	SUMA	DIFERENCIA	DIFERENCIA POR	DESPLAZ.	DESPLAZ.	DESPLAZ.
		A	B	A+B	A-B	CONTANTE	ACTUAL	INICIAL	OBSERVADO
(1)	(2)	(3)	(4)	(5) = (3)+(4)	(6) = (3)-(4)	(7) = (6) + C	(8) = Σ (7)	(9)	(10) = (8) - (9)
11	a	502	554	1056	- 52	- 0.72	- 22.29	- 20.45	- 1.84
	b	499	553	1052	- 54	- 0.75			
	c	502	554	1056	- 52	- 0.72			
12	a	470	584	1054	-114	- 1.57	- 20.11	- 18.14	- 1.97
	b	469	583	1052	-114	- 1.57			
	c	470	583	1053	-113	- 1.56			
13	a	540	511	1051	29	0.40	- 15.41	- 13.36	- 2.05
	b	509	487	1056	82	1.13			
	c	564	486	1050	70	1.08			
14	a	536	514	1050	22	0.30	- 18.02	- 15.63	- 2.39
	b	541	514	1055	27	0.37			
	c	538	514	1054	22	0.30			
15	a	549	507	1056	42	0.58	- 19.00	- 16.39	- 2.61
	b	549	503	1052	46	0.63			
	c	553	501	1054	52	0.72			
16	a	541	511	1052	30	0.41	- 20.43	- 17.91	- 3.02
	b	539	514	1053	25	0.35			
	c	541	511	1052	30	0.41			
17	a	536	520	1056	16	0.22	- 22.10	- 18.99	- 3.11
	b	535	519	1054	16	0.22			
	c	535	519	1054	16	0.22			
18	a	559	497	1056	62	0.86	- 22.76	- 19.71	- 3.05
	b	556	497	1053	59	0.81			
	c	557	497	1054	60	0.83			
19	a	555	497	1052	58	0.80	- 25.26	- 22.21	- 3.05
	b	553	503	1056	50	0.69			
	c	545	506	1051	39	0.54			
20	a	573	482	1055	91	1.26	- 27.29	- 24.36	- 2.93
	b	570	485	1055	85	1.17			
	c	573	489	1062	84	1.16			

SONDA No. 200 - B CONSTANTE "C" DE LA SONDA 0.0138

LECTURA "X" CON RUEDAS FIJAS HACIA MARGEN DERECHA O HACIA ARRIBA  
 LECTURA "Y" CON RUEDAS FIJAS HACIA MARGEN IZQUIERDO O HACIA ARRIBA  
 INCLINOMETRO DE FONDO F13D



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON**  
 AREA DE MECANICA DE SUELOS Y ROCAS  
 OFICINA DE INSTRUMENTACION

177.

PRESA MADIN, MEX.

**DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES EN INCLINOMETROS**

INCLINOMETRO No. 2 LECTURA EN EJE RIO ELEVACION DEL BROCAL 2349.552

FECHA 27-11-61 ELEV. DEL EMPALME 2337.56 LECTURISTA JUAN LIMA

CALCULO JOSE LUIS MORALES PERA GRAFICO DANIEL PERA P. REVISO DAVID TIMOCO P. HOJA 3 DE 4

I	L	LECTURA	LECTURA	SUMA	DIFERENCIA	DIFERENCIA POR	DESPLAZ.	DESPLAZ.	DESPLAZ.
		A	B	A+B	A-B	CON	ACTUAL	INICIAL	OBSERVADO
(1)	(2)	(3)	(4)	(5) = (3)+(4)	(6) = (3)-(4)	(7) = (6) * C	(8) = Σ (7)	(9)	(10) = (8) - (9)
21	a	553	502	1055	51	0.70	-30.88	-27.91	-2.97
	b	536	512	1048	24	0.33			
	c	531	521	1052	10	0.14			
	a	526	516	1052	20	0.28	-32.05	-28.96	-3.09
22	b	541	514	1055	27	0.37			
	c	536	512	1048	24	0.33			
	a	530	527	1057	3	0.04	-33.03	-29.92	-3.11
23	b	530	527	1057	3	0.04			
	c	527	525	1052	2	0.03			
	a	506	549	1055	-43	-0.59	-33.14	-30.02	-3.12
24	b	503	549	1052	-46	-0.63			
	c	506	547	1053	-41	-0.57			
	a	491	563	1054	-72	-0.99	-31.34	-28.24	-3.10
25	b	494	560	1054	-66	-0.91			
	c	510	542	1052	-32	-0.44			
	a	499	555	1054	-56	-0.77	-29.00	-26.21	-2.79
26	b	496	558	1054	-62	-0.86			
	c	489	562	1051	-73	-1.01			
	a	489	565	1054	-76	-1.05	-26.36	-23.07	-2.29
27	b	489	566	1055	-77	-1.06			
	c	485	565	1050	-80	-1.10			
	a	502	552	1054	-50	-0.69	-23.15	-20.95	-2.20
28	b	506	549	1055	-43	-0.59			
	c	495	556	1051	-61	-0.84			
	a	493	562	1055	-69	-0.95	-21.02	-19.15	-1.87
29	b	493	559	1052	-66	-0.91			
	c	492	560	1052	-68	-0.94			
	a	489	568	1057	-79	-1.09	-18.22	-16.89	-1.33
30	b	491	561	1052	-70	-0.97			
	c	505	546	1051	-41	-0.57			

