

25



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

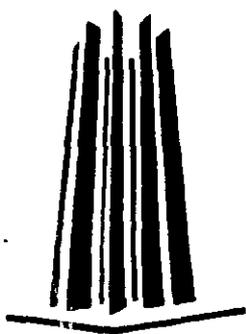
**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
"CAMPUS ARAGON"**

**"CONSIDERACIONES TÉCNICAS  
PARA LA EJECUCION DE LOS  
TRABAJOS DE INSTRUMENTACIÓN  
Y SU APLICACIÓN EN OBRAS DE  
INFRAESTRUCTURA"**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A:  
ALBERTO MONDRAGÓN FERNÁNDEZ**

**ASESOR: ING. JOSE LUIS RODRÍGUEZ TORRES**



MÉXICO

TESIS CON  
PALLA DE ORIGEN

1999.

1675



Universidad Nacional  
Autónoma de México

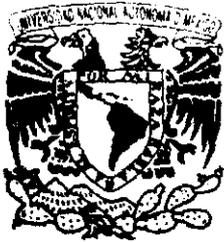


**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
CAMPUS ARAGÓN

SECRETARÍA ACADÉMICA

Ing. GILBERTO GARCÍA SANTAMARÍA GONZÁLEZ  
Jefe del Área de Ingeniería Civil,  
Presente.

En atención a la solicitud de fecha 27 de agosto del año en curso, por la que se comunica que el alumno ALBERTO MONDRAGÓN FERNÁNDEZ, de la carrera de Ingeniero Civil, ha concluido su trabajo de investigación intitulado "CONSIDERACIONES TÉCNICAS PARA LA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS DE INSTRUMENTACIÓN Y SU APLICACIÓN EN OBRAS DE INFRAESTRUCTURA", y como el mismo ha sido revisado y aprobado por usted, se autoriza su impresión; así como la iniciación de los trámites correspondientes para la celebración del Examen Profesional.

Sin otro particular, reitero a usted las seguridades de mi atenta consideración.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
San Juan de Aragón, México, 28 de agosto de 1998  
EL SECRETARIO

Lic. ALBERTO IBARRA ROSAS

c c p Asesor de Tesis.  
c.c.p. Interesado.

AIR/MCA/IIa.

**CONSIDERACIONES TÉCNICAS**

**PARA LA EJECUCIÓN**

**DE LOS TRABAJOS DE**

**INSTRUMENTACIÓN Y SU**

**APLICACIÓN EN OBRAS DE**

**INFRAESTRUCTURA**

**A MIS PADRES:**

SR. ARMANDO MONDRAGÓN DÍAZ.  
SRA. M<sup>a</sup>. CRISTINA FERNÁNDEZ DE M.

QUE CON TANTO ESFUERZO Y SACRIFICIO HAN LOGRADO  
HACER DE MI UN PROFESIONISTA.

**A MI ESPOSA:**

BEATRIZ PEÑA DE MONDRAGÓN.

QUE CON SU APOYO Y ENTUSIASMO TOTALES MOTIVARON  
MI PERSONA PARA LA CONCLUSIÓN DE ESTE TRABAJO

**A MIS HIJAS:**

EVELYN BEATRIZ.  
KARLA SOFÍA.  
LISSETE.

MOTIVO PRINCIPAL PARA MI SUPERACIÓN

**A MIS HERMANOS:**

ARMANDO.  
PABLO.  
JUAN CARLOS.

POR SU APOYO DURANTE MI ETAPA  
DE ESTUDIANTE.

**A ULISES HERNANDEZ PEÑA Y LA FAMILIA  
PEÑA ARRONA:**

**POR SU COMPRENSIÓN Y AMISTAD.**

**A TODOS LOS INTEGRANTES DE MI FAMILIA:**

**CON LOS CUALES HE CONTADO DESINTERESADAMENTE  
EN TODOS LOS MOMENTOS DE LA VIDA**

**A MIS PROFESORES:**

**QUE CON SUS CONSEJOS SABIOS ENGRANDECIERON  
MIS CONOCIMIENTOS Y OBTUVE LO MAS VALIOSO  
DE MI VIDA.**

**A MIS AMIGOS DE TODA LA VIDA:**

**CON LOS QUE SIEMPRE HE CONTADO  
PARA MOTIVAR MI SUPERACIÓN.**

**AL INGENIERO JOSÉ LUIS RODRÍGUEZ TORRES:**

**POR SU PACIENCIA Y APOYO PARA LA ELABORACIÓN  
Y CONCLUSIÓN DE ESTE TRABAJO Y POR COMPARTIR  
SUS CONOCIMIENTOS.**

**A LOS INGENIEROS:**

PASCUAL GARCIA CUEVAS.  
DANIEL VELÁZQUEZ VÁZQUEZ.  
JOSÉ PAULO MEJORADA MOTA.  
GILBERTO GARCIA SANTAMARIA GLEZ.  
MARIO AVALOS

POR SU AMISTAD Y APOYO PARA LA CONCLUSIÓN  
DE ESTE TRABAJO Y DE MIS ESTUDIOS PROFESIONALES.

**AL INGENIERO MANUEL OLIVARES OLIVARES:**

POR SU GRAN APOYO Y DESINTERESADA AYUDA,  
LO CUAL FUE FUNDAMENTAL PARA LOGRAR LA  
REALIZACIÓN DE ÉSTE TRABAJO.

**AL ARQ. ALEJANDRO GUADARRAMA SÁNCHEZ:**

POR EL APOYO BRINDADO PARA LA CULMINACIÓN  
DE MI TRABAJO DE TESIS.

**A TODO EL PERSONAL DE LA EMPRESA RIOBOO:**

QUE ME HA APOYADO Y ACONSEJADO PARA LA  
TERMINACIÓN DE MI TESIS.

# C O N T E N I D O

I . INTRODUCCIÓN.

II . REFERENCIAS EN ESTRUCTURAS.

III. SISTEMAS DE PLOMEO.

I V. BANCOS DE NIVEL FLOTANTE.

V . PIEZÓMETROS Y TUBOS DE OBSERVACIÓN.

V I. INCLINÓMETROS.

VII. REFERENCIAS SUPERFICIALES.

VIII. CONCLUSIONES.

# TABLA DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. REFERENCIAS EN ESTRUCTURAS .....	9
II.1. OBJETIVOS .....	9
II.2. DESCRIPCIÓN .....	9
II.3. INSTALACIÓN .....	11
II.4. METODOLOGÍA TÉCNICA .....	12
Altimetría .....	15
II.5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS .....	20
II.6. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	25
III. SISTEMAS DE PLOMEO .....	28
III.1. OBJETIVOS .....	28
III.2. DESCRIPCIÓN .....	28
III.3. INSTALACIÓN .....	32
III.4. MÉTODOS DE PLOMEO .....	34
III.4.1. PLOMEO CON PLOMADA .....	34
III.4.2. PLOMEO CON EQUIPOS TOPOGRÁFICOS .....	36
III.5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS .....	40
III.6. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	44
IV. BANCOS DE NIVEL FLOTANTE .....	46
IV.1. OBJETIVOS .....	46
IV.2. DESCRIPCIÓN .....	46
IV.3. INSTALACIÓN .....	47
IV.4. METODOLOGÍA TÉCNICA .....	51
IV.5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS .....	54
IV.6. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	59

V. PIEZÓMETROS Y TUBOS DE OBSERVACIÓN .....	61
V.1. OBJETIVOS .....	61
V.2. DESCRIPCIÓN .....	61
V.3. PERFORACIÓN E INSTALACIÓN .....	63
V.4. METODOLOGÍA, PRESENTACIÓN E INTERPRETACIÓN.....	66
V.4.1. PIEZÓMETRO ABIERTO .....	68
V.4.1.1. Presentación de resultados de P.A. ....	75
V.4.1.2. Interpretación de resultados de P.A. ....	82
V.4.2. PIEZÓMETRO ABIERTO HINCADO .....	83
V.4.2.1. Presentación e interpretación de resultados de P.A.H. ....	88
V.4.3. PIEZÓMETRO NEUMÁTICO .....	90
V.4.4. PIEZÓMETROS ELÉCTRICOS .....	94
Cuerda Vibrante .....	96
Strain Gages .....	97
V.4.5. TUBO DE OBSERVACIÓN .....	99
 VI. INCLINÓMETROS .....	 103
VI.1. OBJETIVOS .....	103
VI.2. DESCRIPCIÓN .....	103
VI.3. METODOLOGÍA, PRESENTACIÓN E INTERPRETACIÓN.....	106
Instalaciones .....	106
Medición .....	108
Cálculo .....	108
Tipo de Sondas .....	109
INCLINÓMETRO DE WILSON .....	110
Calibración de inclinómetro .....	116
Toma de lecturas .....	120
Cálculos .....	122
 VII. REFERENCIAS SUPERFICIALES .....	 125
VII.1. OBJETIVOS .....	125
VII.2. DESCRIPCIÓN .....	125
VII.3. INSTALACIÓN .....	126
VII.4. METODOLOGÍA TÉCNICA .....	129
VII.5. PRESENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	134
 VIII. CONCLUSIONES .....	 137

## OBJETIVOS.

La presente tesis es dedicada a los Ingenieros Civiles y Topógrafos, Arquitectos, estudiantes de Ingeniería y Arquitectura, técnicos de las diferentes áreas de la construcción y a los profesionistas dedicados al diseño, construcción y supervisión de obras de infraestructura, la inquietud de elegir éste tema surge al observar que la mayoría de las personas relacionadas con el área de construcción y supervisión cuentan con un mínimo de conocimientos respecto al tema en cuanto a metodología, interpretaciones o funcionalidad, además de la experiencia propia en el tema. Por tal motivo, la finalidad de este trabajo es el de hacer hincapié sobre la importancia de implementar un sistema de instrumentación en las obras de las diferentes áreas de la ingeniería, involucrando los procedimientos adecuados para la ejecución de los trabajos a realizar en cada elemento del sistema de instrumentación, así como su interpretación.

El objetivo principal de este trabajo, es dar a conocer la funcionalidad de la instrumentación como parte integral de la mecánica de suelos aplicada, a través del monitoreo físico de las obras, en donde se determinará qué tipo de instrumentación deben elegir las personas que vayan a instrumentar sus obras y que utilidad y beneficios pueden dar los resultados en su análisis. Está en función de este análisis el proponer posibles aplicaciones de medidas preventivas o correctivas en los procedimientos constructivos de la obra o sobre zonas de afectación; cuando se realizan e interpretan correctamente los monitoreos, se permite establecer el comportamiento de estructuras y del terreno la evolución de sus condiciones de estabilidad o de servicio. Así como el cumplimiento de las teorías que se hayan utilizado en dicho proyecto. Para poder cumplir con el objetivo de este trabajo es necesario dar a conocer las principales actividades de campo y de gabinete que se deben tomar en cuenta para la ejecución correcta de los trabajos de instrumentación; actividades que darán confiabilidad a los resultados obtenidos.

En los capítulos de esta tesis se hace una descripción de los instrumentos que se utilizan con mas frecuencia en las obras de infraestructura, haciendo mención de las funciones de cada uno de ellos y las metodologías para su instalación y lectura; en base a esta descripción y en función del tipo de obra se pueden elegir los elementos de instrumentación a instalar; además, se mencionan actividades que se deben considerar como importantes o fundamentales para poder llevar a cabo un trabajo con calidad; esta calidad interviene en cada una de las etapas de ejecución de los trabajos, desde su instalación hasta la interpretación de los resultados.

# I. INTRODUCCIÓN

El comportamiento de la naturaleza, siempre opera a una escala de complejidad que, hasta ahora, ha resultado superior a la capacidad de comprensión del talento humano.

Es difícil que se presente un problema que la mecánica de suelos resuelva y que baste para obtener una solución tan satisfactoria, que deje a los ingenieros libres de toda preocupación sobre el comportamiento posterior de las obras. Se ha dicho que las diferencias entre la teoría y la realidad son más complejas en el ámbito de la mecánica de suelos aplicada que en cualquier otra rama de la Ingeniería Civil. Es por eso que en los problemas de campo de la mecánica de suelos se trabaje efectivamente con grados de incertidumbre que suele excluir toda posición de indiferencia o de excesiva tranquilidad en cuanto al comportamiento de las obras ejecutadas o de las soluciones adoptadas en un caso particular dado.

Durante la construcción de una obra, el terreno sufre cambios o deformaciones a una velocidad relativamente baja, que llegan a ser imperceptibles a la vista en un lapso corto de tiempo o pasan inadvertidos por ser movimientos milimétricos; sin embargo, estos cambios no deben ser excluidos de ser importantes, si se hacen consideraciones a largo plazo, ya que pueden ser causa de deformaciones en las estructuras de la obra o fuera de ella; así también no se descarta la posibilidad que sucedan comportamientos extraordinarios con cambios bruscos del suelo debido principalmente a causas externas.

En los últimos años se le ha dado gran importancia a los cambios que sufre el suelo en su estructura a causa de la construcción de obras de infraestructura, sobre todo cuando se trata de obras construidas sobre terrenos arcillosos como la zona de lago del área metropolitana de la Ciudad de México, estas alteraciones suceden en el terreno donde se aloja la propia obra y en las zonas cercanas a esta; estos cambios que experimenta el suelo se reflejan principalmente sobre las estructuras, ya sean parte de la obra en construcción o de sus zonas de influencia.

Al tomar conciencia de la magnitud de los cambios que sufre el terreno, surge la necesidad de adoptar métodos que ayuden a detectar estos cambios con precisión; para esto es necesario apoyarse de áreas de la ingeniería, como la topografía, la electricidad y la electrónica, entre otras. Estas áreas de ingeniería han sido base de métodos usados en la mecánica de suelos, aplicados para conocer el comportamiento y algunas propiedades del suelo.

Para conocer los posibles cambios que sufre el suelo o su comportamiento a causa de las obras, se ha creado el área de instrumentación como parte integral de la mecánica de suelos; la creación de esta área tiene la finalidad de aplicar los métodos adoptados directamente en la obra y utilizar los resultados para poder ejecutar posibles medidas preventivas y/o correctivas en la obra o en su zona de influencia; en estos trabajos de instrumentación es fundamental la colaboración del personal involucrado directamente en la obra y del personal que trabaja en gabinete, es decir, el personal de las empresas constructoras, supervisoras y proyectistas.

En los últimos años esta instrumentación ha sido parte de los proyectos y de los trabajos de campo en la construcción de las líneas del metro subterráneo, elevado y superficial, de puentes y distribuidores vehiculares en la Ciudad de México, se ha utilizado en la detección de movimientos en grandes edificios durante trabajos en sus cimentaciones o cuando se presentan movimientos diferenciales sin existir alguna causa aparente, en la construcción de túneles y presas, así como en renivelaciones de monumentos históricos como es el caso de la Catedral Metropolitana de la Ciudad de México. El Departamento del Distrito Federal le ha dado gran importancia a la instrumentación dentro de las obras a su cargo, asegurando la calidad de la obra y utilizando la instrumentación como "termómetro" de la misma, mejorando, en donde se justifiquen, los procedimientos constructivos; esto se aplica para dar mayor seguridad a los usuarios de las obras terminadas, apoyando, de esta manera, la prevención de desastres. Es bueno señalar, que la instrumentación es parte fundamental de la ingeniería civil, con la cual se puede conocer la historia del comportamiento del terreno, de las estructuras de las obras y de las edificaciones en general.

Como sabemos en la Ciudad de México existen suelos totalmente arcillosos totalmente heterogéneos cuya estratigrafía y propiedades son únicos en el mundo; es de fundamental importancia conocer estas características para el proyecto de obras de infraestructura, estas se conocen a partir de sondeos profundos y de estaciones piezométricas. La instrumentación se utiliza desde esta etapa, enfocándose a determinar de manera precisa las condiciones piezométricas del subsuelo, con el fin de conocer la distribución de esfuerzos efectivos con respecto a la profundidad; también es posible determinar los rangos de movimientos verticales según las variables a medir, como ejemplo, pueden ser: asentamientos por bombeo previo, expansión inicial asociada a la excavación, asentamiento por recuperación de las expansiones ocurridas por algún procedimiento constructivo y expansión diferida asociada a la absorción de agua por las arcillas. Así, los resultados de las características son base para la propuesta de la instrumentación a seguir en cada obra.

La Ciudad de México, dentro de su estratigrafía, se divide en tres zonas geológicas:

**Zona de lago.** El subsuelo de la zona de lago está formado por una costra superficial, que se encuentra por encima de las arcillas blandas superficiales con un ligero grado de preconsolidación que disminuye con la profundidad hasta llegar a ser normalmente consolidada. Esta zona se divide en tres subzonas: Lago Virgen, lago centro I y lago centro II.

**Zona de transición.** Esta zona está dividida en dos subzonas: Baja y Alta. La zona baja está conformada por una costra superficial que se encuentra por encima de arcillas de consistencia blanda a media ligeramente preconsolidada interestratificadas con arenas y limos duros de origen aluvial. La zona alta presenta una capa de arcilla limosa, seguida de otra de arena y grava, y de capas interestratificadas de limos, arenas, tobas duras y blandas como se puede ver en la fig. I.1.

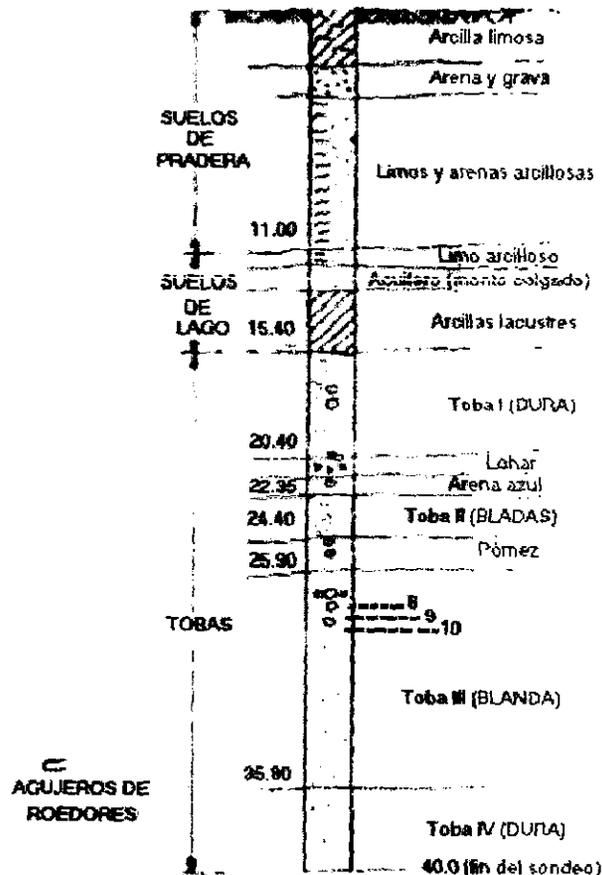


Figura I.1. Estratigrafía Típica de Zona de Transición

Zona de lomas. En esta zona se observan elementos litológicos producto de erupciones de grandes volcanes andesíticos, como son: Horizontes de cenizas volcánicas, capas de erupciones pumíticas, lahares, avalanchas ardientes, depósitos glaciares, depósitos fluvio-glaciares, depósitos fluviales y suelos residuales, eventualmente se encuentran rellenos no controlados que influyen significativamente en la estabilidad de las excavaciones y zonas de minas en la periferia de la ciudad de México que se consideran como zonas de alto riesgo, como se observa en la figura I.2.

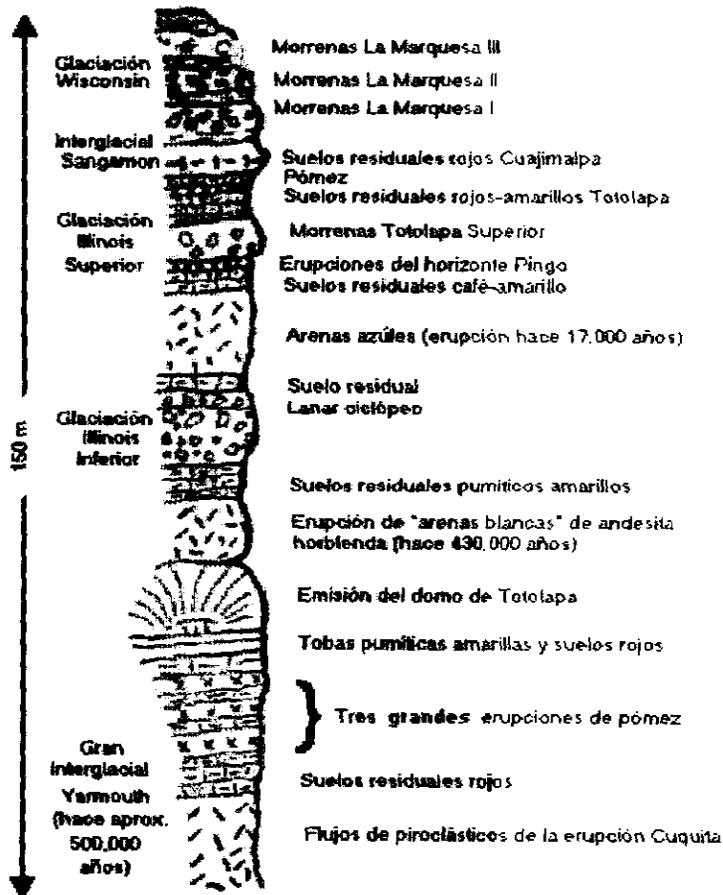


Figura I.2. Estratigrafía Típica de Zona de Lomas

Algunas características de estas subzonas se muestran en la tabla siguiente.