SONDA No. 200-R CONSTANTE ° DE LA SONDA 0.0138

LECTURA "X" CON RUEDAS FIJAS HACIA MARBEN DERECHA O HACIA AGUAS ARRIBA  
 LECTURA "Y" CON RUEDAS FIJAS HACIA MARBEN IZQUIERDO O HACIA AGUAS ABAJO

INCLINOMETRO DE FONDO ETIO

170.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON**  
 AREA DE MECANICA DE SUELOS Y ROCAS  
 OFICINA DE INSTRUMENTACION

**DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES EN INCLINOMETROS**

INCLINOMETRO No. 2 LECTURA EN EJE SIN ELEVACION DEL BROCAL 2529.25

FECHA 27-11-51 ELEV. DEL EMBALSE 2557.52 LECTURISTA JUAN LIMA

CALCULO JOSE LUIS GONZALEZ GRAFICO PANTIL FEBA F. REVISOR PAULO LINCO FOLIO 2 DE 4

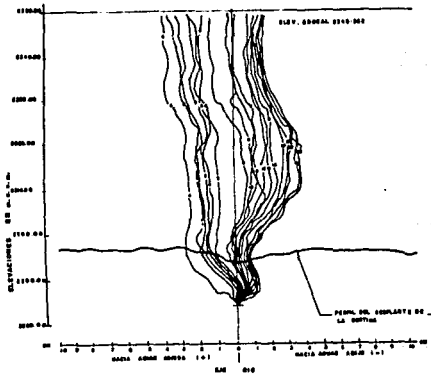
(1)	(2)	LECTURA A	LECTURA B	SUMA A+B	DIFERENCIA A-B	DIFERENCIA POR CONSTANTE (A-B)±C	DESPLAZ.	DESPLAZ.	DESPLAZ.
							ACTUAL cm	INICIAL cm	OBSERVADO cm
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8) ± (9)	(10)	(10) - (8)
31	a	508	546	1054	- 38	- 0.50	- 15.60	- 14.58	1.02
	b	505	544	1049	- 36	- 0.50			
	c	509	544	1053	- 35	- 0.48			
32	a	527	527	1054	0	0	- 14.09	- 15.10	- 0.99
	b	534	519	1053	15	0.21			
	c	535	513	1048	22	0.30			
33	a	535	519	1054	16	0.22	- 14.60	- 14.22	- 0.33
	b	542	514	1056	28	0.39			
	c	542	508	1050	34	0.47			
34	a	538	519	1057	19	0.26	- 15.68	- 15.23	- 0.45
	b	535	524	1057	9	0.12			
	c	531	522	1053	9	0.12			
35	a	531	523	1054	8	0.11	- 16.19	- 15.76	- 0.43
	b	531	520	1051	11	0.13			
	c	534	519	1053	15	0.21			
36	a	516	536	1052	- 20	- 0.28	- 16.66	- 15.96	- 0.70
	b	522	534	1056	- 12	- 0.17			
	c	517	534	1051	- 17	- 0.23			
37	a	523	540	1063	- 34	- 0.47	- 15.98	- 15.11	- 0.87
	b	512	557	1069	- 25	- 0.35			
	c	513	535	1048	- 25	- 0.35			
38	a	490	561	1051	- 71	- 0.98	- 14.82	- 13.92	- 0.90
	b	484	525	1009	- 31	- 1.12			
	c	482	566	1050	- 36	- 1.19			
39	a	466	586	1052	- 120	- 1.66	- 11.54	- 10.73	- 0.81
	b	465	585	1050	- 120	- 1.66			
	c	464	526	1050	- 122	- 1.68			
	a	446	604	1050	- 158	- 2.18	- 0.54	- 6.25	- 0.29
	b	446	604	1050	- 158	- 2.18			
	c	446	604	1050	- 158	- 2.18			

SONDA No. SOC - R CONSTANTE "C" DE LA SONDA 0.0138

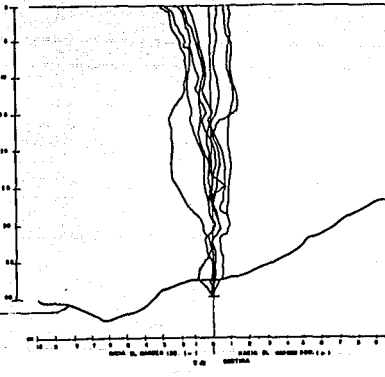
LECTURA "A" CON RUEDAS FIJAS HACIA MARGEN DERECHA O HACIA AGUAS ARRIBA

LECTURA "B" CON RUEDAS FIJAS HACIA MARGEN IZQUIERDO O HACIA AGUAS ABAJO

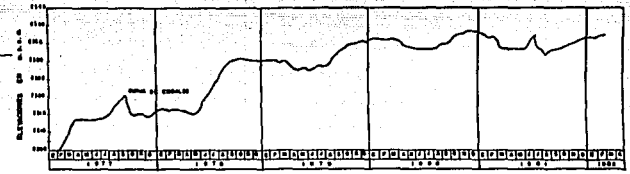
INCLINOMETRO DE FONDO FIJO



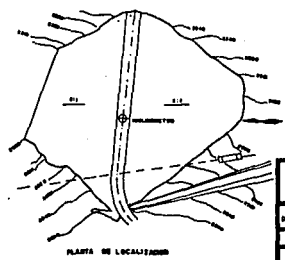
DEPLAZAMIENTOS HORIZONTALES



000-11-000



ISCLINOMETRO		
ELE. 012	ELE. 00700	
0	0	0
1	0.000 00	0.000 00
2	0.000 00	0.000 00
3	0.000 00	0.000 00
4	0.000 00	0.000 00
5	0.000 00	0.000 00
6	0.000 00	0.000 00
7	0.000 00	0.000 00
8	0.000 00	0.000 00
9	0.000 00	0.000 00
10	0.000 00	0.000 00
11	0.000 00	0.000 00
12	0.000 00	0.000 00
13	0.000 00	0.000 00
14	0.000 00	0.000 00
15	0.000 00	0.000 00
16	0.000 00	0.000 00
17	0.000 00	0.000 00
18	0.000 00	0.000 00
19	0.000 00	0.000 00
20	0.000 00	0.000 00
21	0.000 00	0.000 00
22	0.000 00	0.000 00
23	0.000 00	0.000 00
24	0.000 00	0.000 00
25	0.000 00	0.000 00
26	0.000 00	0.000 00
27	0.000 00	0.000 00
28	0.000 00	0.000 00
29	0.000 00	0.000 00
30	0.000 00	0.000 00
31	0.000 00	0.000 00
32	0.000 00	0.000 00
33	0.000 00	0.000 00
34	0.000 00	0.000 00
35	0.000 00	0.000 00
36	0.000 00	0.000 00
37	0.000 00	0.000 00
38	0.000 00	0.000 00
39	0.000 00	0.000 00
40	0.000 00	0.000 00
41	0.000 00	0.000 00
42	0.000 00	0.000 00
43	0.000 00	0.000 00
44	0.000 00	0.000 00
45	0.000 00	0.000 00
46	0.000 00	0.000 00
47	0.000 00	0.000 00
48	0.000 00	0.000 00
49	0.000 00	0.000 00
50	0.000 00	0.000 00
51	0.000 00	0.000 00
52	0.000 00	0.000 00
53	0.000 00	0.000 00
54	0.000 00	0.000 00
55	0.000 00	0.000 00
56	0.000 00	0.000 00
57	0.000 00	0.000 00
58	0.000 00	0.000 00
59	0.000 00	0.000 00
60	0.000 00	0.000 00
61	0.000 00	0.000 00
62	0.000 00	0.000 00
63	0.000 00	0.000 00
64	0.000 00	0.000 00
65	0.000 00	0.000 00
66	0.000 00	0.000 00
67	0.000 00	0.000 00
68	0.000 00	0.000 00
69	0.000 00	0.000 00
70	0.000 00	0.000 00
71	0.000 00	0.000 00
72	0.000 00	0.000 00
73	0.000 00	0.000 00
74	0.000 00	0.000 00
75	0.000 00	0.000 00
76	0.000 00	0.000 00
77	0.000 00	0.000 00
78	0.000 00	0.000 00
79	0.000 00	0.000 00
80	0.000 00	0.000 00
81	0.000 00	0.000 00
82	0.000 00	0.000 00
83	0.000 00	0.000 00
84	0.000 00	0.000 00
85	0.000 00	0.000 00
86	0.000 00	0.000 00
87	0.000 00	0.000 00
88	0.000 00	0.000 00
89	0.000 00	0.000 00
90	0.000 00	0.000 00
91	0.000 00	0.000 00
92	0.000 00	0.000 00
93	0.000 00	0.000 00
94	0.000 00	0.000 00
95	0.000 00	0.000 00
96	0.000 00	0.000 00
97	0.000 00	0.000 00
98	0.000 00	0.000 00
99	0.000 00	0.000 00
100	0.000 00	0.000 00