ZONA	SUBZONA	ESTRATO	ESPESOR m	$\gamma$ t/m <sup>3</sup>	c t/m <sup>2</sup>	$\phi$
Lago	Virgen	Costra superf.	$1 \leq Z_1 \leq 2.5$	1.4	1	20
		Suelos blandos	$Z_2 < 30$	1.2	0.5-1	-
	Centro I	Costra superf.	$4 \leq Z_1 \leq 6$	1.6	4	25
		Suelos blandos	$20 \leq Z_2 \leq 30$	1.2	1 - 2	-
	Centro II	Costra superf.	$6 \leq Z_1 \leq 10$	1.7	4	25
		Suelos blandos	$Z_2 \leq 20$	1.3	3	-
Transición	Baja	Idéntico a lago centro I y II				
	Alta	Costra superf.	$8 \leq Z_1 \leq 10$	1.6	10	20
		Suelos blandos	$4 \leq Z_2 \leq 6$	1.3	5	-

donde:

- $\gamma$   $\Rightarrow$  Peso Volumétrico total.
- c  $\Rightarrow$  Cohesión en condiciones no drenadas ( determinada con cono eléctrico y pruebas triaxiales CU ).
- $\phi$   $\Rightarrow$  Ángulo de fricción interna en condiciones no drenadas ( triaxial CU ).
- $Z_1$   $\Rightarrow$  Espesor de la costra superficial.
- $Z_2$   $\Rightarrow$  Espesor del estrato blando.

Entonces se entiende que la instrumentación es un área de la Mecánica de Suelos con la cual se puede comprobar la predicción del comportamiento de las estructuras durante su construcción y vida útil, y se define como la serie de dispositivos y referencias topográficas y la interpretación que se le da a los resultados de las mediciones en estas.

Por lo anterior el proyectista debe proponer la instrumentación más adecuada, definiendo el tipo y distribución de instrumentos de medición de campo para determinar la evolución del nivel piezométrico, así como de movimientos verticales y horizontales de excavaciones y de estructuras; la propuesta de la instrumentación a colocar está en función de las variables a medir. Esta comprobación es resultado de la observación de la masa de suelo a través de conocer los movimientos verticales y horizontales del terreno, de las construcciones y de las estructuras de la obra, así como el del flujo de agua o la presión de poro dentro de la zona de obra en los estados más significativos conforme al progreso de la construcción; en el capitulado de este trabajo se

mencionan los elementos de instrumentación necesarios para obtener resultados de las principales variables mencionadas, que deben ser medidas en las obras de infraestructura. En las etapas de construcción se puede justificar el hacer mediciones de presiones del contacto suelo-estructura, cargas axiales de los elementos de contención de ademes en excavaciones profundas (troqueles), monitoreo evolución de grietas, control del gasto agua en un sistema de bombeo, monitoreo de secciones de convergencia-divergencia en túneles y lumbreras entre otras variables; está en la capacidad de los ejecutantes y del interés que se le quiera dar a la instrumentación para cada obra, el medir la mayoría de posibles variables. Así también, se puede verificar que la construcción se realice dentro de los rangos de seguridad proyectada y advertir el desarrollo de las condiciones de inestabilidad. La detección y verificación de estos movimientos se realiza a través de mediciones con equipo de alta precisión de tipo mecánico, óptico, eléctrico o electrónico, el cual debe estar perfectamente calibrado y/o ajustado al momento de ejecutar dichas mediciones, por lo que deberá verificarse constantemente. Para la mayoría de los elementos de instrumentación que se mencionan en este trabajo se utilizan mediciones topográficas de primer orden.

Se mencionó que para llevar un buen seguimiento de la instrumentación, es necesario contar con el apoyo de todas las partes involucradas en la obra, siendo la participación de cada una de ellas de igual importancia para los fines que se persiguen. Estas actividades son las que se mencionan a continuación:

#### **a) Empresa Proyectista.**

1. Propuesta y especificaciones de la instrumentación y su instalación, indicando la importancia de esta actividad, así como los rangos de variación permisibles para los valores que deben esperarse y aceptarse durante el desarrollo de la obra.
2. Estará facultada para revisar y/o requerir al personal encargado de la obra, la interpretación de la instrumentación realizada en el sitio, con el fin de conciliar y uniformizar los criterios de seguimiento.
3. Interpretación completa de los resultados.
4. Indicará las medidas inmediatas que deban tomarse para la prevención de tendencias de riesgo o deformaciones excesivas en la obra o zonas colindantes.
5. Elaboración de informes de los resultados obtenidos de la instrumentación, asociándolos con los diferentes eventos y procesos de la obra.

**b) Empresa de Supervisión.**

1. Es la que se encarga de llevar a cabo la supervisión de la correcta instalación de los instrumentos, la toma de lecturas aleatoria y el procesamiento de la información. Asimismo, es la encargada de proporcionar dichos resultados al constructor y a la empresa proyectista, para su análisis respectivo.
2. Realiza una interpretación completa y paralela a la de la proyectista.
3. Elaboración de informes parciales o a corto plazo de los resultados obtenidos, asociándolos con los diferentes eventos y procesamientos constructivos de la obra.

**c) Empresa Constructora.**

1. Al ser la empresa que instala los dispositivos y/o referencias topográficas y entrega a la supervisión los resultados con sus propios recursos, es la responsable de su correcta ejecución; asimismo al ser la que mayor tiempo se encuentra en la obra, es la responsable de la óptima realización de estos trabajos, de la ejecución de las lecturas conforme a las frecuencias determinadas por la empresa proyectista, siendo además la encargada de cuidar la no destrucción de los dispositivos o referencias; así como de llevar a cabo la primer interpretación de los resultados. Estará facultada, bajo su responsabilidad, para actuar en la corrección de algún problema de la obra (toma de decisiones) siempre con la colaboración y autorización de la empresa supervisora, basándose en los lineamientos indicados por la proyectista y sus especificaciones.
2. Con base en lo anterior, la constructora deberá tener al pie de la obra y en todo momento, personal capacitado en la toma de lecturas e interpretación de los resultados, para que en caso de ser necesario se tomen las medidas preventivas o correctivas.

Por último, es preciso señalar que el cargo económico de la instrumentación es mínimo, comparado con la importancia y la gran ventaja que representa contar con este tipo de actividad; en la actualidad se estima que el área de instrumentación tiene un cargo económico que oscila entre un 0.5 y 1.5% del costo total de la obra; obviamente el costo está en función del tipo de instrumentos que se instalen, puede ser desde utilizar solo pintura y una brigada de topografía, hasta implementar instrumentos eléctricos que formen parte de

un sistema automático con equipos electrónicos de computo y personal técnico especialista.

La instrumentación más común que se instala y de la cual se lleva a cabo su seguimiento por las empresas, para los fines anteriormente mencionados, se compone de los siguientes sistemas:

- REFERENCIAS EN ESTRUCTURAS (PALOMAS).
- SISTEMAS DE PLOMEO (MENSULAS).
- BANCOS DE NIVEL FLOTANTE.
- PIEZÓMETROS Y TUBOS DE OBSERVACIÓN.
- INCLINÓMETROS.
- REFERENCIAS SUPERFICIALES.

Se debe tener en cuenta que estos trabajos son de precisión y que, por lo tanto, se deberán ejecutar con equipo adecuado. En la siguiente tabla se mencionan algunas precisiones y sensibilidades de los instrumentos.

Instrumento	Precisión	Comentarios de Precisión
Testigos Superficiales	2mm	Se alcanza sólo cuando se realizan las nivelaciones con el equipo adecuado y personal capacitado.
Palomas	2mm	
Banco de Nivel Flotante	2mm	Se alcanza cuando la instalación es muy cuidadosa.
Piezómetros	2cm	Se logra utilizando una sonda adecuada.
Inclinómetros	0.5 a .15cm	Puede no alcanzarse cuando la tubería del inclinómetro no se adapte a las deformaciones del suelo.

En los capítulos siguientes se describe cada uno de los elementos del sistema de instrumentación.

# REFERENCIAS EN ESTRUCTURAS

## II. REFERENCIAS EN ESTRUCTURAS (PALOMAS).

### II.1. OBJETIVO

EL objetivo de las "Palomas" es que a través de ellas se conozcan los movimientos verticales *locales* que se pudieran presentar, antes, durante y después de la construcción de una obra, sobre las estructuras existentes dentro de su zona de influencia y sobre las estructuras de la propia obra, a fin de determinar efectos sobre estas y de comprobar que estos efectos inducidos son tolerables; para así tener una base para la toma de decisiones, como puede ser la solicitud de modificación en el proyecto original o una ejecución improvisada de obra; este tipo de control se realiza a base de bancos de nivel superficial ubicados fuera de toda influencia de la obra, que servirán como punto de partida para conocer los movimientos verticales en las zonas de interés según el tipo y magnitud de la obra.

La zona de influencia varía en función del tipo de obra, tipo de estructuras a monitorear y de la zona según el tipo de terreno, ésta debe ser especificada por la empresa proyectista; también se puede tomar como zona de influencia la que consideren en campo las constructoras y supervisoras; o bien, se pueden monitorear todos los elementos estructurales aledaños a lo largo de la obra, si esta lo justifica.

### II.2. DESCRIPCIÓN

Las "Palomas" son referencias de pintura que se colocan sobre los paramentos de las construcciones aledañas a lo largo de la obra, sobre elementos estructurales o en cualquier tipo de estructura de la cual se requiera llevar un monitoreo de movimientos verticales, estableciendo controles de tipo alimétrico. Las "Palomas" son de forma triangular, de 5cm por lado, se pintan sobre un fondo blanco, debiendo colocar además el número de referencia y el número del banco superficial al cual está referenciada ( Fig. II.1 ). Se recomienda que las Palomas se pinten de color rojo; así como hacer uso de esmalte anticorrosivo.

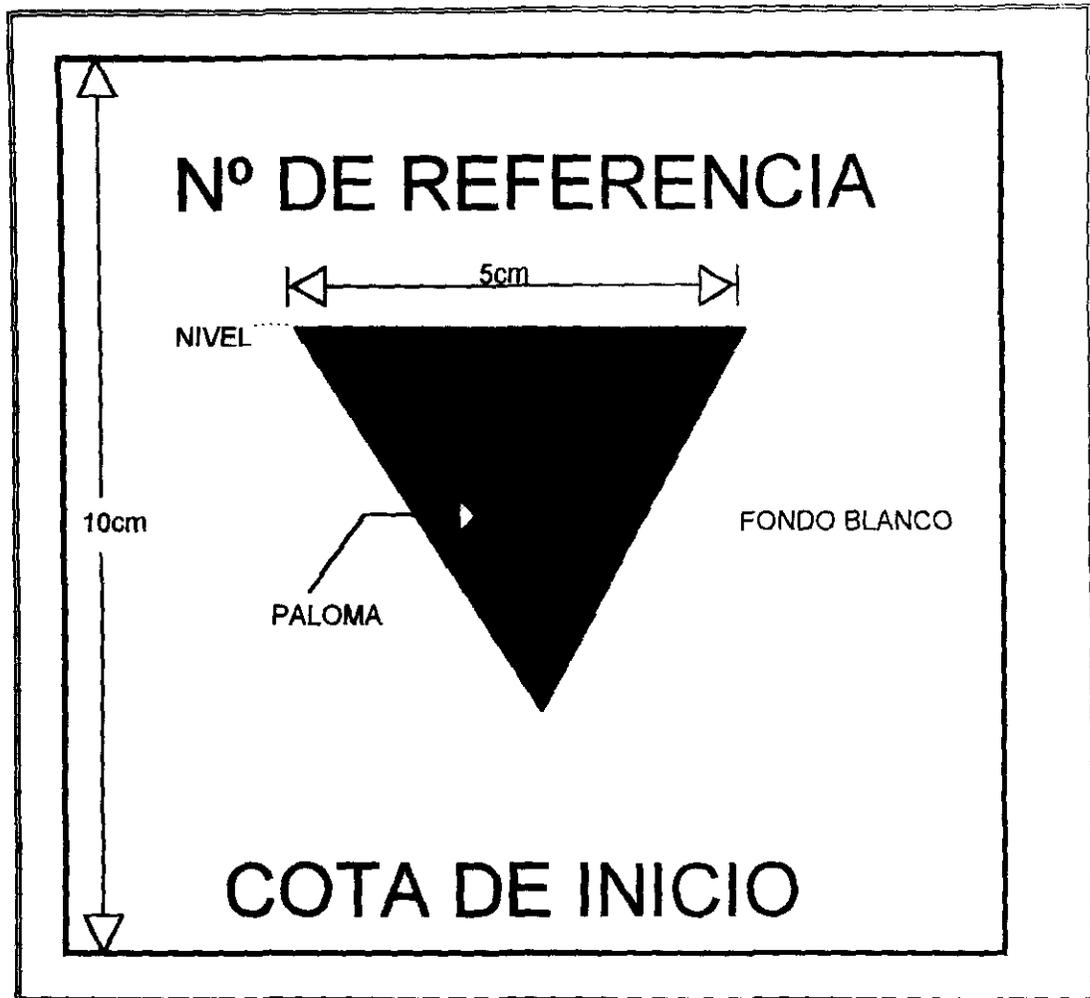


Figura II.1. Representación Gráfica de una Paloma.

Los trabajos de medición se efectúan a base de equipo y métodos topográficos de precisión. Algunos de estos trabajos se describen en el inciso II.4.

Para construcciones cercanas, o que se consideren dentro de la zona de influencia de las obras, las referencias de nivelación deben ser ubicadas en las colindancias de cada estructura, sobre el paramento, preferentemente en los elementos estructurales de apoyo, evitando, en lo mas posible, instalarlas en muros aislados ( bardas ) o muros que no sean de carga ( Fig. II.2.b ); es recomendable colocar al menos dos referencias por predio o tres para predios ubicados en los extremos de las calles; para predios con grandes claros frontales pueden tener una separación máxima de 10m entre cada referencia, es decir, "Palomas" intermedias a las colocadas en los vértices frontales (Fig. II.2.a).

El criterio de ubicación de "Palomas" sobre las estructuras propias de la obra está en función del tipo y tamaño, o de las necesidades, de cada obra.

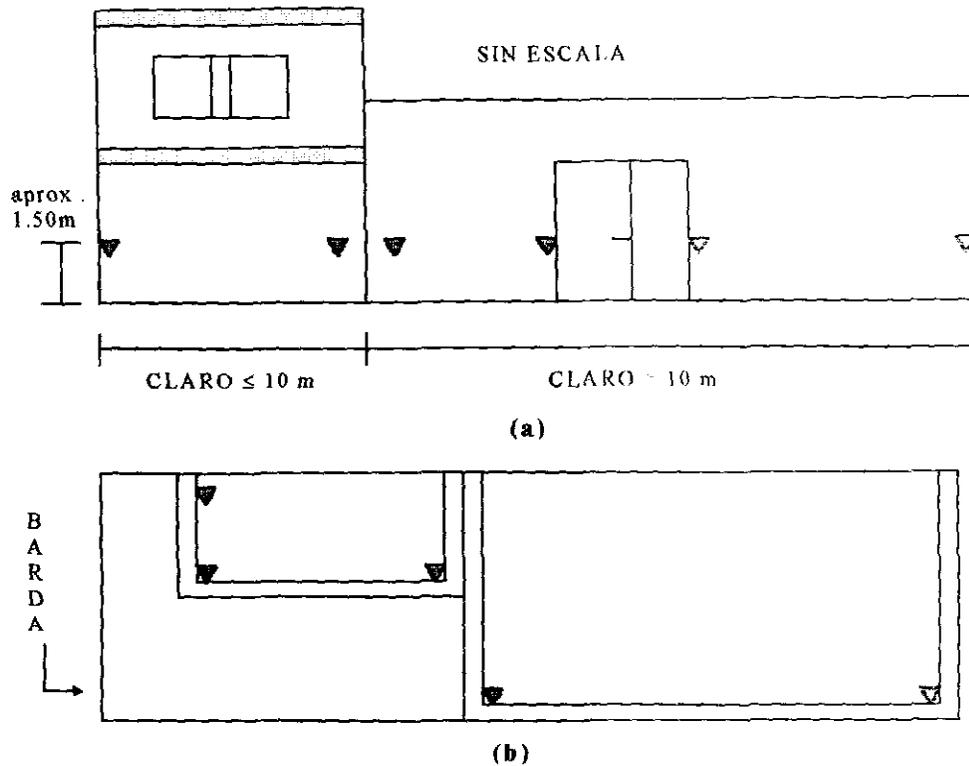


Figura II.2 Criterios de Ubicación de Palomas.

### II.3. INSTALACIÓN

Estas referencias deben estar instaladas previo al inicio de cualquier actividad de obra, con una anticipación de al menos 15 días, esto es con el fin de tener una serie de datos al momento de iniciar con la construcción de la obra. Para esto es necesario programar la instalación de estos elementos, ya que puede presentarse el caso de tener una obra muy grande o una serie de obras a instrumentar, llegando a presentarse el caso de "ahorcar" los tiempos, obviamente esto provoca que se inicie con el monitoreo después de iniciada la obra y no se tengan datos completos para su análisis. Aunado a esto, es indispensable que se cuente con el equipo topográfico adecuado y en perfectas condiciones para estos trabajos, y con los datos topográficos de campo (Cota o elevación del Banco de Nivel).

Este banco de nivel debe ser superficial con cota fija; es decir, elevación sobre el nivel medio del mar o arbitraria, la cual no cambiará con respecto al tiempo. Esto indica que no se debe tomar en cuenta el hundimiento regional que

afecta al banco, ya que, como se mencionó en el objetivo, el monitoreo involucra solo movimientos verticales locales de cada estructura; por eso es recomendable que este banco esté alejado de la obra, al menos 120m.

La instalación se inicia partiendo del banco de nivel, trasladando las cotas hasta llegar al lugar donde se requiere instalar la "Paloma", este traslado de cotas se realiza con el método altimétrico de topografía simple o por doble altura de aparato (Nivelación). En caso de que no se tengan niveletas en los estadales, es recomendable que, al hacer las lecturas, la persona encargada de colocar el estadal en los puntos de liga lo haga con el método de bombeo, es decir, el estadal se inclina lentamente hacia adelante y hacia atrás en dirección al nivel, en este método el Ingeniero topógrafo tendrá que registrar la lectura mínima.

Previo a la colocación de cada paloma se debe tener una área de forma cuadrada pintada de color blanco de 10 x 10cm, como mínimo, que servirá de fondo a la "Paloma", como se ilustra en la Figura II.1, esto es con el fin de detectarla rápidamente en campo.

Para conocer el lugar correcto donde se pintará el fondo, es preciso marcar el nivel de la "Paloma", o si se prefiere el perímetro; la marca se hace sobre la estructura con alguna punta de clavo o tornillo para evitar que desaparezca. Después se procede a pintar el fondo blanco. Ya preparado el fondo de la "Paloma", es necesario recheckar el nivel de esta, partiendo del banco de nivel superficial de origen hasta llegar al punto deseado; esto es con el fin de evitar errores en la colocación de la cota inicial y de distorsionar los datos, los cuales podrían confundirse con movimientos de la estructura en lecturas posteriores. Al haber corroborado que se tienen las marcas a la cota inicial deseada se procede a pintar la "Paloma" completa y los datos correspondientes.

Las "Palomas" deben ser colocadas aproximadamente a 1.50m arriba del nivel de banquetta o de terreno natural. Para facilitar la medición, el cálculo en campo y el procesamiento de datos en gabinete se recomienda colocar las referencias a una cota inicial cerrada al decímetro, para así de esta forma agilizar la circulación de datos acerca del comportamiento de la obra y zonas aledañas.

#### II.4. METODOLOGÍA TÉCNICA

Antes de continuar con los trabajos del monitoreo en las estructuras, es importante concientizar a la brigada topográfica de los objetivos, funcionalidad e importancia que estos representan para la obra, con el fin de que se apliquen en

su trabajo y tomen en cuenta que se requiere precisión milimétrica en la toma de lecturas, para así obtener datos confiables.

Ya instaladas las "Palomas" se procede con la toma de lecturas, partiendo siempre del banco de origen y cerrando el circuito en este mismo. Es importante que nunca se parta de otro banco para ejecutar las lecturas, ya que, aunque se encuentren en una misma zona y relativamente cerca, pueden tener diferentes asentamientos regionales y, por lo tanto, distorsionar la información. También es importante contar con una serie de bancos auxiliares o puntos de liga fijos que sean parte del circuito, los cuales se checaran constantemente. Es indispensable que el equipo topográfico sea checado diariamente para evitar incertidumbre en las lecturas; en párrafos posteriores se menciona un método de chequeo de nivel.

Las lecturas se realizan por medio de nivelaciones diferenciales simples o por doble altura de aparato, de tal forma que se obtenga la cota de cada una de las "Palomas" instaladas; o sea que, ya obtenida la altura de aparato se hace la lectura visando cada referencia y obteniendo el dato leído en el flexómetro; esta lectura se suma ó se resta, según sea el caso, a la altura de aparato y se obtiene la cota de la "Paloma"; en la Figura II.3 se ejemplifica este paso de obtención de datos. La recopilación de datos se lleva a cabo con una frecuencia previamente establecida, está en función del evento constructivo y del procedimiento constructivo, o sea del tipo de obra; aún así se recomienda que la frecuencia de recopilación de datos en estas referencias sea la siguiente:

- a) Deberá contarse con la primer lectura 15 días antes de iniciar cualquier actividad de la obra frente a las estructuras por nivelar; y una segunda lectura, al menos, 3 días antes de iniciar cualquier bombeo, en caso de existir este; de lo contrario se hace una lectura el día previo que se inicia la actividad de la obra.
- b) Dos veces por semana, como mínimo, durante las diferentes etapas del procedimiento constructivo de la obra y hasta tener estructurado al 100%. Está en función del comportamiento de cada estructura el hacer una o más lecturas al día, aún cuando ya esté terminada la obra, esto también está en función del criterio de la persona que esté analizando el comportamiento de las estructuras monitoreadas.
- c) Una vez terminada la estructuración de la obra, las lecturas se realizarán una vez por semana hasta que la velocidad de deformación sea de 1mm/sem o menor. Cuando suceda lo anterior la frecuencia de lecturas será de una lectura por mes.
- d) Las lecturas se suspenderán cuando la deformación tenga una velocidad de 1mm/mes o menor durante tres meses. Puede seguirse instrumentando la estructura de la obra con el fin de observar el comportamiento en condiciones

de servicio, siempre y cuando existan recursos para estos trabajos, o se pueden continuar con el fin de obtener una historia en cuanto al comportamiento de la estructura para su análisis geotécnico.

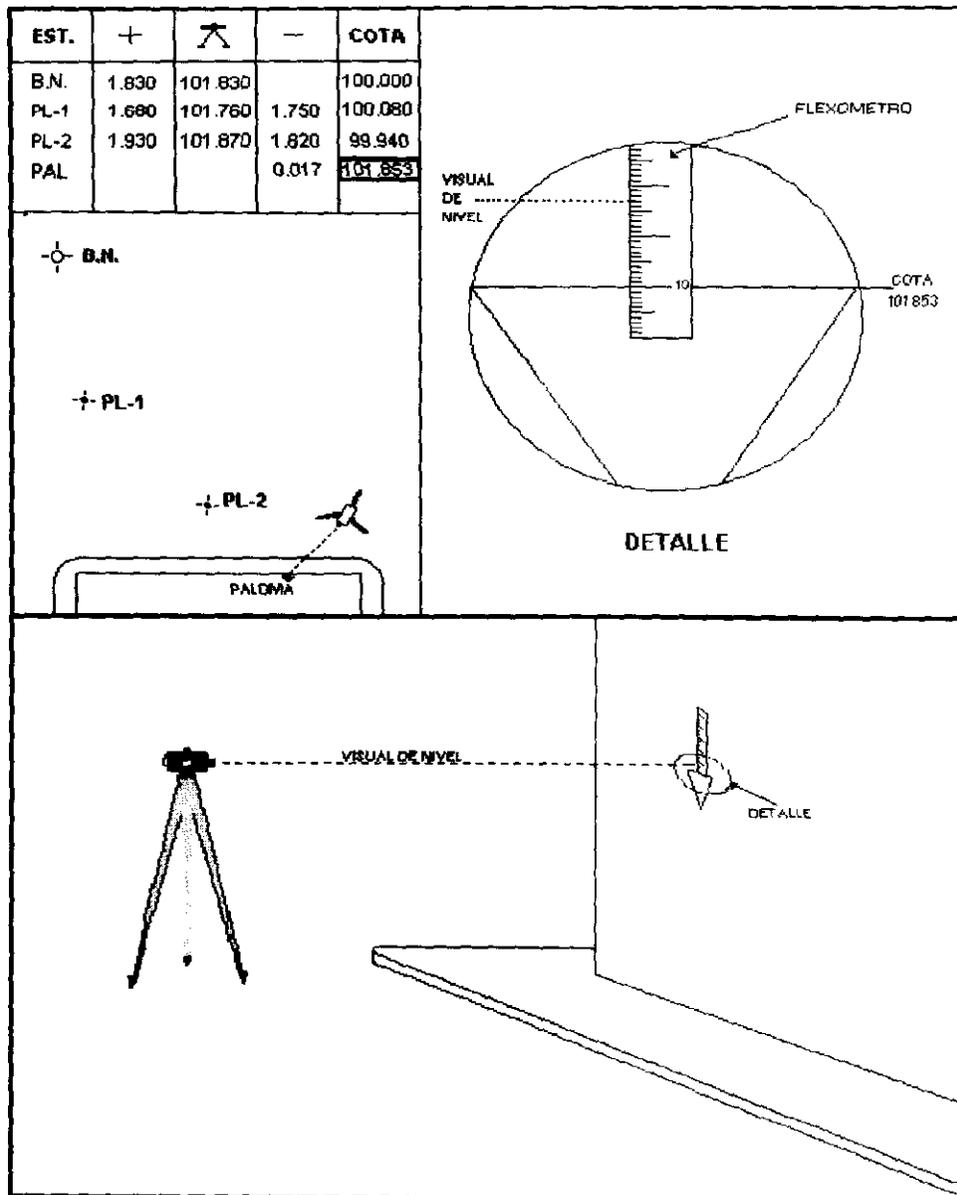


Figura II.3. Ejemplo de Toma de Lecturas en Palomas.

También es aplicable seguir lo siguiente:

<u>Etapa</u>	<u>Frecuencias</u>
Durante la construcción.	Diarias.
Terminada la construcción.	Semanales.
Si $\Delta < 1\text{mm/sem.}$	Mensuales.
Si $\Delta < 1\text{mm/mes.}$	Semestrales.
Si $\Delta < 1\text{mm/año.}$	Anuales.

Después de un sismo, es recomendable hacer mediciones de todas las referencias de nivelación con el fin de evaluar los daños ocasionados por estos, en caso de haberlos. Es importante se ejecute esta recomendación, ya que se pueden determinar los movimientos por sismo, sin confundirlos con movimientos internos de la obra.

Ya se mencionó que para ejecutar los trabajos de nivelación, tanto para la colocación como para el seguimiento, se procede a base de métodos de topografía (Altimetría), estos son comunes para monitoreo con "Palomas", como para Bancos de Nivel Flotante y Referencias Superficiales ( capítulos IV y VII, respectivamente ). A continuación se describen los métodos comunes para lecturas de topografía y chequeo de equipos de nivel.

## ALTIMETRÍA

En la propagación de elevaciones para el control vertical de la obra es necesario llevar a cabo nivelaciones topográficas de primer orden, usando la metodología de la nivelación diferencial a doble altura de aparato o simple; los cierres de circuito entre nivelaciones deben corresponder a la precisión de  $\pm 4 \text{ mm. } \sqrt{k}$ , donde k está dada en kilómetros, o si se efectúan nivelaciones menores de 100 mts. de longitud, se pueden aceptar hasta  $\pm 2 \text{ mm.}$  de diferencia en el cierre.

El equipo recomendable, está compuesto por niveles automáticos con una desviación estándar de  $\pm 0.7\text{mm.}$  en una nivelación doble, estadales de madera o de aluminio, longímetros de acero comparados y flexómetros, para el caso de la toma de lecturas de "Palomas". También se puede emplear equipo electrónico automático el cual despliega directamente la cota en pantalla de cada referencia.

La comprobación diaria del error del nivel debe ser estricta, ya que se mencionó que pueden arrastrarse datos falsos, al comprobar que existe algún

error en el nivel, se procede a ajustarlo de inmediato con el siguiente procedimiento ( Fig. II.4 ).

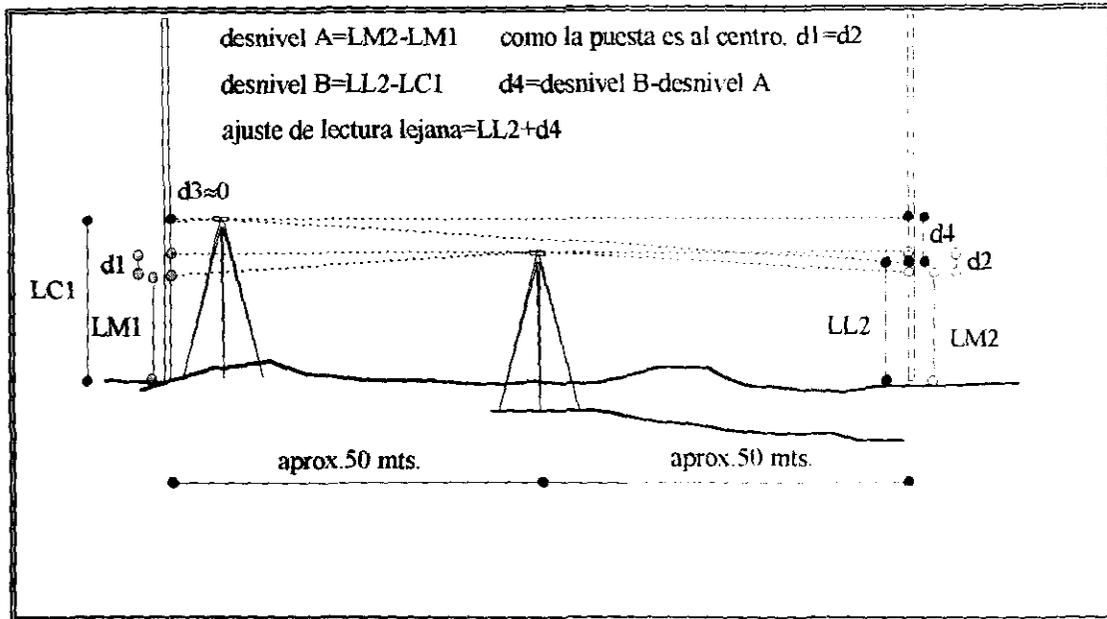


Figura II.4. Representación Gráfica del Ajuste de Nivel.

Estacionado el nivel en una superficie sensiblemente plana, se ubican a 50m aproximadamente, sobre puntos de liga, los dos estadales a cada lado del nivel y se efectúan las lecturas del hilo medio, se hace una segunda puesta del nivel para corroborar el primer desnivel entre puntos de liga; inmediatamente después, se lleva el nivel a estacionarse cerca de un estadal, observando las lecturas a cada mira, se hace una segunda puesta de aparato en este mismo sitio obteniéndose el segundo desnivel, este desnivel menos el primero corresponde al error de la línea de colimación del aparato, la corrección o ajuste se efectúa cuando esta diferencia se suma a la lectura del estadal más lejano, corriendo el hilo medio, esta acción se ejecuta con el punzón y el tornillo de ajuste del nivel hasta obtener la lectura calculada; después del ajuste, se hace de nuevo otra puesta de aparato a efecto de comprobar el primer desnivel. Para efecto de llevar un control de la comprobación diaria del error de nivel, se llena el formato de Ajuste del Nivel del cual se extrae la Tabla II.1 que ejemplifica el procedimiento de cálculo y ajuste del nivel.

Es preferible que los puntos de liga utilizados para este control queden bien ubicados para su posterior uso, dejándolos marcados con clavos de acero hincados en concreto y pintados con esmalte anticorrosivo.

P.O.	+	-	DESNIVEL	NOTAS
ESTACIÓN AL CENTRO				
A	2.152			
B		2.015	0.137	D1
A	1.987			
B		1.850	0.137	
ESTACIÓN CERCANA A UN ESTADAL				
A	1.760			ESTADAL CERCANO
B		1.618	0.142	ESTADAL LEJANO
A	1.706			
B		1.564	0.142	D2
$C_N = D2 - D1 = 0.142 - 0.137 = 0.005$				
AJUSTE EN LA VISUAL LEJANA $= 1.564 + 0.005 = 1.569$				
COMPROBACIÓN DEL AJUSTE				
A	1.706			
B		1.569	0.137	
A	1.683			
B		1.546	0.137	NIVEL CORREGIDO

Tabla II. 1. Ejemplo de Registro de Ajuste del Nivel.

El comparar entre sí la longitud de los estadales, con el fin de desechar los que difieran en más de 3mm en 4m y evitar posibles errores de lectura, es una operación que debe hacerse al inicio de los trabajos de instrumentación; para eliminar la corrección por índice de los estadales se procede al rol de estos, esto es que el que se visó adelante, en la siguiente estación se vise hacia atrás; haciendo que el estadal con que se inició la nivelación sea el mismo con que se cierre ( Fig. II.5 ).

Un ejemplo de registro de nivelación, el cual va a ser anotado en las libretas de nivel se ilustra en la Tabla II.2, debiendo calcularse el desnivel o las elevaciones al momento de efectuarse, desechar las que difieran en más de 2mm. en su cierre al banco superficial en nivelaciones menores a 150 mts., o en  $\pm 4mm \sqrt{k}$  donde k está dada en kilómetros, para nivelaciones de gran longitud.

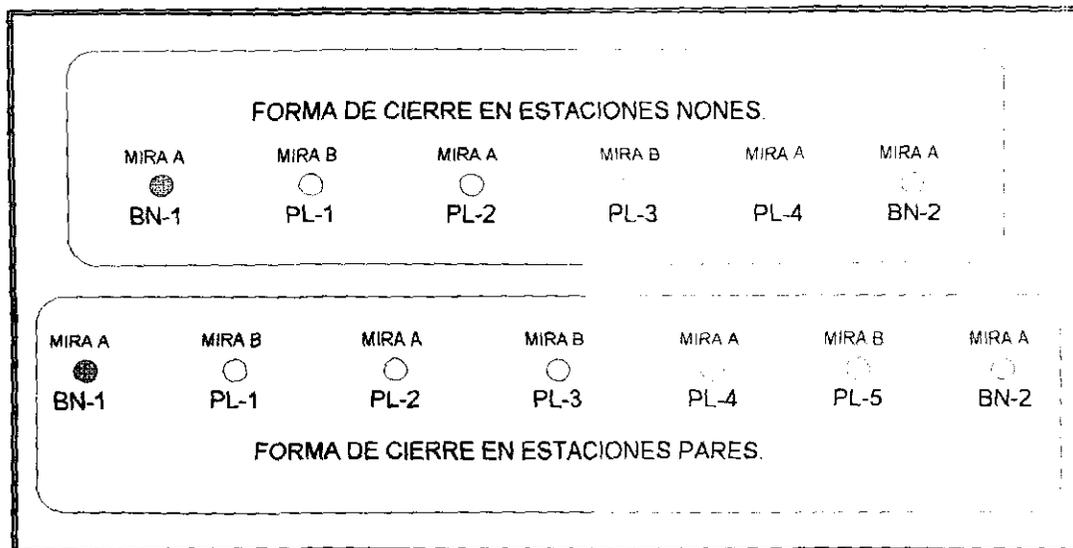


Figura II.5. Rol de Estadales.

P.O.	+	Altura Aparato	-	ELEVACIÓN
BNP-1	2.152	102.152		100.000
PL-1			2.015	100.137
BNP-1	2.034	102.034		100.000
PL-1			1.897	100.137
PL-1	1.782	101.919		100.137
PL-2			1.697	100.222
PL-1	1.809	101.946		100.137
PL-2			1.723	100.223
PL-2	1.668	101.890		100.222
BNZ-1			1.706	100.184
PL-2	1.604	101.826		100.222
BNZ-1			1.642	100.184

Tabla II.2. Ejemplo de Registro de Nivelación Diferencial a Doble Altura de Aparato.

La nivelación de "Palomas" se registra en libretas de nivel, las que tendrán una nomenclatura propia, que indique el título de instrumentación, tramo o frente y el número consecutivo de la libreta; con los datos medidos, el Ingeniero Topógrafo calculará inmediatamente en campo la elevación de todas y cada una de las "Palomas", para posteriormente vaciar directamente los datos

en los formatos correspondientes los movimientos verticales parcial y acumulado, evitando así, por medio de la comparación con nivelaciones previas, equivocaciones en las mediciones; además de poder detectar el comportamiento de la estructura que se esté nivelando.

Con el fin de tener un justificante a movimientos detectados por medio del monitoreo de las "Palomas", es importante llevar un control histórico y cronológico de las actividades de la obra; es decir, se debe tener, a la mano y actualizado, un listado que contenga fechas de ejecución de la obra en cada uno de los procedimientos constructivos. Esta información se tendrá que recabar directamente en campo por parte de la brigada de instrumentación, con la ayuda de los ingenieros supervisores y constructores. Es importante que no se descuide este punto, ya que puede darnos a conocer el procedimiento que está afectando a las estructuras y, por lo tanto, tener la base para poder evaluar y cambiar ese procedimiento constructivo en la obra, y en obras semejantes posteriores.

<b>TABLA DE EVENTOS DEL PUENTE CONTINENTES</b>							
<b>ZAPATA</b>		<b>HINCADO</b>		<b>EXCAVACIÓN</b>		<b>ACERO</b>	
<b>CAJÓN</b>	<b>EJES</b>	<b>INICIA</b>	<b>TERMINA</b>	<b>INICIA</b>	<b>TERMINA</b>	<b>INICIA</b>	<b>TERMINA</b>
MURO 1	1	02-MZO-95	03-MZO-95	07-MZO-95	10-MZO-95	17-MZO-95	21-MZO-95
C1	2	04-MZO-95	08-MZO-95	13-MZO-95	14-MZO-95	18-ABR-95	21-ABR-95
C2	3 Y 4	09-MZO-95	14-MZO-95	20-ABR-95	22-ABR-95	06-MAY-95	12-MAY-95
C3	5 Y 6	14-MZO-95	22-MZO-95	15-MAY-95	20-MAY-95	26-MAY-95	30-MAY-95
C4	7 Y 8	16-JUN-95	27-JUN-95	20-JUL-95	27-JUL-95	31-JUL-95	10-AGO-95
C5	9 Y 10	29-MAY-95	15-JUN-95	15-JUN-95	21 JUN-95	10-JUL-95	20-JUL-95
C6	11 Y 12	29-ABR-95	17-MAY-95	23-MAY-95	08-JUN-95	13-JUN-95	20-JUN-95
C7	13 Y 14	18-MAY-95	23-MAY-95	02-JUN-95	09-JUN-95	16-JUN-95	28-JUN-95
C8	15 Y 16	25-ABR-95	27-ABR-95	10-MAY-95	13-MAY-95	19-MAY-95	02-JUN-95
C9	17 Y 18	17-ABR-95	22-ABR-95	05-MAY-95	10-MAY-95	15-MAY-95	20-MAY-95
MURO 2	19	15-ABR-95	16-ABR-95	20-ABR-95	01-MAY-95	7-MAY-95	10-MAY-95

Tabla II.3 (1a. parte). Ejemplo de Relación de Eventos.

TABLA DE EVENTOS DEL PUENTE CONTINENTES					
ZAPATA		CONCRETO		COLUMNAS	
CAJON	EJES	INICIA	TERMINA	INICIA	TERMINA
MURO 1	1	23-MZO-95	23-MZO-95		
C1	2	24-ABR-95	24-ABR-95	09-JUN-95	19-JUN-95
C2	3 Y 4	17-MAY-95	17-MAY-95	21-JUN-95	03-JUL-95
C3	5 Y 6	02-JUN-95	02-JUN-95	29-JUN-95	13-JUL-95
C4	7 Y 8	11-AGO-95	11-AGO-95	16-AGO-95	06-SEP-95
C5	9 Y 10	21-JUL-95	28-JUL-95	10-AGO-95	23-AGO-95
C6	11 Y 12	28-JUN-95	28-JUN-95	17-JUL-95	14-AGO-95
C7	13 Y 14	08-JUL-95	14-JUL-95	19-JUL-95	07-AGO-95
C8	15 Y 16	07-JUN-95	07-JUN-95	24-JUN-95	11-JUL-95
C9	17 Y 18	25-MAY-95	25-MAY-95	16-JUN-95	23-JUN-95
MURO 2	19	12-MAY-95	19-MAY-95		

Tabla II.3 (2a. parte). Ejemplo de Relación de Eventos.