0.00 1.00 2.00 3.00 4.00 5.00 6.00 7.00 8.00 9.00 10.00  
 11.00 12.00 13.00 14.00 15.00 16.00 17.00 18.00 19.00 20.00  
 21.00 22.00 23.00 24.00 25.00 26.00 27.00 28.00 29.00 30.00  
 31.00 32.00 33.00 34.00 35.00 36.00 37.00 38.00 39.00 40.00  
 41.00 42.00 43.00 44.00 45.00 46.00 47.00 48.00 49.00 50.00  
 51.00 52.00 53.00 54.00 55.00 56.00 57.00 58.00 59.00 60.00  
 61.00 62.00 63.00 64.00 65.00 66.00 67.00 68.00 69.00 70.00  
 71.00 72.00 73.00 74.00 75.00 76.00 77.00 78.00 79.00 80.00  
 81.00 82.00 83.00 84.00 85.00 86.00 87.00 88.00 89.00 90.00  
 91.00 92.00 93.00 94.00 95.00 96.00 97.00 98.00 99.00 100.00

INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDIOS Y ESTADÍSTICAS  
 ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
 FACULTAD DE INGENIERÍA DE PUERTOS Y PUERTOS  
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PUERTOS Y PUERTOS  
 PROYECTO DE OBRAS DE PUERTOS Y PUERTOS  
 PUNTO: 0+00  
 FECHA: 1987  
 AUTOR: A. V. G.  
 REVISOR: A. V. G.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON**  
**AREA DE MECANICA DE SUELOS Y ROCAS**  
**OFICINA DE INSTRUMENTACION**

PRESA FRANCISCO ZARCO DURANGO

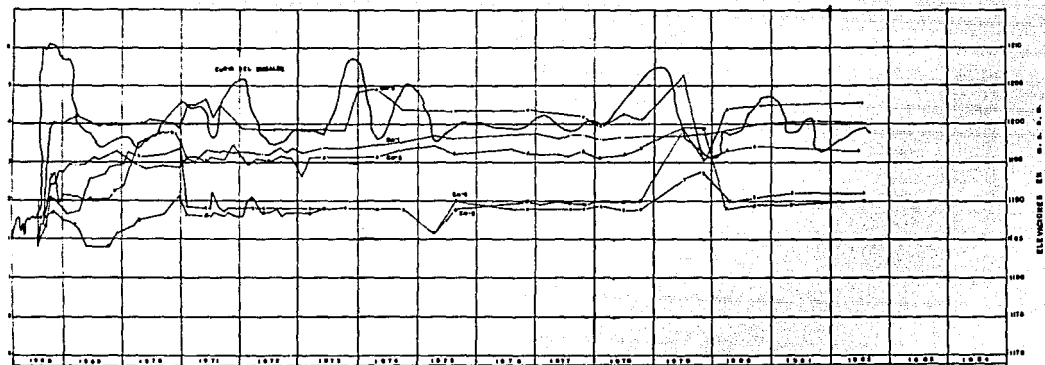
**EXTENSOMETROS MECANICOS**

FECHA 17-IV-80 LECTOR ING. JOSE VAZQUEZ FLORES ELEVACION DEL BALSAS 1196.64  
 EXTENSOMETROS SITUADOS EN CORTINA ELEVACION DEL TERRAPLEN 1213.30

LOCALIZACION			ELEVACION INICIAL DEL ORIGEN DE MEDICION	ELEVACION ACTUAL DEL ORIGEN DE MEDICION	ASENTAMIENTO DEL ORIGEN DE MEDICION	LECTURA INICIAL EN ALAMBRE DE ACERO	LECTURA ACTUAL EN ALAMBRE DE ACERO	DESPLAZ. HORIZONTAL EN CORR. (+1 para arriba (-1 para abajo)
ESTACION	DISTANCIA AL EJE que escribe agua abajo	ELEVACION INICIAL DEL EXTREMO DEL EXTENSOMETRO						
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) = (5) - (4)	(7)	(8)	(9) = (8) - (7)
0+304.50	5.00 m	1186.00	1185.647	1185.635	-0.012	0.682 m	0.674	-0.008
0+304.15	11.50 m	"	1185.645	1185.633	-0.012	0.680 m	0.677	-0.003
0+303.80	18.50 m	"	1185.649	1185.637	-0.012	0.684 m	0.691	+0.007
0+304.85	24.00 m	"	1185.646	1185.637	-0.011	0.681 m	0.693	+0.012
0+305.20	38.50 m	"	1185.648	1185.636	-0.012	0.683 m	0.686	+0.003

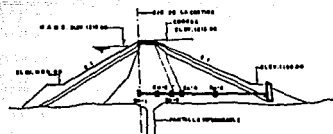
NOTAS: 1) APROXIMAR AL MILIMETRO

OBSERVACIONES:



CLAVE:

- 1001
- 1002
- 1003
- 1004
- 1005
- 1006
- 1007
- 1008
- 1009
- 1010
- 1011
- 1012
- 1013
- 1014
- 1015
- 1016
- 1017
- 1018
- 1019
- 1020
- 1021
- 1022
- 1023
- 1024
- 1025
- 1026
- 1027
- 1028
- 1029
- 1030
- 1031
- 1032
- 1033
- 1034
- 1035
- 1036
- 1037
- 1038
- 1039
- 1040
- 1041
- 1042
- 1043
- 1044
- 1045
- 1046
- 1047
- 1048
- 1049
- 1050
- 1051
- 1052
- 1053
- 1054
- 1055
- 1056
- 1057
- 1058
- 1059
- 1060
- 1061
- 1062
- 1063
- 1064
- 1065
- 1066
- 1067
- 1068
- 1069
- 1070
- 1071
- 1072
- 1073
- 1074
- 1075
- 1076
- 1077
- 1078
- 1079
- 1080
- 1081
- 1082
- 1083
- 1084
- 1085
- 1086
- 1087
- 1088
- 1089
- 1090
- 1091
- 1092
- 1093
- 1094
- 1095
- 1096
- 1097
- 1098
- 1099
- 1100
- 1101
- 1102
- 1103
- 1104
- 1105
- 1106
- 1107
- 1108
- 1109
- 1110
- 1111
- 1112
- 1113
- 1114
- 1115
- 1116
- 1117
- 1118
- 1119
- 1120
- 1121
- 1122
- 1123
- 1124
- 1125
- 1126
- 1127
- 1128
- 1129
- 1130
- 1131
- 1132
- 1133
- 1134
- 1135
- 1136
- 1137
- 1138
- 1139
- 1140
- 1141
- 1142
- 1143
- 1144
- 1145
- 1146
- 1147
- 1148
- 1149
- 1150
- 1151
- 1152
- 1153
- 1154
- 1155
- 1156
- 1157
- 1158
- 1159
- 1160
- 1161
- 1162
- 1163
- 1164
- 1165
- 1166
- 1167
- 1168
- 1169
- 1170
- 1171
- 1172
- 1173
- 1174
- 1175
- 1176
- 1177
- 1178
- 1179
- 1180
- 1181
- 1182
- 1183
- 1184
- 1185
- 1186
- 1187
- 1188
- 1189
- 1190
- 1191
- 1192
- 1193
- 1194
- 1195
- 1196
- 1197
- 1198
- 1199
- 1200
- 1201
- 1202
- 1203
- 1204
- 1205
- 1206
- 1207
- 1208
- 1209
- 1210



SECCION ESTACION 01-204-80  
LOCALIDAD DE LOS ESTEROS DE LOS MECANICOS

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ANEXO	
AREA DE INVESTIGACION DE SUELOS Y OBRAS	
OFICINA DE INVESTIGACION	
PROYECTO: FRANCISCO ZARCO 800.	
DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES DE ESTEROS MECANICOS	
PROYECTO: FEBRU-87	HOJA: 1. T. 2.
ESCALA: VARIAS	REVISTA: L. V. T.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON**  
**AREA DE MECANICA DE SUELOS Y ROCAS**  
**OFICINA DE INSTRUMENTACION**

PRESA MADIN, MEX.

**EXTENSOMETROS POTENCIOMETRICOS**

FECHA NOV. 22-1981 ELEVACION DEL ENBALSE 2334.32 LECTURISTA JUAN LIMA

CALCULO CARLOS RUIZ GRAFICO J. LUIS MORALES REVISO DAVID JIMCOO PEREZ

EXTENSOMETRO	PRIMERA LECTURA	SEGUNDA LECTURA	LECTURA ACTUAL	LECTURA INICIAL	DIFERENCIA	FACTOR DE CONVERSION	DEFORMACION OBSERVADA
Nº.	UNIDAD FUENTE	UNIDAD FUENTE	UNIDAD FUENTE	UNIDAD FUENTE	UNIDAD FUENTE		mm.
(1)	(2)	(3)	(4) = (2) - (3) / 8	(5)	(6) = (4) - (5)	(7)	(8) = (6) / (7)
E-1	345.4	345.4	345.4	291.32	54.080	13.8	$\Delta = 3.919$ $\epsilon = 0.238$
E-2	215.6	215.6	215.6	252.38	-36.780	14.3	$\Delta = 2.572$ $\epsilon = 0.156$
E-3	398.2	398.2	398.200	306.12	92.080	13.8	$\Delta = 6.672$ $\epsilon = 0.404$
E-4	370.2	370.2	370.200	288.00	82.200	13.8	$\Delta = 5.957$ $\epsilon = 0.238$
E-5				278.93		14.3	
E-6	220.0	220.0	220.0	220.46	-0.46	14.3	$\Delta = 0.032$ $\epsilon = 0.001$
E-7	353.4	353.4	353.4	303.70	49.70	13.8	$\Delta = 3.601$ $\epsilon = 0.129$

DEFORMACION OBSERVADA (8)

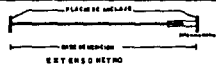
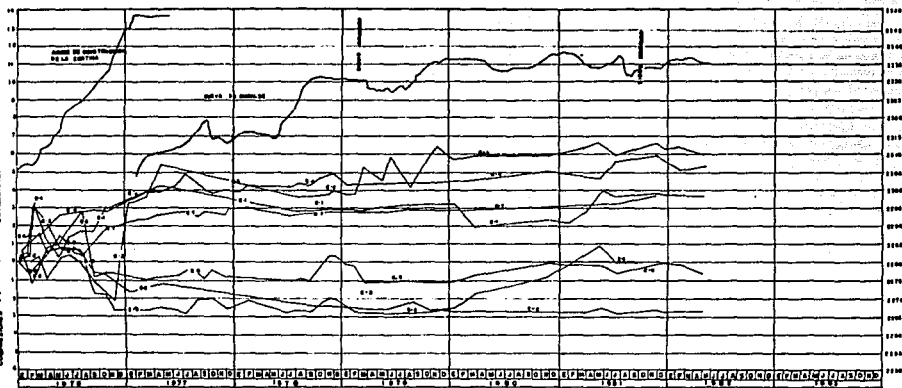
LONGITUD ENTRE PLACAS (L1)

TENSION (+)

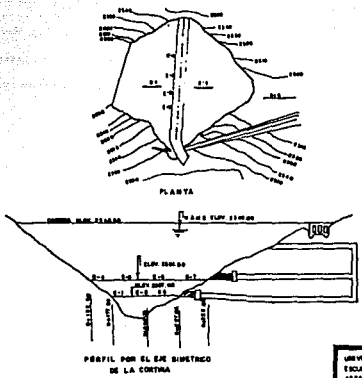
DEFORMACION UNITARIA (8) =  $\frac{\Delta}{L1}$

COMPRESION (-)

OBSERVACIONES: EN EL EXT-5 OSCILA LA AGUJA POR HUMEDAD EN EL CABLE.



ESTERIODINOS	DEFORMACION
1-1	10.20 cm
2-2	10.20 cm
3-3	10.20 cm
4-4	10.20 cm
5-5	10.20 cm
6-6	10.20 cm
7-7	10.20 cm
8-8	10.20 cm
9-9	10.20 cm
10-10	10.20 cm
11-11	10.20 cm
12-12	10.20 cm
13-13	10.20 cm
14-14	10.20 cm
15-15	10.20 cm



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
 ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
 AREA DE ESTUDIOS DE DISEÑO Y DIBUJO  
 FUNDAMENTOS DE INGENIERIA

PRUEBA: M A D I R III R.  
 DEFORMACIONES EN ESTERIODINOS

PRUEBA: FUNDAMENTOS DE INGENIERIA  
 ESC. FUNDAMENTOS DE INGENIERIA

ESC. FUNDAMENTOS DE INGENIERIA  
 ESC. FUNDAMENTOS DE INGENIERIA

181.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON**  
 AREA DE MECANICA DE SUELOS Y ROCAS  
 OPICINA DE INSTRUMENTACION

PRESA LA CANGREJERA, VER.

**PIEZOMETROS NEUMATICOS**

FECHA 10 - II - 87 ELEVACION DEL DIBUJO \_\_\_\_\_ LECTURISTA ING. CARLOS M. OCAÑO

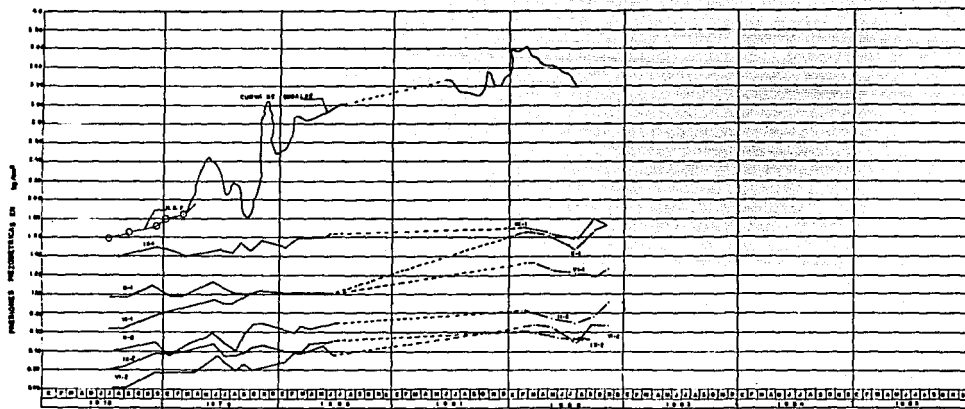
CALCULO MIQUEL A. RIVERA GRAFICO MIQUEL A. RIVERA REVISO ARTURO ACEVEDO S.