## II.5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.

Terminada la instalación de las referencias, es indispensable tener un dibujo o plano, en planta, de la ubicación de cada una de ellas, marcando su nomenclatura y refiriéndolas con respecto al cadenamiento y a los elementos estructurales del proyecto de obra; debe llevar además la orientación del norte y el número de niveles de los predios. En este dibujo o plano se deben plasmar los avances de obra respecto al tiempo; es decir, se irá actualizando, preferentemente al día, el avance de obra con sus respectivas simbologías, ver fig. II.6. Para tener al día los avances se pueden elaborar tablas de eventos según el tipo de obra y se actualizará diariamente para posteriormente trasladar estos datos a las gráficas y croquis o planos. En la Tabla II.3 se ejemplifica el seguimiento de eventos en la construcción del Puente Vehicular Continentes de la línea B del metro; esta información se puede complementar con tablas que contengan distancias del claro frontal de predios, distancias a excavación y

profundidades máximas de excavación frente a cada predio. Es necesario contar con esquemas y tablas donde se puedan observar la serie de Bancos de Nivel con sus circuitos de puntos de liga y sus respectivas elevaciones respecto al mar, así como de un listado donde se mencione los números de "Palomas" que están referidas a cada uno de los bancos de nivel.

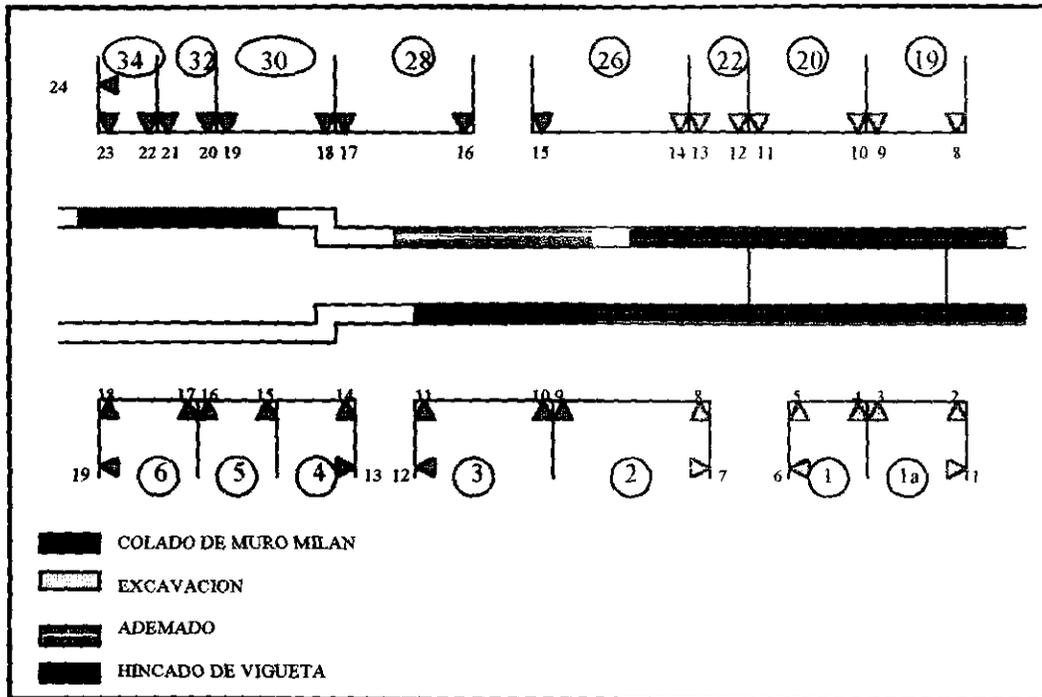


Figura II.6 Ejemplo de croquis de ubicación de Palomas y Avance de obra.

Para saber si existen movimientos o si se manifiesta alguna tendencia anormal del comportamiento de alguna estructura, se requiere de una serie de nivelaciones de las "Palomas" en diferentes fechas, con el fin de comparar las cotas de esas diferentes fechas respecto a la cota inicial de la referencia correspondiente, y así poder conocer la velocidad de deformación del terreno bajo alguna estructura y el movimiento diferencial de la misma.

Con objeto de llevar un control organizado de la historia de nivelaciones en cada estructura, es fundamental registrar las cotas, de las "Palomas", obtenidas en las libretas de campo; vaciando esta información a los Formatos de Registro Numérico de Nivelaciones ( Formato 1 ). Este formato está adecuado para el registro numérico de cualquier tipo de nivelación, en el se contienen datos numéricos que al acumularse se cumple con el objetivo de tener una historia de nivelaciones.

Para el llenado del formato de registro numérico, se debe contar, evidentemente, con los valores de las cotas de cada referencia en sus diferentes fechas de nivelación, y se compone de los siguientes elementos:

- ♦ **ESTRUCT** ⇒ En esta columna se especifica el tipo de estructura nivelada, como puede ser número del predio, razón social del predio, número de eje en un puente, número de zapata en un puente, número de muro en línea metro, cadenamiento de losa, etc. En fin, algo que identifique a la estructura.
- ♦ **REF** ⇒ En esta columna se coloca el número de referencia, esta debe corresponder a la nomenclatura en campo y a lo respectivo en los planos de ubicación de estas referencias; con esto se asegura que correspondan a la estructura mencionada, ya que podrían existir "Palomas" con el mismo nombre, pero colocadas en diferentes estructuras.
- ♦ **COTA** ⇒ En esta columna se pondrán las cotas calculadas que corresponden a cada "Paloma". Estas cotas son las obtenidas del cálculo en las libretas de nivel.
- ♦ **DP** ⇒ Diferencia Parcial. Esta es aquella cuyo valor es el resultado de la diferencia de la cota de la lectura actual (última ) con la cota de la lectura anterior, no importando el número de días que exista entre estas.
- ♦ **DA** ⇒ Diferencia Acumulada. Esta es aquella cuyo valor es el resultado de la diferencia de la cota de la lectura actual (última ) con la cota de la lectura inicial, no importando el número de días que exista entre estas.

Como se puede observar a cada fecha le corresponde una lectura de COTA, DP y DA, por lo tanto, se colocará cada valor a la fecha correspondiente. Así mismo en cada fecha se colocará el nombre del Ingeniero Topógrafo que ejecutó la lectura, esto es en el caso que exista el procedimiento de rol de brigadas.

Para facilitar el cálculo de las diferencias acumulada y parcial, se requiere que los valores de estas se registren en milímetros.

En el formato 1 se ilustra un ejemplo de su llenado, este ejemplo se puede tomar, para este inciso, como ejemplo de un ejercicio completo.

## METROPOLITANO "LINEA B" TRAMO BUENAVISTA - GURRERO REGISTRO NUMERICO DE NIVELACIONES

FRENTE: \_\_\_\_\_

ESTRUCT.	REF	COTA	D/P	D/A	COTA	D/P	D/A	COTA	D/P	D/A	COTA	D/P	D/A			
PREDIO 1a	1	30.000	0	0	30.001	1	1	29.998	-3	-2	29.994	-4	-6			
	2	30.000	0	0	29.995	-5	-5	29.990	-5	-10	29.986	-4	-14			
	3	30.000	0	0	29.996	-4	-4	29.992	-4	-8	29.988	-4	-12			
PREDIO 34	22	30.000	0	0	30.002	2	2	30.005	3	5	30.008	3	8			
	23	30.000	0	0	30.003	3	3	30.007	4	7	30.010	3	10			
	24	30.000	0	0	29.999	-1	-1	29.998	-1	-2	29.999	1	-1			
		(INICIAL)														
FECHA:	27-ENE-96				02-FEB-96				13-FEB-96				18-FEB-96			
NIVEL:	ING. JOSE PEREZ				ING. JOSE PEREZ				ING. JOEL GLEZ.				ING. JOSE PEREZ			
ESTRUCT.	REF	COTA	D/P	D/A	COTA	D/P	D/A	COTA	D/P	D/A	COTA	D/P	D/A			
PREDIO 1	1	29.993	-1	-7	29.993	0	-7	29.992	-1	-8						
	2	29.985	-1	-15	29.984	-1	-16	29.988	4	-12						
	3	29.987	-1	-13	29.987	0	-13	29.987	0	-13						
PREDIO 34	22	30.008	0	8	30.007	-1	7	30.006	-1	6						
	23	30.011	1	11	30.010	-1	10	30.009	-1	9						
	24	30.000	1	0	29.999	-1	-1	30.001	2	1						
FECHA:	25-FEB-96				03-MZO-96				10-MZO-96							
NIVEL:	ING. JOSE PEREZ				ING. JOSE PEREZ				ING. RAUL FDZ.							
NOTAS:	-D/A: DIFERENCIA ACUMULADA.								-D/P: DIFERENCIA PARCIAL							
	-LAS DIFERENCIAS SE TABULARAN EN MILIMETROS															

Formato 1. Registro Numérico de Nivelaciones

Con los datos obtenidos de las diferencias acumuladas se pueden elaborar gráficas Deformación-Tiempo, anexando gráficamente la historia del procedimiento constructivo de la obra. Estas gráficas deben tener los elementos

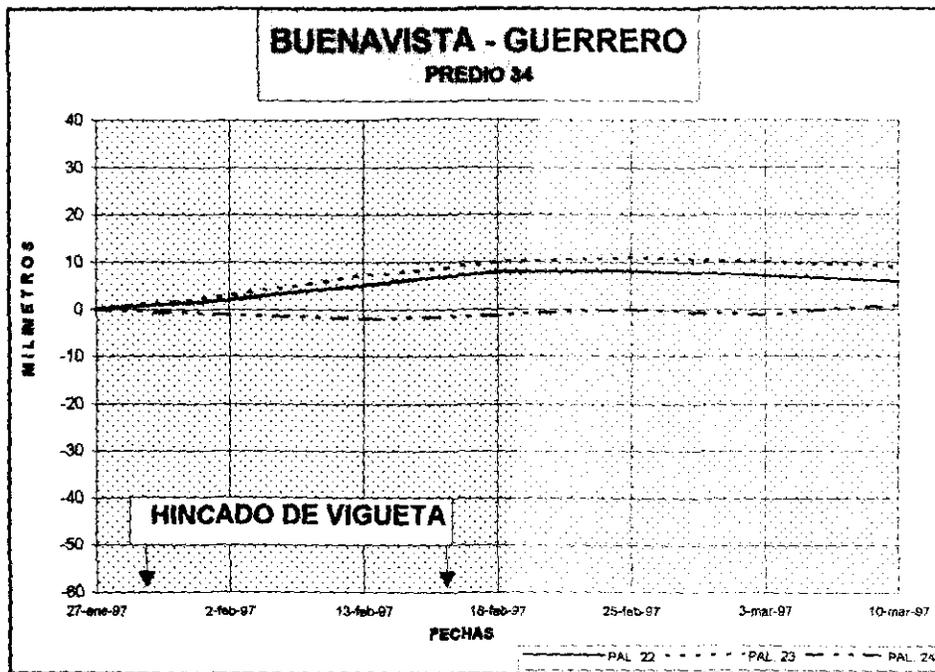


Figura II.7. Gráficas de Palomas

En el caso de tener una serie de "Palomas" a lo largo de una calle, de un puente o de una línea, se deben elaborar perfiles de deformación contra el cadenamiento. En estos perfiles se grafican las deformaciones acumuladas, puntualizando la deformación en el cadenamiento donde se ubica cada referencia y haciendo una línea por cada fecha, procurando no exceder de 10 fechas en un perfil, ver figura II.8. Se debe iniciar con una línea de cero para todas las referencias, no importando la cota de arranque de cada una de ellas. En estos perfiles se debe anexar el avance gráfico de obra.

Se debe tener un archivo de todos estos datos tanto en formatos como en computadora.

## II.6. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

La interpretación de los resultados se presenta por medio de la observación de los resultados, en donde la gráfica indica los movimientos resultantes. Estos movimientos deben tener siempre un justificante, es decir, debe existir una lógica del porqué se presentan estos. Para lograr esto se deben conjuntar y asociar los datos de las diferencias acumuladas con los eventos o actividades de la obra.

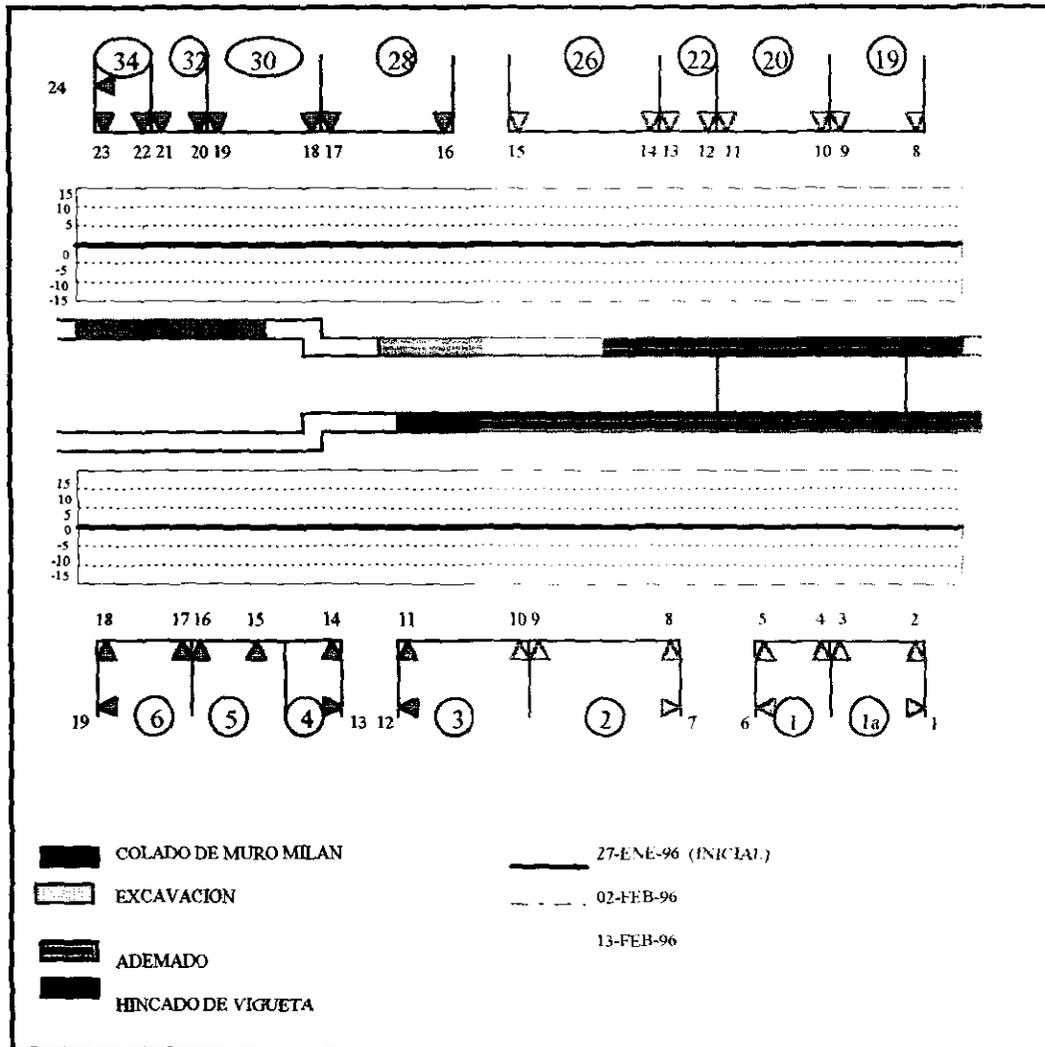


Figura II.8. Esquema de Perfiles en Calle.

Pueden existir errores de lecturas, esto se puede detectar cuando existen movimientos sin justificante alguno, o sabiendo que existe algún evento de la obra que no afecta a la estructura, sin embargo pueden ser movimientos verídicos; en estos casos se recomienda que se repitan las lecturas en los puntos de incertidumbre, con el fin de cerciorarse y aceptar como válida dicha lectura.

De las gráficas de la figura II.7 se puede comentar lo siguiente :

Si observamos en estas gráficas las Palomas 22 y 23 presentan un comportamiento en expansión, es decir, un movimiento ascendente con una velocidad de deformación de +3 mm/sem. que, analizando las actividades de obra, es provocado por el hincado de las viguetas, la Paloma 24 se mantiene estable aunque se encuentra en el mismo predio, esto indica que la influencia del

hincado no alcanza a esta Paloma provocando evidentemente un movimiento diferencial en el predio; este predio presenta subsecuentemente una estabilización de las referencias al momento en que se concluye la actividad, tendiendo a la recuperación de la expansión a largo plazo . En la graficación de las Palomas 1, 2 y 3, se puede observar que están reflejando un movimiento de hundimiento, es decir, un movimiento descendente con una velocidad de deformación de -5 mm/sem promedio de cuya asociación con los eventos, se concluye que esta deformación es provocada por la excavación frente a estas referencias. Posteriormente este asentamiento va disminuyendo cuando termina el proceso de excavación.

Es claro observar en este ejemplo, que las actividades de la obra están afectando a los predios adyacentes, es decir, los movimientos se justifican por los eventos de la obra. Sin embargo existen movimientos no justificables, o no siempre existen movimientos durante los procedimientos constructivos. Por tal motivo, al existir movimientos que provoquen incertidumbre, es importante que la brigada encargada de la toma de lecturas realice una lectura adicional en dichas "Palomas" ese mismo día.

Es posible hacer un análisis profundo de cada referencia, en donde se pueden obtener tantos puntos de vista como personas lo analicen; sin embargo, siempre se tendrá que llegar a un acuerdo siguiendo la lógica del comportamiento del suelo en relación a los eventos de cada obra, y que las personas que lo hagan tengan criterio analítico en suelos, para este análisis se deben tomar en cuenta todos los elementos como pueden ser: el tipo de suelo en que está desplantada la estructura, el tipo de cimentación, el número de niveles o altura, el peso de la estructura, etc.

# SISTEMAS DE PLOMEO

### III. SISTEMAS DE PLOMEO ( MENSULAS ).

#### III.1. OBJETIVO

Los sistemas de plomeo tienen el objetivo de monitorear o llevar un control de posibles desplomes o inclinaciones que pudieran tener las estructuras de la obra y/o edificaciones de más de tres niveles cercanas a ésta; en caso de tener edificaciones el monitoreo debe iniciarse previo a cualquier actividad de la obra, en caso de estructuras de la obra deberá ser inmediatamente después de su construcción a fin de contar con un historial de movimientos en desplome de las estructuras antes, durante y después de ejecutada dicha obra; es decir, conocer los desplomes iniciales, si los hubiera, de las estructuras y los desplomes por efecto de la obra, su dirección y sentido.

Para poder detectar estos movimientos se deben colocar elementos rígidos empotrados en la parte superior de la estructura, preferentemente en cada extremo de esta. Estos elementos rígidos pueden ser perfiles de fierro o ménsulas, en algunos casos se pueden utilizar elementos de la propia estructura, como ejemplo podrían ser las salientes de la fachada de algún edificio. Como elementos rígidos para este tipo de control, en la practica se han utilizado las ménsulas de fierro, obteniéndose buenos resultados. Así en este capítulo se les llamarán "Ménsulas" a los elementos que se utilizan para cumplir con el objetivo que menciona este capítulo, conjuntándolos con las referencias y trabajos topográficos para crear el sistema de plomeo.

Lo mencionado no indica que obligadamente se instalarán "Ménsulas" como los elementos rígidos que el sistema requiere.

Para lograr obtener los desplomes de cierta estructura se debe aplicar alguno de los métodos que se señalan en el inciso III.4

#### III.2. DESCRIPCIÓN

El sistema de plomeo es aquel que involucra elementos y actividades cuyo fin es detectar inclinaciones o desplomes de las estructuras y sus incrementos o decrementos respecto al tiempo. Estos elementos son :

- Ménsulas.
- Referencias Topográficas.
- Tránsito o Plomada (según el método).
- Flexómetro.
- Base coordenada (aplicable a los Métodos Coordinados).

**Ménsulas.**- Son elementos rígidos que se colocan en la parte superior de las estructuras por medio de un sistema de fijación que garantice su rigidez o inmovilización, las cuales deben tener una punta de clavo o tornillo soldado, una referencia topográfica, un orificio ó un ganchillo en el extremo suelto (según el método a utilizar). Estas ménsulas están integradas a base de solera de 2" de ancho y 1/4" de espesor. Se recomienda que la distancia "d", del punto de referencia que se colocará en el extremo suelto y el paramento, sea mayor a una distancia de 50 cm.

No se puede dar un método para el sistema de fijación, en este caso se fijará la mensula de acuerdo se presente la complejidad o facilidad de su colocación en la parte superior de la estructura a monitorear; aunque se recomienda se haga por medio de taquetes y tornillos, se puede utilizar soldadura, un mogote de concreto o algún sistema más complejo. (Fig. III.1).

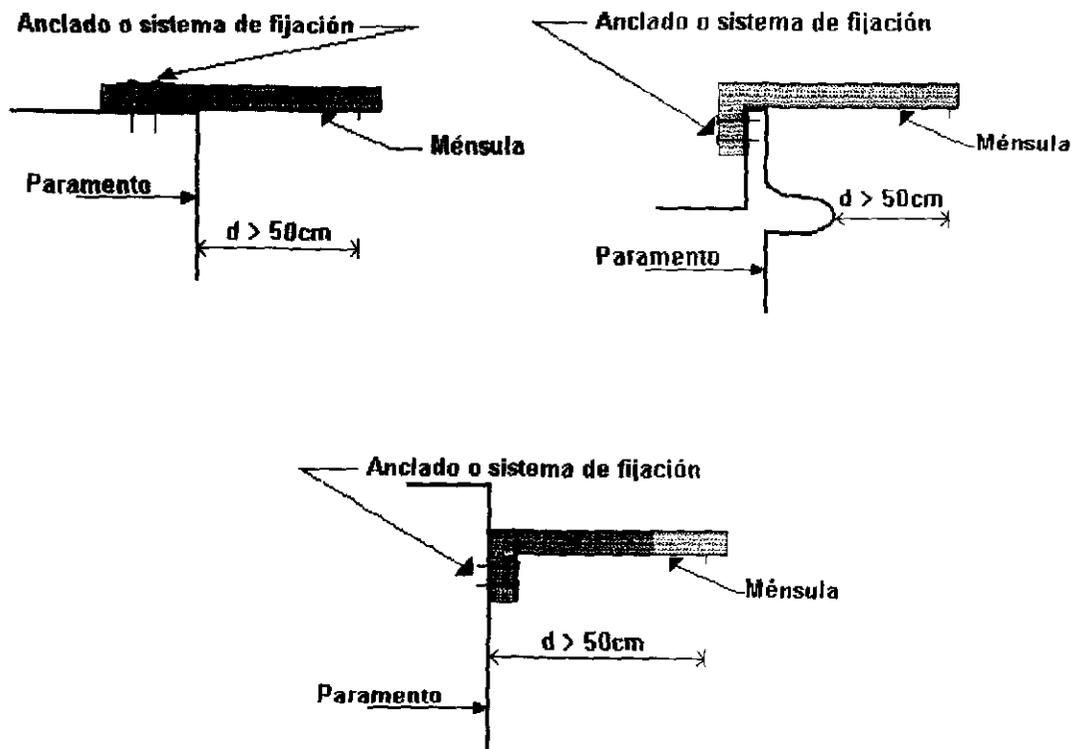


Figura III.1. Ejemplos de Formas de Sistemas de Fijación.

Referencias Topográficas.- Estas son marcas de pintura, clavos, estacas o alguna marca fija sobre el terreno o banqueta, que son utilizadas como puntos fijos donde se referencian las marcas fijas del extremo suelto de las ménsulas y la referencia de partida, esta última en caso que se utilice el método con tránsito; deben estar colocadas de forma colineal con respecto al punto de partida donde se centrará el aparato. Ver la Fig. III.2.

Las referencias pueden ser colocadas sobre la parte baja de las estructuras:

- a) Alternadamente, con el fin de checar los movimientos parciales que se leen en las referencias del piso; con estas referencias se puede conocer el desplome total de la estructura.
- b) Como referencias únicas, conociendo desplomes totales directos, teniendo que calcular el movimiento parcial.

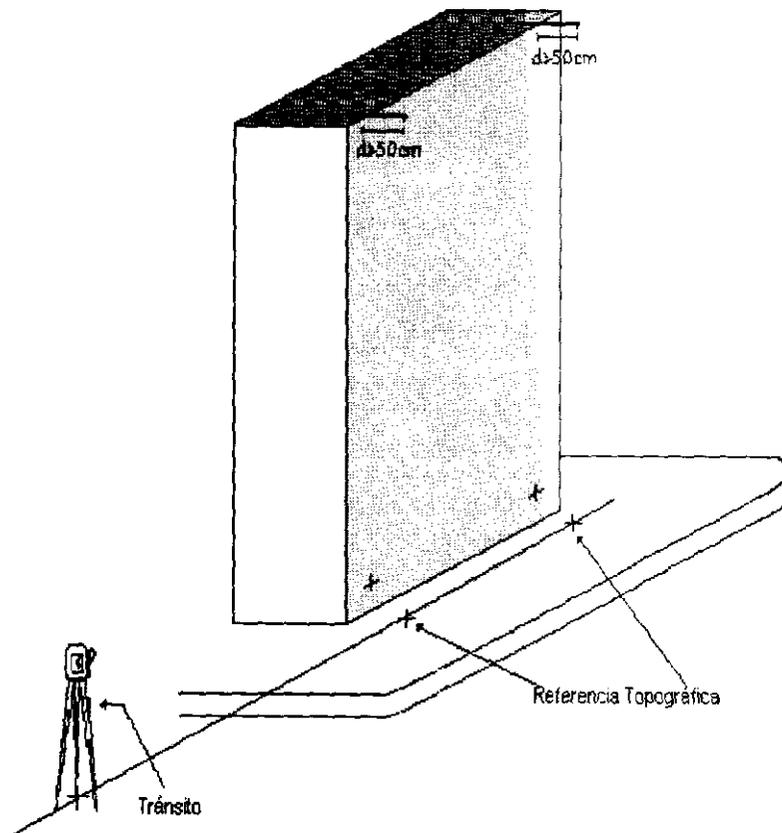
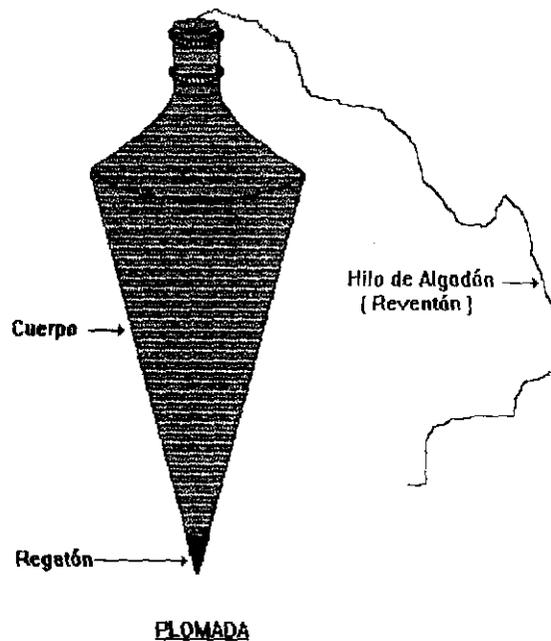


Figura III.2. Ubicación de Referencias Topográficas.

Tránsito ó Plomada.- Son los elementos base con los cuales se ejecutan las lecturas directamente.

El tránsito es un aparato topográfico que trabaja bajo principios ópticos, en algunos casos electrónicos, de alta precisión (como ejemplo, el tránsito o teodolito Wild modelo T-1), con el cual se podrán conocer los movimientos en desplome de forma precisa, al milímetro; con este tipo de aparato es posible determinar planos verticales en el espacio, lo cual nos dará oportunidad de trasladar las referencias desde la parte superior de alguna estructura hasta el nivel de terreno natural. La ventaja de este aparato es que se pueden ejecutar las lecturas desde el nivel de terreno natural sin tener que trasladarse a la parte superior de las estructuras.

La plomada es un accesorio topográfico de metal ( aleación ), con diferentes pesos, que varían de 6 a 24 onzas, con forma paraboloides, la cual tiende de un hilo ( reventón ) de algodón de alta resistencia. Este accesorio se tira de la parte superior de forma tal que cae verticalmente y es posible determinar los desplomes directamente, en este sistema existe la desventaja de que si se van a tomar desplomes de alguna estructura muy alta debe tirarse la plomada desde la parte superior ( en la mensula ) hasta el nivel de terreno natural, teniendo que subir a la parte superior de cada estructura para ejecutar las lecturas. Esto independientemente de la dificultad de mantener estable la plomada por efecto del viento.



Flexómetro.- Es un accesorio de medición con precisión de 1mm., este elemento es comúnmente conocido como "metro" ; no existe una medida específica de

estos elementos, sin embargo, para facilitar la lectura con el aparato de medición, es común utilizar flexómetros de 2.5 cm. de ancho por 5 m. de longitud.

Base Coordinada.- Es una base de superficie plana y rígida, como podría ser una placa de acrílico o aluminio, en la cual se trazan los ejes coordenados, uno de ellos paralelo al plano vertical de la estructura, se pueden dibujar círculos concéntricos equidistantes, para hacer más precisa la lectura. Con esta base y la ayuda de una plomada y un flexómetro se pueden conocer la magnitud, orientación y sentido de los desplazamientos en desplome de alguna estructura por efecto de la obra.

### III.3. INSTALACIÓN

En las construcciones de tres niveles o más, o edificaciones con más de 7m. de altura ubicadas paralelamente y a lo largo de la obra, se deberán instalar ménsulas, fijándolas correctamente en las azoteas o donde lo permita la edificación; también en aquellas estructuras de la propia obra que se requiera conocer su desplome y comportamiento de este durante y después de ejecutada dicha obra. Para el caso de las edificaciones, se debe tener cuidado de no confundir el paramento con alguna saliente o parte artesanal de la fachada.

Previo al inicio de los trabajos, y en el caso de monitoreo en edificaciones, es fundamental tener detectadas todas aquellas a las que se dará este tipo de control, debiendo obtener datos tales como altura, tipo de edificación, tipo de cimentación y número de niveles de la edificación. Así también se deben tener definidos el método a usar para la toma de lecturas (monitoreo), y el tipo de marca fija que se utilizará en el extremo suelto de la mensula, así como la distancia de ésta al paramento, la cual debe ser igual en cada una las ménsulas colocadas en la edificación. Se deben instalar, como mínimo, dos ménsulas en cada estructura, una en cada extremo.

Ya definidos el método a seguir y el tipo de marca en el extremo, se procede a la instalación de la mensula ( el sistema de fijación estará en función de la dificultad que presente la edificación, ya sea para tener acceso a ella, o por problemas estructurales, basándose a lo mencionado en III.2 ) y a la instalación de referencias topográficas, estas últimas son las referencias de la proyección vertical de las marcas fijas en el extremo de la mensula, sobre el nivel de terreno natural. La colocación de estas referencias es obligada, no importando el método de lectura a seguir.

Para la instalación de las referencias superficiales se procede como sigue:

1. Se fija la mensula.
2. Se toma la distancia del paramento a la marca fija. "d".
3. De este punto se deja caer una plomada hasta el nivel de terreno natural.
4. Cuando la plomada esté totalmente estática se marca el lugar puntual donde toca el extremo inferior del regatón.
5. Se instala la referencia definitiva sobre el terreno natural, si este es de concreto o asfalto se recomienda meter un clavo de 1 1/2" para concreto, que preferentemente quede a un centímetro abajo del nivel de terreno natural, con el fin de evitar que se pierda el punto, pintando marcas guías que indiquen el centro para su fácil localización en campo; si es terracería se clava una estaca y sobre esta el clavo de concreto "A".

Estos pasos se ejecutan en todas y cada una de las ménsulas, instalando respectivamente las referencias superficiales.

Si se conoce la distancia "D" se pueden conocer la magnitud y sentido del desplome inicial (DI) de la edificación en cada uno de sus extremos, la magnitud del desplome inicial es la diferencia de la distancia referencia-paramento (D) y la distancia de la marca en el extremo-paramento (d) Figura II.3. Es decir

$$DI = D - d$$

Existen diferentes criterios respecto al sentido del desplome, puede tomarse en función de la orientación del norte o se pueden considerar valores positivo y negativo. Por ejemplo, si el desplome se carga en la dirección perpendicular y hacia la parte frontal de la estructura se considera positivo, o negativo en caso contrario. Estos valores se incrementarán o decrecerán cuando se sumen algebraicamente las diferencias parciales obtenidas en las lecturas de cada una de las ménsulas, o bien se puede conocer el valor total del desplome directamente, esto se explica en III.4. El criterio a utilizar para conocer el sentido del desplome también está en función del método que se aplique para la toma de lecturas.

Es de suma importancia, checar que las referencias de las mensulas y las de piso (A, B y C) se encuentren en el mismo plano vertical, es decir, que sean colineales; de ello depende obtener datos precisos y verídicos.

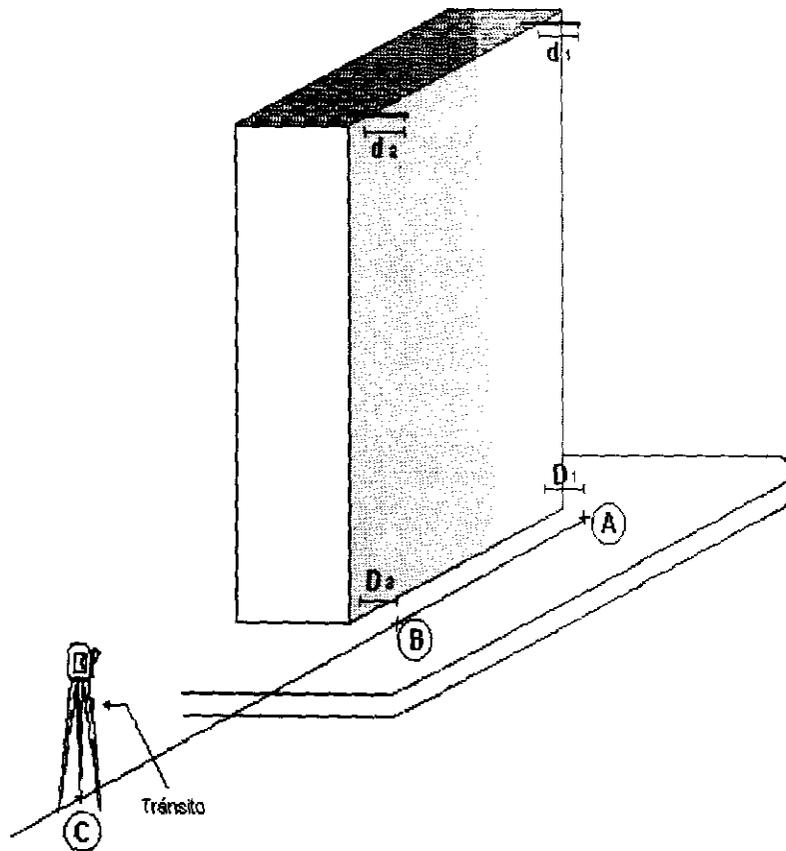


Figura III.3. Esquematiza las Referencias y sus Distancias.

### III.4. MÉTODOS DE PLOMEO

Se explicará brevemente la metodología a seguir para conocer los desplomes inicial, parcial y/o total, así como la secuencia de toma de lecturas, con los métodos más comunes. Los dos métodos y sus variables que a continuación se mencionan se hacen con el fin que las empresas apliquen el más adecuado, en función a las circunstancias, recursos y/o necesidades de la obra.

#### III.4.1. PLOMEO CON PLOMADA

Con este método se pueden conocer, en forma directa, los desplomes o inclinaciones iniciales en las estructuras o edificaciones de la obra o de las zonas aledañas, así como el seguimiento de estos; es la forma tradicional en que se

pueden conocer tales inclinaciones de las estructuras y es ejecutado por medio de elementos básicos como son plomada y flexómetro; es posible conocer la dirección de desplome y en caso de ser necesario, su orientación.

La instalación de ménsulas y colocación de las referencias fueron mencionadas en el inciso III.3.; por lo anterior la metodología partirá de este punto y a continuación se explica :

1. Colocando el extremo del reventón sobre la marca fija del extremo suelto de la mensula ( Ganchillo ) se deja caer la plomada hasta el nivel de terreno natural.
2. Se espera hasta que esté estática y se marca el punto en donde toca la punta del regatón.
3. En este punto se coloca un clavo de  $1\frac{1}{2}$ " de longitud para concreto, a 1cm bajo nivel de terreno natural (banqueta de concreto o asfalto) o se coloca una estaca y sobre esta el clavo mencionado (terracería). Es recomendable pintar la cabeza del clavo color amarillo.
4. Se pintan 4 líneas dirigidas a este punto, en forma de cruz (sobre banqueta), preferentemente remarcadas en forma de canal sobre el concreto (color rojo), para referenciarlo.
5. Se toman los valores de las distancias "d" y "D" cuya diferencia arroja el valor del desplome inicial ( DI ), ver fig. III.3.
6. Repitiendo los pasos 1 a 2 y tomando la distancia del punto donde toca la punta del regatón y la referencia colocada se conoce la diferencia parcial, ésta sumada algebraicamente al DI dará el valor del desplome total actual, tomando en consideración lo mencionado en III.3. respecto al sentido; así consecutivamente se puede dar seguimiento al monitoreo en desplome.
7. En caso de ser necesario dar orientación al desplome, las líneas mencionadas en el punto 4 se tomarán como ejes coordenados ( fig. III.4. ) de tal forma que se orientará una de ellas al norte, lo anterior es posible hacerlo con métodos y cálculos topográficos. Así la diferencia parcial mencionada en 6 será una resultante ( nuevas coordenadas ) que mediante sus componentes se podrá calcular la orientación de este desplome. Otra forma de medir la magnitud de la resultante, es trazar sobre una superficie rígida (placa de acrílico, aluminio, etc.) los ejes coordenados los cuales coincidirán con la orientación del punto y su origen con el punto de referencia; también se trazarán círculos concéntricos a distancias preestablecidas, las cuales nos darán la distancia parcial al momento en que el regatón de la plomada toque esta superficie, procediendo con el cálculo de la orientación, si fuese necesario.

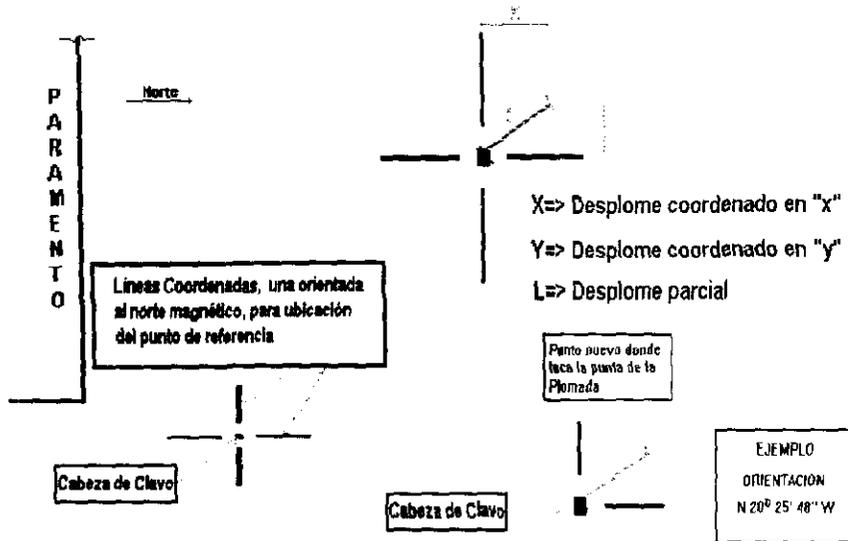


Figura III.4. Sistema Coordinado para Orientación de Desplomes

En caso que el viento evite la estabilización de la plomada se pueden utilizar métodos para estabilizarla; como ejemplo, se puede colocar un bote de aluminio cuyo contenido sea alguna sustancia densa como aceite de motor o un cajón de acrílico; pudiéndose así tomar la lectura.

Este método tiene la desventaja de requerir una persona en la parte superior de la estructura ( zona de mensula ) sujetando el extremo del reventón, muchas veces son lugares inaccesibles o se tiene una estructura muy alta de tal modo de requerir gran longitud del reventón, en caso que los vientos sean fuertes difícilmente se podrá estabilizar distorsionando la lectura.

### III.4.2. PLOMEO CON EQUIPOS TOPOGRÁFICOS

Con este método es posible obtener, en forma directa y con rapidez, los desplomes o inclinaciones iniciales en las estructuras o edificaciones de la obra y zonas aledañas, así como el seguimiento de estos; es el método más utilizado en las obras por requerir elementos que comúnmente se encuentran en ellas, además de requerir un menor número de personal que en el método con plomada; existen dos equipos con los cuales se puede ejecutar éste método: el tránsito, que es un equipo de elemental uso en toda obra de infraestructura; la plomada óptica, es un aparato que no se utiliza normalmente en este tipo de

obras, sin embargo es un equipo muy útil para estos trabajos (por ejemplo, Plomada Óptica marca Wild modelo ZBL-16). Con los dos equipos mencionados es posible conocer la dirección de desplome y en caso de ser necesario, su orientación. A continuación se describe el método para dar continuidad a las lecturas con cada uno de los equipos, partiendo del hecho que ya se encuentran instaladas tanto las ménsulas como las referencias a nivel piso, así como el desplome inicial explicado en III.4.1. Destacando, que por medio de este método también es posible obtener desplomes iniciales.