PIEZOMETRO	ESTACION	ELEVACION	ELEVACION	PRESION APLICADA	MERCURIO		DIFERENCIA	PRESION CALCULADA	PRESION MEDIDA EN LA CARATULA
		DEL BULBO	DEL BROCAL		A1	B1			
No.	R#	M.S.S.B.	M.S.S.B.	Kg/cm <sup>2</sup>	CM	CM	CM	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8) = (6) - (7)	(9) = (5) * F de C	(10)
EPNI-1	0+055	1.40		2.0	1.652	0.574	1.078	1.47	
EPNI-2	0+055	7.48		3.0	1.467	0.762	0.705	0.960	
EPNII-1	0+135	1.07		3.0	1.762	0.559	1.207	1.641	
EPNII-2	0+135	6.09		2.5	1.467	0.852	0.615	0.840	
EPNIII-1	0+195	1.92		2.2	1.653	0.670	0.983	1.340	
EPNIII-2	0+195	5.62		2.0	1.464	0.858	0.606	0.824	
EPNIV-1	0+005	12.541		2.3	1.295	0.857	0.438	0.600	
EPNW-1	0+055	0.39		3.0-3.0			NO RESPONDIÓ		
EPNW-2	0+055	7.24		2.0-2.5	1.485	0.835	0.650	0.884	
EPNVI-1	0+135	1.16		2.0-2.5	1.651	0.668	0.983	1.340	
EPNVI-2	0+135	9.19		2.0-2.3	1.403	0.917	0.486	0.661	
EPNVI-1	0+195	2.51		2.0-2.5	1.637	0.690	0.942	1.201	
EPNVI-2	0+195	5.81		2.0	1.484	0.842	0.642	0.873	
EPNVI-1	0+055	0.23		2.5	1.607	0.726	0.881	1.200	
EPNVI-2	0+055	1.23		2.0	1.392	0.932	0.460	0.630	
EPNIX-1	0+135	-4.05		2.0-2.5	1.792	0.528	1.264	1.720	
EPNIX-2	0+135	7.35		2.0-2.5	1.390	0.933	0.453	0.621	
EPNX-1	0+195	-1.91		2.0-2.5	1.784	0.539	1.245	1.693	
EPNX-2	0+195	7.61		2.0	1.360	0.968	0.392	0.533	

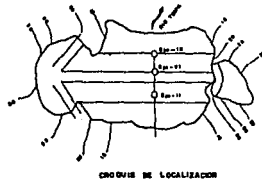
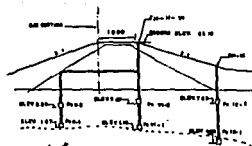
FACTOR DE CONVERSION F de C: \_\_\_\_\_

OBSERVACIONES:

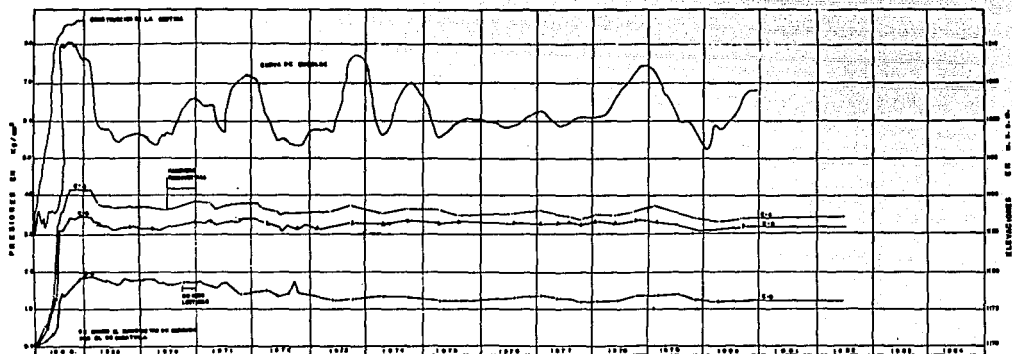




PIEZOMETROS	
INDICIO	ALTIMETROS
M-1	1.00
M-2	1.25
M-3	1.50
M-4	1.75
M-5	2.00
M-6	2.25
M-7	2.50
M-8	2.75
M-9	3.00
M-10	3.25

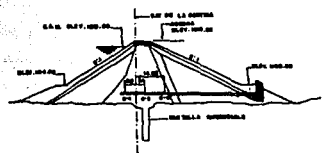


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
 ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON  
 AREA DE MECANICA DE SUELOS Y SOFAS  
 MODULO DE ESTABILIDAD  
 PROYECTO DE INVESTIGACION  
 TITULO: LA CAMARERA VEN.  
 OBSERVACIONES DE PIEZOMETROS NEUMATICOS  
 FECHA: FEBRERO 1967  
 DISEÑADO: A. V. G.  
 REALIZADO: MENDOZA J. L. A. Y