#### - Con Tránsito.

1. Se parte, colocando el aparato nivelado y centrado en la referencia (C), ya instalada.
2. Se visualiza la referencia colocada en el extremo suelto de la mensula haciéndola coincidir exactamente con la línea de colimación vertical del tránsito y se asegura la inmovilidad de éste en el sentido horizontal.
3. Se mueve la visual del tránsito hacia la referencia en piso, la cual deberá coincidir con línea de colimación vertical del aparato, dado que estas referencias son colineales (fig, III.5. ). En caso que no se dé lo anterior, se procede a tomar la distancia entre la línea de colimación del aparato y la referencia en piso, al milímetro; esta distancia representa la diferencia parcial, que sumada algebraicamente al DI dará el nuevo desplome total.

#### - Con Plomada Óptica.

1. Se inicia, visualizando céntricamente con la plomada óptica, la marca fija en el extremo suelto de la mensula, por ejemplo "a" de fig. III.5., cerciorándose que el tripie esté completamente estable y la plomada nivelada.
2. Posteriormente se visualiza, con la mira a 180°, la referencia sobre piso (punto "A"), ésta mira debe coincidir céntricamente con este punto; lo anterior es en virtud de saber que las referencias en piso son la proyección vertical exacta en plomo de las marcas fijas.
3. Es indicativo de un desplome diferente al inicial, el hecho que no se cumpla el punto anterior; por lo tanto se procede a tomar la distancia entre el punto céntrico de la mira y la referencia sobre piso "A", al milímetro; esta distancia representa la diferencia parcial, que sumada algebraicamente al DI dará el nuevo desplome total.

Este método cuenta con la ventaja de poder tomar directamente la lectura de diferencia parcial de cada una de las ménsulas de la estructura, sin la necesidad de referencias topográficas auxiliares y de ser, evidentemente, un método rápido; sin embargo, como se mencionó, no es un aparato de uso común.

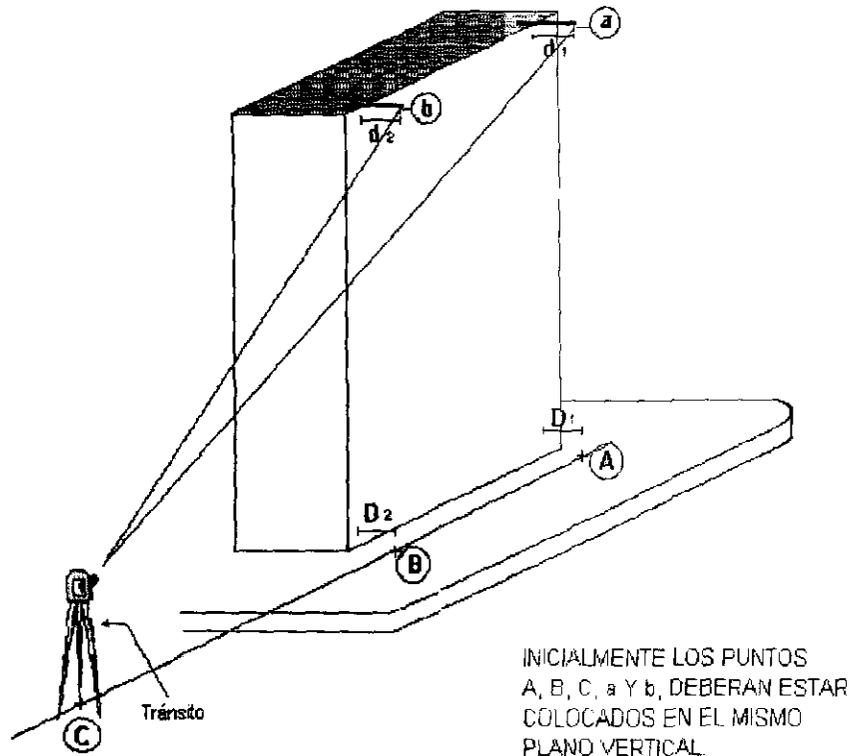


Figura III.5. Lectura con Tránsito

La repetición de estos puntos dará a conocer los desplomes parciales y/o totales respecto al tiempo; es decir, con esta metodología se puede dar continuidad al monitoreo de desplomes, obteniendo respecto al tiempo un historial del comportamiento de cualquier estructura y de esta forma poder definir su situación estructural para la toma de decisiones. Esta repetición de puntos se lleva a cabo con una frecuencia previamente establecida, está en función del evento y procedimiento constructivo, o sea del tipo de obra; por la experiencia se recomienda que la frecuencia de recopilación de datos en estas referencias sea la siguiente:

- a) Deberá contarse con la primer lectura 15 días antes de iniciar cualquier actividad de la obra frente a las estructuras por monitorear; y una segunda lectura, al menos, 3 días antes de iniciar cualquier bombeo, en caso de existir este; de lo contrario se hace una lectura el día previo que se inicia la actividad de la obra.

- b) Dos veces por semana, como mínimo, durante las diferentes etapas del procedimiento constructivo de la obra y hasta tener estructurado al 100%. Está en función del comportamiento de cada estructura el hacer una o más lecturas al día, aún cuando ya esté terminada la obra, esto también está en función del criterio de la persona que esté analizando el comportamiento de las estructuras monitoreadas.
- c) Una vez terminada la estructuración de la obra, las lecturas se realizarán una vez por semana hasta que la velocidad de deformación sea de 1mm/sem o menor. Cuando suceda lo anterior la frecuencia de lecturas será de una lectura por mes.
- d) Las lecturas se suspenderán cuando la deformación tenga una velocidad de 1mm/mes o menor durante tres meses. Puede seguirse instrumentando la estructura de la obra con el fin de observar el comportamiento en condiciones de servicio, siempre y cuando existan recursos para estos trabajos, o se pueden continuar con el fin de obtener una historia en cuanto al comportamiento de la estructura para su análisis geotécnico.

Después de un sismo, es recomendable hacer mediciones de todas las referencias de nivelación con el fin de evaluar los daños ocasionados por estos, en caso de haberlos. Es importante se tome en cuenta esta recomendación, ya que se pueden determinar los movimientos por sismo, sin confundirlos con movimientos internos de la obra.

La movimientos en desplome se registra en libretas de tránsito, las que tendrán una nomenclatura propia, que indique el título de instrumentación, tramo o frente y el número consecutivo de la libreta; con los datos medidos, el Ingeniero Topógrafo deberá vaciar directamente los datos en el formato correspondiente con los que se obtienen las diferencias parcial y acumulada, evitando así, por medio de la comparación con lecturas previas, equivocaciones en las mediciones; además de poder detectar el comportamiento de la estructura que se esté monitoreando.

Con el fin de tener un justificante a movimientos detectados por medio del monitoreo de Desplomes, es importante llevar un control histórico y cronológico de las actividades de la obra; es decir, se debe tener, a la mano y actualizado, un listado que contenga fechas de ejecución de la obra en cada uno de los procedimientos constructivos. Esta información se tendrá que recabar directamente en campo por parte de la brigada de instrumentación, con la ayuda de los ingenieros supervisores y constructores. Es importante que no se descuide este punto, ya que puede darnos a conocer el procedimiento que está afectando a las estructuras y, por lo tanto, tener la base para poder evaluar y cambiar ese procedimiento constructivo en la obra, y en obras semejantes posteriores. Un ejemplo de este punto se ilustra en la tabla II.3.

### III.5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Hasta aquí se ha hecho la descripción de los trabajos a ejecutar en campo para monitorear cualquier estructura en el sentido horizontal o desplome, sin embargo, es importante que los resultados de estos trabajos se registren y grafiquen, con el fin de poder hacer un análisis más práctico y dar a conocer los resultados de forma explícita a los interesados.

Con objeto de llevar un control organizado de la historia de desplomes en cada estructura, es fundamental registrar las lecturas obtenidas en las libretas de campo; vaciando esta información al Formato de Movimientos Horizontales (Formato 2). Este formato está adecuado para el registro numérico de cualquier tipo de monitoreo de estructuras en el sentido horizontal (inclinaciones), en el se contienen datos numéricos que al acumularse se cumple con el objetivo de tener una historia de desplomes (diferencias acumuladas, respecto al tiempo).

El Formato 2 sirve para el registro de una sola estructura, el cual presenta un encabezado donde se deben colocar los datos generales de ésta, además de tener cuatro columnas, cada una de ellas para registrar el comportamiento de una referencia (mensula). Se debe contar, evidentemente, con los valores de las lecturas de cada referencia en sus diferentes fechas, y se componen de los siguientes elementos:

- ◆ **DESPLOME INICIAL** ⇒ En esta fila se especifica el desplome de inicio, definido en III.3. y III.4.1. Valor con su signo según figura del formato.
- ◆ **REFERENCIA** ⇒ En esta columna se coloca el número de referencia, esta debe corresponder a la nomenclatura en campo y a lo respectivo en los planos de ubicación de éstas; con esto se asegura que correspondan a la estructura mencionada, ya que podrían existir mensulas con el mismo nombre, pero colocadas en diferentes estructuras.
- ◆ **LECT** ⇒ En esta columna se registran las lecturas, en milímetros, con su signo, tomando como origen la referencia en piso, correspondiente a cada "Mensula". Estas lecturas son las que se obtienen directamente con el aparato y el flexómetro, es la distancia entre el punto de origen y el punto donde cae la vertical del aparato, que es la proyección de la referencia en la mensula.
- ◆ **DP** ⇒ Diferencia Parcial. Esta es aquella cuyo valor es el resultado de la diferencia de la lectura actual (última) con la lectura anterior, no importando el número de días que exista entre estas.
- ◆ **DA** ⇒ Diferencia Acumulada. Esta es aquella cuyo valor es el resultado de la sumatoria de la diferencia acumulada anterior con la diferencia parcial actual, no importando el número de días que exista entre éstas.



Con estos ejemplos se puede ver la sencillez de llenar el formato, sin embargo, es importante tener cuidado con la ley de los signos al hacer los cálculos para obtener las DA, cualquier error de este tipo arrojaría valores que no correspondan al comportamiento real de la estructura, además de seguir arrastrando el error en el tiempo.

Con los datos obtenidos de las diferencias acumuladas se pueden elaborar gráficas Deformación-Tiempo, anexando gráficamente la historia del procedimiento constructivo de la obra. Estas gráficas deben tener los elementos básicos para conocer el comportamiento de la estructura respecto al tiempo y en los diferentes procesos de la obra, figura III.6. Estos elementos son:

- ♦ **Nombre de la estructura**  $\Rightarrow$  Se coloca el número del predio, razón social del predio, número de eje en un puente, número de muro en línea metro, etc. En fin, algo que identifique a la estructura o elemento estructural.
- ♦ **Frente o tramo**  $\Rightarrow$  Se especifica el frente o tramo donde se ubica la estructura a graficar.
- ♦ **Gráfica**  $\Rightarrow$  Se gráfica la deformación contra el tiempo de cada referencia. En el caso de los desplomes la deformación puede corresponder a los valores acumulados por efecto de obra, así como a los desplomes totales de cada una de las mensulas; es decir, se podrá iniciar de cero y, a partir de este, se grafican las lecturas medidas en campo para determinar el comportamiento de la estructura durante el proceso de obra y hasta el fin de lecturas; así mismo se puede graficar el desplome total, esto significa que se graficará la suma algebraica del desplome inicial y las lecturas, es decir, la diferencia acumulada correspondiente a cada fecha, dando inicio a la gráfica a partir del valor del desplome inicial (DI) y continuidad con los valores de las diferencias acumuladas (DA); el tiempo se puede graficar por fechas de semanas, meses o días transcurridos a la inicial, el tipo de graficación tanto en tiempo como en valores a graficar está en función de lo requerido por la obra. Como ejemplo, se menciona que, si se graficarán los valores de lecturas de las cuatro referencias del formato 2 sería la misma gráfica, pero si se grafican los valores de las DA serían gráficas con diferentes valores, aunque es obvio que todas tendrían el mismo comportamiento por tener lecturas idénticas. Es recomendable que las gráficas se hagan en sentido vertical, dando valores positivos a la derecha y negativos al contrario, iniciando la gráfica de arriba hacia abajo; en caso de no ser posible lo anterior, se hace la gráfica en el sentido horizontal tomando el valor positivo hacia arriba e iniciando la gráfica hacia la derecha ( ver ejemplos en fig. III.6. ).



## II.6. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

La interpretación de los resultados se presenta por medio de la observación de los resultados, en donde la gráfica indica los movimientos resultantes. Estos movimientos deben tener siempre un justificante, es decir, debe existir una lógica del porqué se presentan estos. Para lograr esto, se deben conjuntar y asociar los datos de las diferencias acumuladas con los eventos o actividades de la obra; como la instrumentación forma un conjunto o sistema, debe ser lógico tener Palomas para nivelación en cada estructura que se esté monitoreando en Plomeo; por lo tanto, también se deben asociar los resultados de los desplomes con los resultados de movimientos verticales.

Pueden existir errores de lecturas, esto se puede detectar cuando existen movimientos sin justificante alguno, o sabiendo que existe algún evento de la obra que pudiera afectar a la estructura, sin embargo pueden ser movimientos verídicos; en estos casos se recomienda que se repitan las lecturas en los puntos de incertidumbre, con el fin de cerciorarse y aceptar como válida dicha lectura.

Para la interpretación de las gráficas producto de diferencias acumuladas o desplomes totales es fundamental hacer el análisis de esta asociación de movimientos con los demás elementos del sistema tanto propios de la estructura como externos; por ejemplo, los movimientos verticales, dados por el monitoreo de Palomas en la estructura o inclinómetros en el suelo adyacente, supervisando que se ejecuten los eventos de obra de acuerdo a proyecto, normas, especificaciones y/o procedimientos constructivos, revisando los tipos de estructura, cimentación, terreno y el uso que se le esté dando a estos, si son los adecuados o si se encuentran de acuerdo a lo proyectado de origen; en fin, considerar todo lo que pueda afectar y este al torno de cada estructura que se tenga problemas.

De la gráfica de la figura III.6. se puede comentar lo siguiente: Si observamos en esta gráfica, las mensulas 1, 2 y 3 presentan un comportamiento semejante, ya que se tomó el mismo valor de las lecturas para cada una, sin embargo al analizarlas se puede observar que a partir del origen, en la primer lectura, existe un movimiento hacia la izquierda (negativo), esto es resultado de la influencia del empuje del terreno por el hincado de las viguetas para el ademe; esto indica que el predio tuvo un movimiento en sentido contrario a la obra, según el croquis del formato 2. Las lecturas posteriores indican un comportamiento con tendencia a la derecha (positiva) a diferentes velocidades; esta variante de la velocidad está en función del evento de obra que este procediendo al momento de la lectura, se observa que como resultado de las excavaciones para la colocación de tubos que conformarán el colector se tiene un comportamiento de la estructura a una mayor velocidad de deformación en la base de este, posteriormente se va atenuando un poco al momento de colocar estos tubos y finalmente tiende a ser estable cuando se rellena la excavación.

Es claro observar en este ejemplo, que las actividades de la obra están afectando al predio monitoreado, es decir, los movimientos se justifican por los eventos de la obra, ya que se considera lógico que al momento de hincar las viguetas existe un posible empuje del terreno que es sustituido por el volumen que ocupan éstas y se refleja en el levantamiento de la estructura, pero también podría suceder que el predio se comportara en hundimiento al reacomodarse el terreno bajo la estructura por el golpeteo del hincado o por exceso de bombeo de agua en alguna zona cercana; así mismo se pueden evaluar los comportamientos durante la excavación, la colocación de rellenos o algún otro evento, sin embargo, es importante hacer una relación de elementos de instrumentación para asegurar al 100 % el comportamiento de la estructura, por ejemplo si se detecta un movimiento negativo de las mensulas, se debe detectar a la vez un incremento de nivel de la paloma en la misma zona. Es de fundamental importancia tomar en cuenta lo dicho anteriormente, respecto a tratar de hacer en todo lo que sea posible un sistema de instrumentación donde intervengan la mayor parte de elementos, tanto propios de la estructura como externos a ella, para mejores resultados de interpretación y, a su vez, confianza para la toma de decisiones.

No debe confundirnos, que la diferencia del valor y signo del origen en cada mensula no influye para el comportamiento de estas, solo se modifica el valor del acumulado o llega a cambiar el signo respecto al tiempo; por ejemplo, si se tiene un valor negativo (-17) y se tiene una diferencia parcial positiva (+3) nos indica que el comportamiento es con movimiento positivo o a la obra aunque el valor resultante o acumulado sea negativo (-14).

Es posible hacer un análisis profundo de cada referencia, en donde se pueden obtener tantos puntos de vista como personas lo analicen; sin embargo, siempre se tendrá que llegar a un acuerdo siguiendo la lógica del comportamiento del suelo en relación a los eventos de cada obra y las condiciones o tipo de estructura, además es elemental que las personas que lo hagan tengan criterio analítico en suelos.

**BANCOS DE NIVEL  
FLOTANTE**

## IV. BANCOS DE NIVEL FLOTANTE (B.N.F.)

### IV.1. OBJETIVO.

Son instrumentos cuyo objetivo es que, a través de ellos, se permita medir los probables movimientos verticales del fondo de las excavaciones a cielo abierto, que son parte del proceso constructivo de la mayoría de obras de infraestructura, así como determinar las velocidades de deformación de estos movimientos antes, durante y después de la ejecución de las obras; con lo anterior se puede rectificar, en caso de ser necesario, la magnitud de las etapas de excavación y los tiempos de reestructuración, así como ratificar que estos son los procesos constructivos que mejor resultan para dicho tipo de obra.

Al mismo tiempo se busca monitorear el comportamiento del fondo de la excavación realizada, pudiendo presentarse la oportunidad de la colocación de lastres temporales; logrando con ello un comportamiento dentro de los rangos de seguridad previstos por la empresa proyectista, además de evitar cambios en la geometría vertical del proyecto por efecto de expansiones o hundimientos.

### IV.2. DESCRIPCIÓN.

Los B.N.F. son referencias de nivel, normalmente ubicadas al centro de las excavaciones profundas, están integrados por un muerto de concreto simple cuyas dimensiones están en función de los esfuerzos efectivos a la profundidad de desplante, considerando el peso de la tubería, esto es aplicando la fórmula de esfuerzo que es igual presión entre área; en la práctica se han utilizado estos elementos con dimensiones de 10x30cm con buenos resultados, normalmente éste se desplanta a 1.20m abajo del nivel máximo de excavación, va unido con tubos acoplados de fierro galvanizado de 1" de  $\varnothing$  y 1m de longitud, en todo el desarrollo de su profundidad y hasta 15cm antes del nivel de terreno natural, en este extremo se asentará el estadal para el monitoreo, a base de nivelaciones; este conjunto va alojado en una perforación previa, realizada con un barrenado de 6" de  $\varnothing$ , usando material pétreo como relleno en el espacio anular entre la excavación y el banco, en suelos de las zonas de transición o loma; así también, se puede utilizar un tubo telescópico para suelos arcillosos, con el fin de evitar el contacto del suelo circundante y el tubo del banco. Ver Fig. IV.1.

Los trabajos de medición para los B.N.F., se efectúan a base de equipo y métodos de nivelación topográficos de alta precisión a partir de bancos de nivel superficial. La metodología de ejecución de estos trabajos se describe con detalle en el inciso II.4.

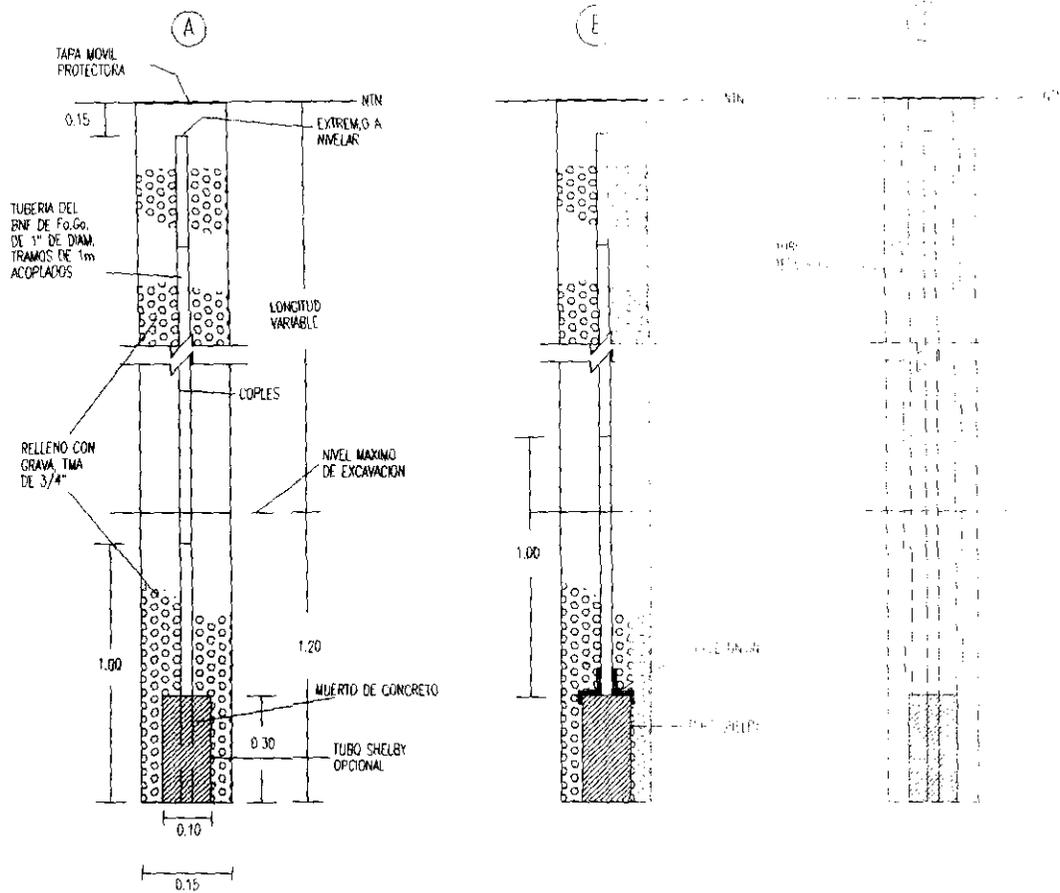


Figura. IV.1. BANCO DE NIVEL FLOTANTE

### IV.3. INSTALACIÓN.

Antes de empezar con la instalación de los B.N.F., se debe consultar en planos, la posición de las obras inducidas o elementos de la propia obra que pudieran interferir a la instalación del banco o su funcionamiento, ya que podría ser necesaria la reubicación de bancos. Lo anterior, técnicamente, no afecta a los resultados que se presentarán, ya que normalmente esta reubicación no excede una distancia de 5m. Así también, se debe hacer un programa secuencial de instalación de los B.N.F., basándose en el avance o programa de la obra en cuestión. Ya que, es muy común que se tenga una gran cantidad de bancos a instalar; pudiéndose dar el caso de iniciar la obra sin instalar bancos en determinada zona; por lo que se tomará en cuenta el programa mencionado ubicando en campo el sitio exacto donde se instalará el instrumento de medición; la ubicación se hará por métodos topográficos, apoyados en referencias topográficas de la propia obra, colocando una referencia superficial fija en el

punto exacto de su instalación; como ejemplo, podría ser una varilla enterrada con su extremo superior pintado o con una banderola.

La instalación de los B.N.F. se realiza de la siguiente forma:

- Se fabrica el muerto de concreto simple de  $f'_c=100$  kg/cm<sup>2</sup>, éste debe tener forma cilíndrica y una dimensión según los cálculos en función de los esfuerzos efectivos y profundidad de desplante ó como se mencionó es recomendable que sea de 10X30cm, en el cual se ahogará el primer tramo de tubo de fierro galvanizado de 1" de  $\varnothing$ . (fig. IV.1.A.), ó bien, se puede colocar un cople unión para recibir el primer tramo de tubo (fig. IV.1.B.). Es opcional vaciar el concreto en un tubo Shelby de 4" de  $\varnothing$  que será parte integral del muerto, evitando la utilización de moldes para el colado, agilizando la fabricación. Por lo general la fabricación del banco se realiza en el sitio de su instalación; por lo tanto, se debe tomar en cuenta que todos los materiales, herramienta y equipo deben estar en el sitio, verificando la cantidad necesaria de cada elemento para cumplir con lo requerido; además que cada uno de los materiales deberán apegarse al sistema de aseguramiento de calidad con las pruebas que sean necesarias.
- Cuando el concreto del muerto tenga la suficiente resistencia (50% mínimo), se procede a acoplar los siguientes tramos de tubo en toda la longitud a instalar, esta longitud, como ya se dijo, es la resultante de la profundidad máxima de excavación de proyecto más 120cm, sin olvidar que debe quedar a 15cm antes del nivel de terreno natural. Lo que implica que se debe medir el tramo total con cinta métrica antes de introducir el banco a la perforación. Así mismo es recomendable que los coples se biselen para evitar que tengan área y las fuerzas verticales actúen en ellos
- Se realiza la perforación con un barreno de 6" de  $\varnothing$ , verificando que el equipo de perforación esté totalmente vertical, corroborándolo con una niveleta de mano y mangueras, así también se verificará el correcto funcionamiento del mismo, que esté presente el personal operario y se tenga la herramienta, material y equipo necesarios para llevar a cabo la perforación; adicionalmente se contará con un tanque de almacenamiento para agua, evitando con esto los cárcamos de lodos. Se inspeccionará que la profundidad sea la indicada en el proyecto, esto se hace colocando marcas en la tubería de perforación a cada metro de distancia, correctamente medidos con cinta metálica ó flexómetro, tomando en cuenta las longitudes de la broca y coples.
- El siguiente paso es introducir el banco, previamente fabricado; cuidando que la base del banco quede totalmente apoyada en el fondo de la excavación y verificando que esté libre de azolves, esto se podrá verificar cuando se llegue al fondo de la perforación, observando que el agua que se está inyectando por

el proceso de perforación regrese a la superficie en las mismas condiciones; la comparación de las condiciones del agua se puede realizar tomando una muestra del agua que se está inyectando y se irá comparando con muestras del agua que retorna a la superficie. En este proceso se debe cuidar que la base del banco no se deje caer por gravedad al fondo de la perforación, se puede utilizar el mismo equipo de perforación para esta maniobra, sujetando la tubería y bajándola a una velocidad lenta y constante; esto evitará dañar la estructura del banco o provocar azolves.

- Otra forma de introducir el banco es acoplando los tramos de tubería al mismo tiempo que se baja, sujetando el tramo acoplado con el equipo de perforación y acoplando el siguiente hasta llegar a la profundidad deseada. Para cualquier tipo de instalación se debe tener la precaución de medir exactamente la longitud de los tubos antes de acoplarlos y con más razón el último, que es el de ajuste; ya que podría presentarse el caso de tener que cortar el último tramo de tubería, ya acoplado, para ajustar a la profundidad de proyecto, lo cual sería incomodo de ejecutar en sitio, pues hay que recordar que éste extremo se debe dejar 15cm antes del nivel de terreno natural.
- La continuidad de la instalación del banco se da al rellenar el espacio anular entre el banco y la excavación con grava controlada, que como tamaño máximo de agregados debe ser de 3/4", esto se hará desde el fondo y hasta 30cm antes del nivel de terreno natural. Si se va a utilizar el tubo telescópico en zonas arcillosas, se debe omitir este relleno, ya que este tubo hace la función de ademe y evita el contacto del tubo del banco con el suelo y por lo tanto la acción vertical y horizontal.
- Al estar instalado el banco, se protegerá por una tapa móvil, de tal manera que pueda quitarse ó levantarse para poder realizar las lecturas de nivelación. El tipo o forma de la tapa será propuesta por la constructora y avalada por la empresa proyectista, lo importante es que se cumpla con el objetivo. Aún así, es recomendable que la tapa sea de fierro fundido o de algún material resistente, preferentemente que sea roscable o que funcione a través de bisagras o pernos, esto se ejemplifica en la fig. IV.2. Esta propuesta tiene como fin proteger la tubería del banco contra el paso de la maquinaria pesada dentro de la obra, así como de vandalismo. Además se debe marcar en esta tapa la nomenclatura del banco para el mejor control de cada banco.
- Finalmente, se dará una cota de inicio, inmediatamente después de instalado el banco, anotando en un registro especial dicha cota; esto se hará a través de la acción de trasladar cotas desde el banco de nivel superficial más cercano, por medio de nivelaciones de primer orden.

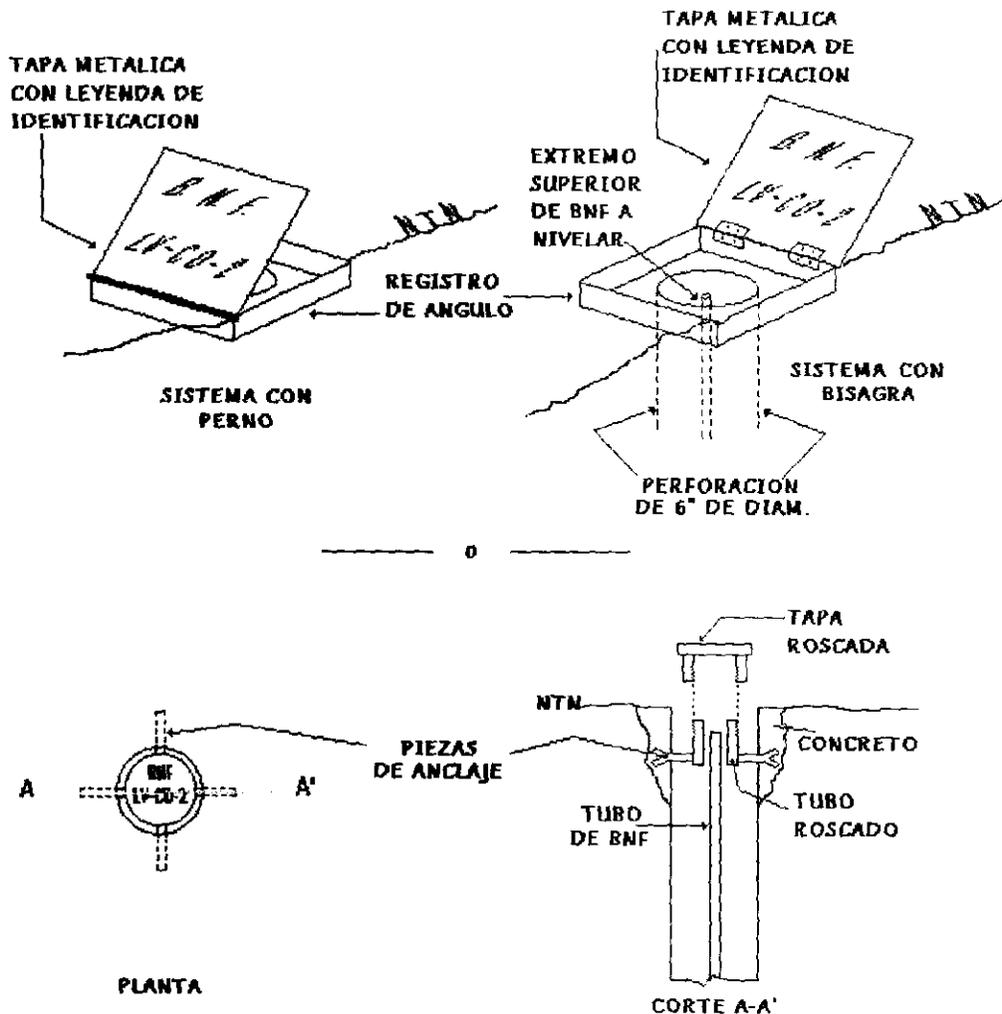


Fig. IV.2. EJEMPLO DE PROTECCIONES PARA B.N.F.

La garantía de la calidad en la toma de lecturas de los B.N.F. se basa principalmente en la verificación de los equipos topográficos de precisión, como son los niveles con desviación estándar de  $\pm 0.7\text{mm}$  en 1.00 km de nivelación a doble altura de aparato, así como de la experiencia y calidad en el trabajo de la brigada topográfica para trabajos de nivelación al milímetro. El chequeo o verificación de los equipos topográficos se deberá realizar antes de cada toma de lecturas en la jornada, llevando un registro completo de verificación de equipos como historia de funcionamiento del equipo en uso; el procedimiento a seguir para la verificación del equipo podrá ser el mencionado para las nivelaciones de Palomas, en II.4.

Se debe tomar en cuenta que las perforaciones en suelos arcillosos tienden a cerrarse con el tiempo. Para este caso, se puede estabilizar la perforación con lodo bentonítico o usando el tubo telescópico. Entonces, debe entenderse que éstas actividades deben programarse de manera tal que, al momento de estar ensamblado en banco, se debe tener hecha la perforación donde se alojará éste. Esto es con el fin de evitar que el banco se exponga a sufrir daños y que la perforación sufra cerramientos o caída de material en su interior por mantenerla abierta en un mayor tiempo al recomendado.

#### IV.4. METODOLOGÍA TÉCNICA.

Ya se mencionó que, al momento de instalar el instrumento, es de elemental importancia darle elevación de inicio a la parte superior del tubo del banco; por lo que se partirá de aquí para la metodología a seguir en la obtención de resultados.

Por lo tanto, se procede con la consecutividad de toma de lecturas, partiendo siempre del banco de origen y cerrando el circuito en este mismo. Es fundamental que nunca se parta de otro banco para la toma de lecturas, ya que, aunque se encuentren en una misma zona y relativamente cerca, pueden tener diferentes asentamientos regionales distorsionando la información. También se debe contar con una serie de bancos auxiliares o puntos de liga fijos que sean parte del circuito, los cuales se checarán constantemente y que el equipo topográfico sea revisado diariamente para evitar incertidumbre en los resultados de las lecturas. Estas se realizan por medio de nivelaciones diferenciales simples o por doble altura de aparato, de tal forma que se obtenga la cota de cada uno de los bancos instalados en cada una de las lecturas, según la frecuencia.

Por el traslado de cotas desde el banco de nivel superficial, se puede conocer la elevación del Nivel antes de ejecutar la lectura. El siguiente paso, es visar con el nivel hacia el estadal que estará sobre el extremo superior del banco a monitorear, es recomendable hacer uso de estadales de aluminio con precisión al milímetro; esta lectura se resta a la elevación del aparato y se obtiene la cota o elevación del banco, en la Figura IV.3. se ejemplifica esquemáticamente este paso para la obtención de datos. En este ejemplo observamos que la elevación del aparato hasta antes de visar es de 33.439 y la lectura en el estadal es de 1.896, por lo que resulta una elevación en la parte superior del BNF-2 de 31.543. La recopilación de datos se lleva a cabo con una frecuencia previamente establecida en función del evento y del procedimiento constructivo de cada obra; aún así, se recomienda que la secuencia de recopilación de datos en estas referencias sea la siguiente:

- a) Deberá contarse con la primer lectura 15 días antes de iniciar cualquier actividad de la obra y una segunda en alguno de los tres días previos al inicio de la actividad de la obra.
- b) Dos veces por semana, como mínimo, durante las diferentes etapas del procedimiento constructivo de la obra y hasta tener estructurado al 100%. Está en función del comportamiento de cada estructura el hacer una o más lecturas al día, aún cuando ya esté terminada la obra, esto también está en función del criterio de la persona que esté analizando el comportamiento de las estructuras monitoreadas.
- c) Una vez terminada la estructuración de la obra, las lecturas se realizarán una vez por semana sobre la losa de fondo o en la estructura que sustituya al B.N.F., hasta que la velocidad de deformación sea de 1mm/sem o menor. Cuando suceda lo anterior la frecuencia de lecturas será de una lectura por mes.
- d) Las lecturas se suspenderán cuando la deformación tenga una velocidad de 1mm/mes o menor durante tres meses o cuando sea imposible, por situaciones de la propia obra, continuar con las lecturas. Puede seguirse instrumentando la estructura de la obra con el fin de observar el comportamiento en condiciones de servicio, siempre y cuando existan recursos para estos trabajos, o se pueden continuar con el fin de obtener una historia en cuanto al comportamiento de la estructura para su análisis geotécnico.

Después de un sismo, es recomendable hacer mediciones de todas las referencias de nivelación y BNF, con el fin de evaluar los daños ocasionados por estos. Se debe ejecutar esta recomendación, ya que se pueden determinar los movimientos por sismo, sin confundirlos con movimientos internos de la obra.

La repetición de estas lecturas y su comparación de resultados dará la historia del comportamiento de cada uno de los B.N.F. monitoreados. El equipo a utilizar está compuesto de niveles automáticos con desviación estándar de  $\pm 0.7\text{mm}$ . en una nivelación doble, estatales comparados y utilería especial.

Para no dañar los B.N.F. por trabajos de excavación con maquinaria pesada, se debe efectuar la excavación a mano, al menos, a un metro de distancia alrededor de estos. Conforme avanzan los trabajos de la excavación, es necesario ir recortando o desacoplando los tubos de los B.N.F. hasta llegar al nivel máximo de excavación, dando de inmediato la nueva elevación al extremo superior del banco, cada vez que se recorte. Al llegar al nivel máximo de excavación se puede continuar con la historia de movimientos verticales a base de referencias topográficas superficiales sobre algún elemento estructural de la obra. Para fines prácticos de graficación se deberá hacer una igualdad de cotas o elevaciones en los registros correspondientes

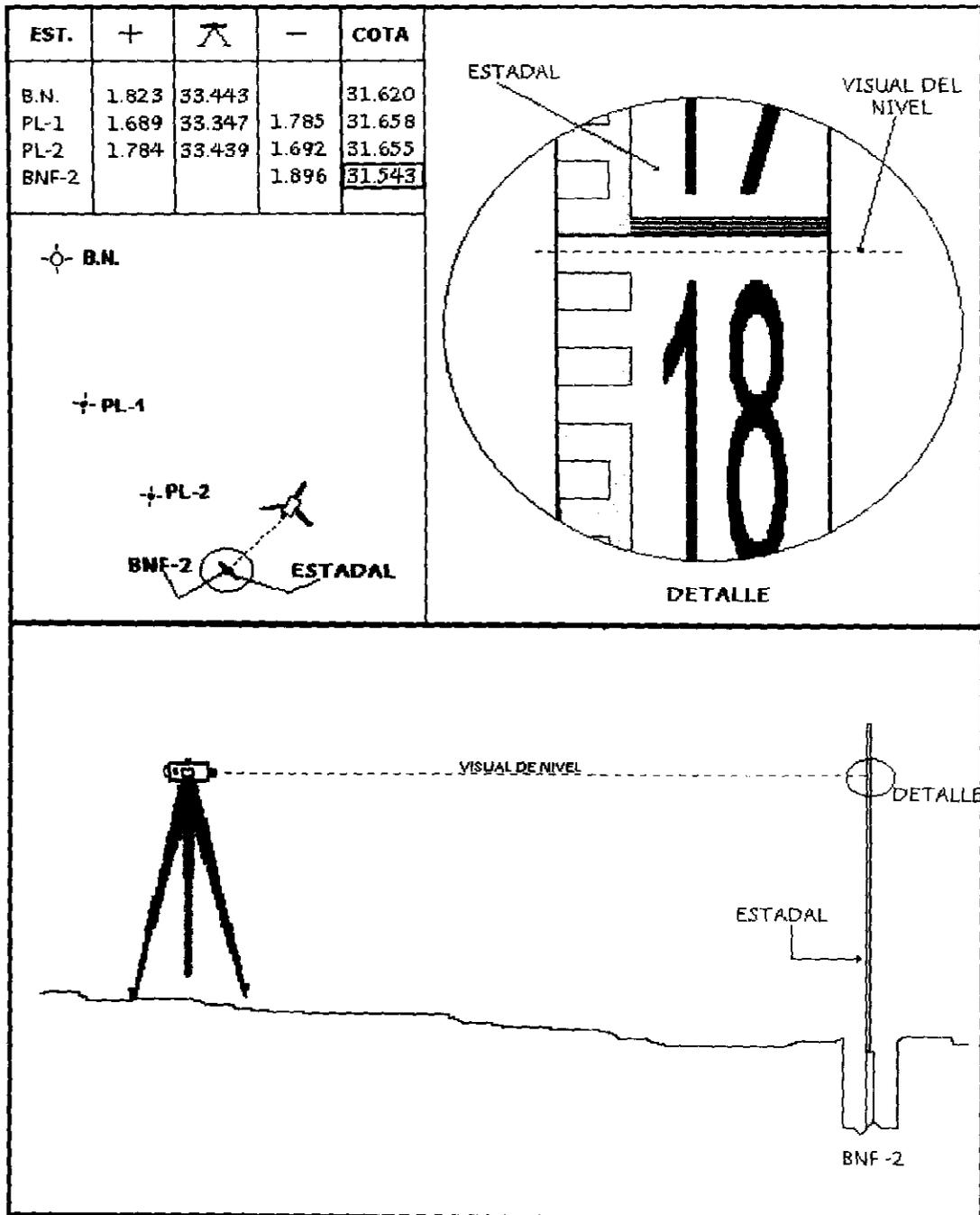


Figura IV.3. Ejemplo de Toma de Lecturas en los B.N.F.

La longitud del tramo recortado debe corresponder a la diferencia de la elevación registrada antes del recorte y la nueva; debiendo registrar, en la libreta de nivel, estos cambios e igualdades de elevación, con su respectiva fecha, así

como la longitud de los tramos recortados. Lo anterior es con el fin de llevar un control de cada banco y para consultas posteriores .