**CLAVE:**

- PRESION EN LA SUPERFICIE
- PRESION EN EL TUBO
- PRESION EN EL TUBO
- PRESION EN EL TUBO



SECCION ESTADIA CORDO  
LOCALIZACION DE CELDAS DE PRESION

LA FORMA DE INSTALACION DE ESTOS APARATOS PUEDE SER

INSTITUCION NACIONAL DE INVESTIGACIONES Y ESTUDIOS PROFESIONALES AREA DE UNIDADES DE MEDIDA Y PESAS OFICINA DE INSTRUMENTACION	
PROYECTO: FILADELFO LAFITEZ DEL OBSERVACIONES DE CELDAS DE PRESION	
LOCAL: PUEBLO VIEJO	ESTADO: S. L. R.
FECHA: 1950	AUTOR: A. L. S.

## CONCLUSIONES

## CONCLUSIONES

Independientemente del costo que representa un proyecto de instrumentación se debe considerar para obras de importancia con el fin de obtener una visión más clara sobre las deformaciones y los esfuerzos que se presentan durante la construcción y operación de la estructura.

Los instrumentos que se utilizan en el proyecto deben ser los más eficaces, confiables y adaptarse a las condiciones del terreno, además, debe considerarse su costo (esto no quiere decir que se escoja el más barato sino el que resulte más económico a lo largo de su vida útil), prefiriendo aquellos instrumentos de fácil manejo para su instalación y operación.

El número de aparatos dependerá del tipo de problema que se desea investigar u observar para fundamentar decisiones posteriores. La distribución se hará buscando colocar los instrumentos en lugares claves con el fin de obtener una mayor información con un número menor de aparatos.

Debe llevarse con riguroso cuidado un registro de todos los detalles acontecidos en la etapa de instalación. Los registros se harán en una libreta de campo en donde se anotará toda la información del comportamiento de la obra.

La calibración se debe realizar en el lugar para detectar errores en la instalación y garantizar que el aparato está funcionando correctamente.

El personal empleado para cada actividad debe contar con vasta experiencia y capacidad comprobada para llevar a buen fin el proyecto.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

## COMPORTAMIENTO DE PRESAS CONSTRUIDAS EN MEXICO

Secretaría de Recursos Hidráulicos,  
Comisión Federal de Electricidad,  
Instituto de Ingeniería, UNAM. Vol. I  
México, 1976.

## COMPORTAMIENTO DE PRESAS CONSTRUIDAS EN MEXICO (1974-1984)

Comisión Federal de Electricidad. Vol. II  
México, 1985.

## EXPLORACION GEOTECNICA

Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos  
México, DF, 1986.

## GEOTECNIA DEL INGENIERO

Henri, Cambefort  
Editores Técnicos Asociados  
Barcelona, 1975.

## GEOTECNIA Y CIMIENTOS II

J.A. Jiménez Salas  
J.L. de Justo Alpañes  
Ed. Rueda  
Madrid, 1981.

INVESTIGACION SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE SUELOS GRANULARES Y  
MUESTRAS DE ENROCAMIENTO

Raul J. Marsal,  
Edmundo Moreno A,  
Arturo Núñez A.  
Raúl Cuéllar B.  
Comisión Federal de Electricidad  
México, 1965

## INSTRUMENTACION Y MEDICION EN TUNELES

Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos  
Oaxtepec, Morelos, 1981.

## LA INGENIERIA DE SUELOS EN LAS VIAS TERRESTRES

Alfonso Rico Rodríguez  
Hermillo del Castillo  
Ed. Limusa. Vol. II  
México, 1979

**MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES (GEOTECNIA)**

B.2.5 Instrumentación en Suelos  
Comisión Federal de Electricidad  
México, 1993.

**MANUALES DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES (GEOTECNIA)**

B.3.4 Pruebas de campo y laboratorio.  
Comisión Federal de Electricidad  
México, 1990.

**MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES (GEOTECNIA)**

B.3.6 Instrumentación en Mecánica de Rocas  
Comisión Federal de Electricidad

**PERFORACIONES Y SONDEOS**

Cambefort Henri  
Ed. Omega  
Barcelona, 1975

**PRESA DEL INFIERNILLO. Observaciones en la cortina durante el periodo de construcción y primer llenado de embalse.**

Raúl J. Marsal,  
Luis Ramírez Arellano  
Comisión Federal de Electricidad  
México, 1965

**PRESAS DE TIERRA Y ENROCAMIENTO**

Raúl J. Marsal  
Ed. Limusa  
México, 1978

**IX REUNION NACIONAL DE MECANICA DE SUELOS**

Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos  
México, 1978.