Las lecturas se registrarán en las libretas de nivel con los datos medidos, el Ingeniero Topógrafo calculará inmediatamente en campo la elevación de todos los bancos, vaciando los datos en los formatos correspondientes donde se tendrán los movimientos parcial y acumulado de cada banco y verificando, en el momento, las mediciones, para efectuar renivelaciones inmediatas en caso de haber diferencias que causen incertidumbre basada por el evento constructivo que se desarrolle en ese momento.

Como parte íntegra del monitoreo de cualquier obra, es importante llevar un control histórico y cronológico de sus actividades por medio de un listado actualizado que contenga fechas de ejecución de la obra en cada uno de los eventos del procedimiento constructivo. Esta información se tendrá que recabar directamente en campo por parte de la brigada de instrumentación, con la ayuda de los ingenieros supervisores y constructores. Es importante que no se descuide este punto, ya que es la base para evaluar los posibles movimientos verticales que se registren.

#### IV.5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.

Terminada la instalación de los bancos, es indispensable tener un croquis o plano, en planta, de la ubicación de cada uno de ellos, marcando la misma nomenclatura que se colocó en la tapa protectora y refiriéndolos respecto al cadenamiento y/o a los elementos estructurales del proyecto de obra; debe llevar además la orientación respecto al norte. En este dibujo o plano se deben plasmar los avances de obra respecto al tiempo; es decir se irá actualizando, preferentemente al día, el avance de obra con sus respectivas simbologías, fig. IV.4.

Para tener al día los avances se pueden elaborar tablas que contengan los eventos con sus respectivas fechas de ejecución y se actualizará diariamente para posteriormente trasladar estos datos a las gráficas y croquis o planos (en la Tabla II.3 se ejemplificó el seguimiento de eventos en la construcción del Puente Vehicular Continentes de la línea B del metro); ésta información se puede complementar con tablas que contengan profundidades máximas de excavación, historia de los cortes hechos a cada B.N.F., fechas de traslado a losas o partes estructurales, etc.

Es necesario contar con esquemas y tablas que contengan los datos elementales de la serie de Bancos Superficiales de donde se está partiendo para dar niveles a los B.N.F., con sus circuitos de puntos de liga y sus respectivas

elevaciones respecto al mar; así mismo es elemental tener un listado donde se mencione los números de B.N.F. que están referidas a cada uno de los bancos de nivel superficial.

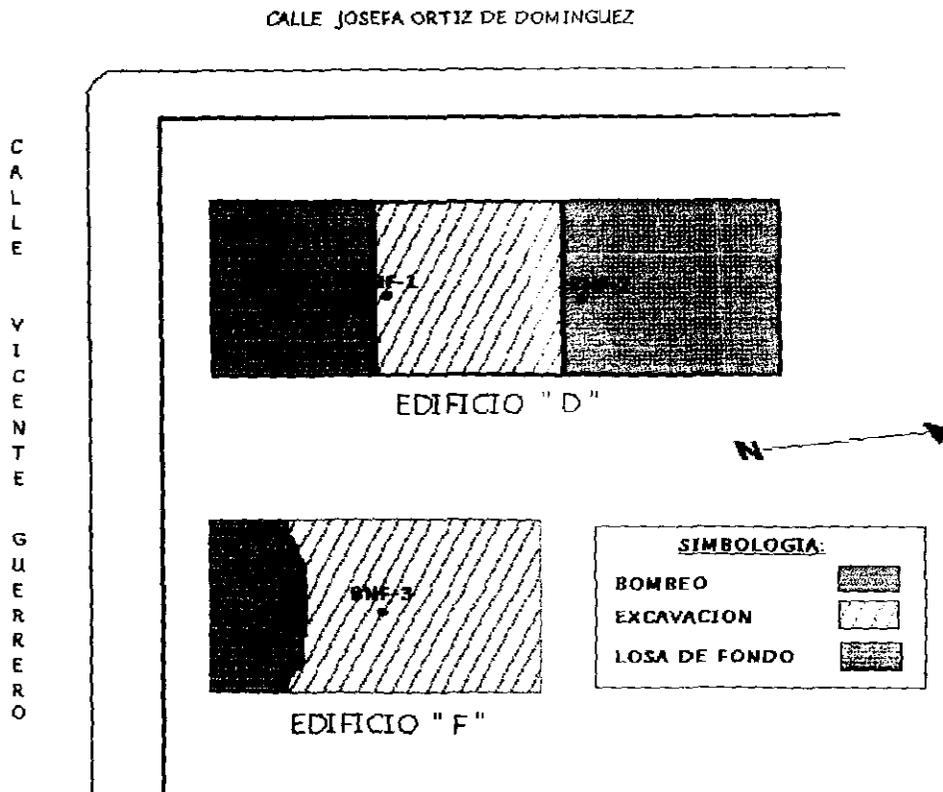


Figura IV.4. Ejemplo de croquis de ubicación de BNF y Avance de obra.

Estando registrado cada banco, podremos saber con precisión sus características, ubicación e historia del comportamiento; sin embargo, muchas veces solo nos dedicamos a recopilar esta información sin hacer un buen uso de ella, por lo que es necesario hacer un análisis del comportamiento de cada B.N.F. con dicha información.

Para poder elaborar un análisis del comportamiento de los bancos, primero se deben tener en mente los objetivos ó qué resultados son los que no deseamos en su propio comportamiento. Los elementos gráficos como tablas comparativas o gráficas Deformación-Tiempo son de mucha ayuda para hacer más fácil este análisis. Al hacer un análisis del comportamiento de bancos, principalmente nos enfocamos a trabajos de nivelación, por lo cual es necesario

saber si existen movimientos o si se manifiesta alguna tendencia anormal de su comportamiento, para verificar o confirmar esto, obviamente se requiere de una serie de nivelaciones de cada B.N.F. a diferentes fechas con la finalidad de conocer el comportamiento del banco respecto al tiempo y así poder conocer la velocidad de deformación del terreno bajo cada uno.

Con objeto de llevar un control organizado de la historia de nivelaciones en cada banco, es fundamental registrar en las libretas de campo, las cotas obtenidas, vaciando las mismas a los formatos para registro de nivelaciones de B.N.F., fig. IV.5. Este formato está adecuado para el registro numérico de nivelaciones, en él se contienen datos numéricos que al acumularse se cumple con el objetivo de tener una historia de nivelaciones.

Para el llenado del formato de registro numérico, se debe contar, evidentemente, con los valores de las cotas de cada referencia en sus diferentes fechas de nivelación, y se compone de los siguientes elementos:

- ♦ REFER. ⇒ En esta columna se especifica la excavación que aloja al B.N.F., como puede ser número zapata, cajón de cimentación, razón social del predio donde se construirá un edificio, número de eje en un puente, cadenamamiento de losa, etc.
- ♦ BNF ⇒ En esta columna se coloca el número de B.N.F., este debe corresponder a la nomenclatura en campo y a lo respectivo en los planos de ubicación de estas referencias; con esto se asegura que correspondan al banco mencionado, ya que podrían existir bancos con el mismo nombre, pero colocados en diferentes tramos.
- ♦ COTA ⇒ En esta columna se pondrán las cotas calculadas que corresponden a cada B.N.F. Estas cotas son las obtenidas del cálculo en las libretas de nivel.
- ♦ DP ⇒ Diferencia Parcial. Esta es aquella cuyo valor es el resultado de la diferencia de la cota de la lectura actual ( última ) con la cota de la lectura anterior, no importando el número de días que exista entre estas.
- ♦ DA ⇒ Diferencia Acumulada. Esta es aquella cuyo valor es el resultado de la diferencia de la cota de la lectura actual ( última ) con la cota de la lectura inicial, no importando el número de días que exista entre estas.

Como se puede observar a cada fecha le corresponde una lectura de COTA, DP y DA, por lo tanto, se colocará cada valor a la fecha correspondiente. Así mismo en cada fecha se colocará el nombre del Ingeniero Topógrafo que

ejecutó la lectura, esto es en el caso que exista el procedimiento de rol de brigadas.

FOVISSSTE BALBUENA														
CAJON DE CIMENTACION, EDIFICIOS "D" Y "F"														
REGISTRO NUMERICO DE NIVELACIONES DE B.N.F.														
FRENTE: _____														
REFER.	BNF	COTA	D/P	D/A	COTA	D/P	D/A	COTA	D/P	D/A	COTA	D/P	D/A	
	1	31.268	0	0	31.270	2	2	31.273	3	5	31.278	5	10	
	2	31.543	0	0	31.544	1	1	31.547	3	4	31.550	3	7	
	3	31.459	0	0	31.458	-1	-1	31.459	1	0	31.460	1	1	
		(INICIAL)												
FECHA:	27-MZO-98				02-ABR-98				13-ABR-98				18-ABR-98	
NIVelo:	ING. JUAN GLEZ.				ING. JUAN GLEZ.				ING. JUAN GLEZ.				ING. JUAN GLEZ.	
REFER.	BNF	COTA	D/P	D/A	COTA	D/P	D/A	COTA	D/P	D/A	COTA	D/P	D/A	
	1	31.278	0	10	31.279	1	11	31.280	1	12				
	2	31.552	2	9	31.553	1	10	31.553	0	10				
	3	31.461	1	2	31.463	2	4	31.464	1	5				
FECHA:	25-ABR-98				03-MAY-98				08-MAY-98					
NIVelo:	ING. JUAN GLEZ.				ING. JUAN GLEZ.				ING. JUAN GLEZ.					
NOTAS:	-D/A: DIFERENCIA ACUMULADA.						- D/P: DIFERENCIA PARCIAL							
	-LAS DIFERENCIAS SE TABULARAN EN MILIMETROS													

Figura IV.5. Formato para Registro de Nivelaciones de B.N.F.

Para facilitar el cálculo de las diferencias acumulada y parcial, se requiere que los valores de estas se registren en milímetros. En el formato de la fig. IV.5. se ilustra un ejemplo de su llenado.

Con los datos obtenidos de las diferencias acumuladas se pueden elaborar gráficas Deformación-Tiempo, anexando gráficamente la historia del procedimiento constructivo de la obra. Estas gráficas deben tener los elementos básicos para conocer el comportamiento de la estructura respecto al tiempo y en

los diferentes procesos de la obra, lo que ayudará a realizar un mejor análisis, figura IV.6. Estos elementos son:

- ◆ **Nombre del B.N.F.** ⇒ Se coloca el número del B.N.F., el cual coincidirá con la nomenclatura en obra, en planos de ubicación y en el formato de registro.
- ◆ **Frente o tramo** ⇒ Se especifica el frente o tramo donde se ubica la excavación que aloja al banco a graficar.
- ◆ **Gráfica** ⇒ Se grafica la deformación contra el tiempo de cada banco. La deformación corresponde a las diferencias acumuladas de cada uno; el tiempo se puede graficar por fechas de semanas, meses o días transcurridos a la inicial, esto está en función de lo requerido por la obra.
- ◆ **Avance de obra** ⇒ Se especifican los eventos de la obra, indicando el periodo en fechas correspondientes en que se ejecutan los diferentes procesos de la obra. Este avance se puede esquematizar con barras, letreros rotulados, flecha-banderola, etc.

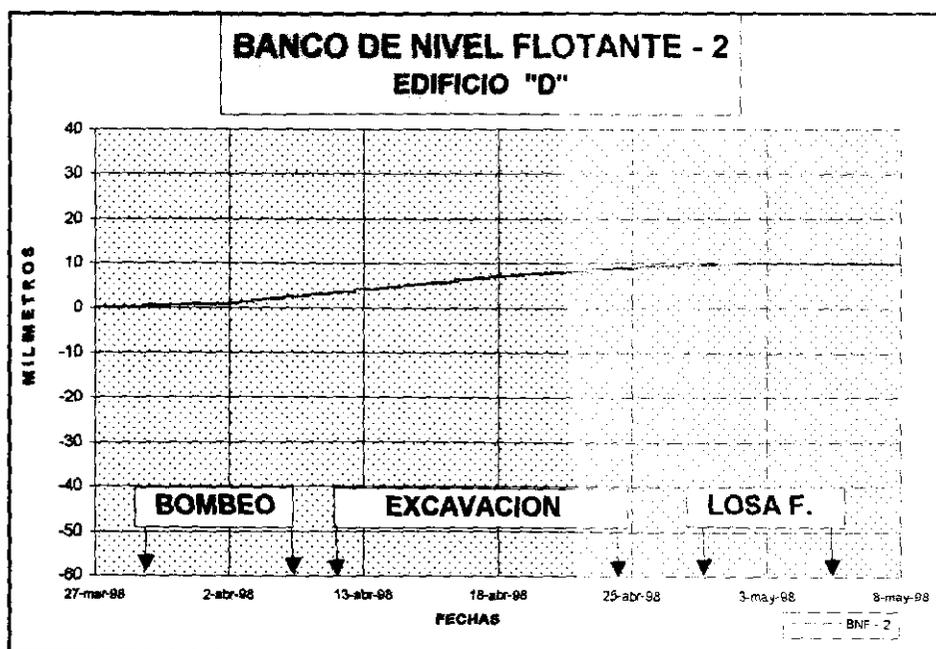


Figura IV.6. Gráfica de B.N.F.

Se deberá mantener enterada a la empresa proyectista sobre el comportamiento de los Bancos de Nivel Flotante, por medio de un reporte

escrito, copia de las gráficas y copia del registro numérico de nivelaciones; conteniendo información como diferencias parciales, diferencias acumuladas, velocidades de deformación, referencia y ubicación del banco, lo que acontezca y lo que se considere de importancia para comentarlo. Esto se hará semanalmente en situaciones de comportamiento normal o diario para casos extraordinarios.

#### IV.6. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

Se mencionó que, en ocasiones, solo nos dedicamos a recopilar información sin observar o analizar los resultados. Sin embargo ya se observó en el punto anterior que estos resultados pueden ser tabulados y graficados. Esta graficación es de gran ayuda para el análisis del comportamiento de los bancos monitoreados.

Este análisis se basa en la interpretación de los resultados, por medio de la observación de las gráficas de estos; en donde, la graficación de las diferencias acumuladas, indica los movimientos registrados para tal o cual evento. Los movimientos deben tener siempre un justificante, es decir, debe existir una lógica del porqué se presentan. Para lograr esto se deben conjuntar y asociar los datos de las diferencias acumuladas con los eventos o actividades de la obra.

Pueden existir errores de lecturas, esto se puede detectar cuando existen movimientos sin justificante alguno, o sabiendo que existe algún evento de la obra que no afecta al terreno, sin embargo pueden ser movimientos verídicos; en estos casos se recomienda que se repitan las lecturas en los puntos de incertidumbre, con el fin de cerciorarse y aceptar como válida dicha lectura.

De la gráfica de la figura IV.6. se puede comentar lo siguiente :

Si observamos en esta gráfica, el banco nivelado BNF-2 presenta un comportamiento en expansión, es decir, un movimiento ascendente con una velocidad de deformación hasta de +2mm/sem. que, analizando las actividades de obra, inicia junto con el bombeo que se usa en el secado del terreno para permitir la excavación; la referencia BNF-2 registra un incremento en su velocidad de expansión hasta de 5mm/sem, esta se presenta cuando se inicia el proceso de excavación; después de esta expansión se comienza a registrar un comportamiento de estabilidad durante los primeros días del colado de la losa de fondo, es decir, cuando ya se traslado en banco hacia la losa. Esto indica que la influencia de los procesos de bombeo y excavación afectan en poco tiempo al terreno; esto se da, seguramente, por la descompensación que sufre éste al quitarle un gran peso, independientemente de la reacción que, normalmente, tienen las arcillas por efecto de esa descompensación, traduciéndose en

expansiones del fondo de las excavaciones, con la posibilidad de variar la geometría vertical de proyecto. Lo anterior da la pauta para recomendar a la empresa constructora acelerar la carga al terreno, ya sea con losas, plantillas o, en caso de ser necesario por retraso de obra, lastres temporales al centro de las excavaciones. Es lógico pensar que la dimensión y velocidad de la expansión está en función del área de la excavación, sin embargo, para este ejemplo se sobreentiende que se trata de una excavación de gran área por la velocidad de deformación que presenta, debiendo tomar en cuenta, además, que si no se hubiese colado de inmediato la losa de fondo, la expansión a largo plazo habría ascendido considerablemente.

Es claro observar en este ejemplo, que las actividades de la obra están afectando al terreno, es decir, los movimientos se justifican por los eventos de la obra. Sin embargo existen movimientos no justificables, o no siempre existen movimientos durante los procedimientos constructivos. Por tal motivo, al existir movimientos que provoquen incertidumbre, es importante que la brigada encargada de instrumentación realice una lectura adicional en dichos puntos, ese mismo día.

Al hacer un análisis profundo de cada banco, se pueden obtener tantos puntos de vista como personas lo analicen; sin embargo, siempre se tendrá que llegar a un acuerdo siguiendo la lógica del comportamiento del suelo en relación a los eventos de cada obra, y que las personas que lo hagan tengan criterio analítico y experiencia en el comportamiento de los suelos, para este análisis se deben tomar en cuenta todos los elementos como pueden ser: el tipo de suelo, el área de la excavación, la correcta cantidad de agua extraída con el bombeo, el proceso de excavación indicado en las especificaciones, la temporada del año, etc ; en fin, todos los posibles factores que pudieran intervenir en el comportamiento de estas referencias.

**PIEZÓMETROS Y  
TUBOS DE  
OBSERVACIÓN**

## V. PIEZÓMETROS Y TUBOS DE OBSERVACIÓN

### V.1. OBJETIVO.

El objetivo de este capítulo se basa en observar el comportamiento de la presión de poro con el tiempo, para estimar la evolución de los esfuerzos efectivos en un determinado medio de la masa de suelo y a una profundidad deseada, conforme a la evolución de las diferentes etapas constructivas de una obra, principalmente aquellas en que intervienen etapas de bombeo profundo o abatimiento del agua; así mismo, al determinar los cambios en la presión de poro se asegura que las hipótesis de diseño siguen siendo válidas, en caso contrario se deberá estudiar la influencia que desarrolle dichos cambios. También se espera determinar la posición del nivel freático durante las etapas constructivas de una obra, así como su variación con respecto al tiempo y en las diferentes estaciones climatológicas del año.

Como se sabe, cualquier obra de ingeniería tiende a producir cambios en los estados de esfuerzos, que implican generalmente cambios en el estado de presión del agua, de manera que las relaciones hidrostáticas ya no bastan para representar la condición de los terrenos en lo que se refiere a la interrelación entre presiones de poro que se desarrollen y la resistencia, independientemente de saber que las condiciones de presión están dadas por la posición del nivel freático, el cual sufre variantes en las diferentes estaciones del año.

Para poder conocer los cambios en el estado de presiones del agua, se han creado los piezómetros; a través de estos se puedan conocer el estado inicial de esfuerzos en el sitio de obra, la verificación del posible abatimiento del nivel de aguas freáticas de la zona y su nivel piezométrico, además de las condiciones del flujo de agua; es decir, permiten conocer las condiciones hidráulicas en el interior de los estratos que constituyen el subsuelo durante las etapas constructivas de mayor impacto y a su vez determinan problemas locales de falla para evitar incidentes graves; por lo tanto, estos instrumentos permiten conocer la influencia del procedimiento constructivo, los resultados registrados de piezómetros pueden aprovecharse para, de ser necesario, tomar las medidas correctivas en el proceso de bombeo y/o constructivo. Con los tubos de observación se permite determinar la posición del nivel freático, así como su variación con respecto al tiempo y en las diferentes estaciones climatológicas del año. Es importante mencionar que esta instrumentación piezométrica se instala desde la etapa de exploración, para proyecto, aunque los resultados y tipo de uso están enfocados a objetivos diferentes, los cuales no forman parte de este documento.

En función de la observación y el análisis de los resultados, se puede corroborar que el radio de influencia de los pozos de bombeo y la verificación del abatimiento piezométrico, que generen los mismos, sean los correctos; con esto se determinará la separación y desplante de proyecto de los pozos de bombeo en condiciones semejantes.

Este tipo de instrumentos se instalan dentro y fuera de la zona de obra y se pueden colocar en estratos arcillosos o arenosos, los piezómetros tipo abierto o Casagrande comúnmente suelen instalarse en estratos arenosos por permitir el mayor flujo de agua y un tiempo de respuesta corto, para permitir la toma de lecturas más cercano al verdadero estado de presiones. Normalmente, estos instrumentos se instalan por grupos llamados "Estaciones Piezométricas", por ejemplo tres piezómetros a diferentes profundidades y un tubo de observación. Las profundidades de instalación de los piezómetros están en función de los análisis de la profundidad de la obra y la estratigrafía que presente el terreno en dicha zona. En las estaciones piezométricas, normalmente la distancia entre piezómetros deben ser a cada metro, aunque obviamente esto está regido por el espacio del que se disponga. Se recomienda un determinado número de estaciones, pero esto lo determinará la empresa proyectista en base al tipo de suelo, de la importancia de la obra y de las variables que se requieran conocer de dicha zona.

## V.2. DESCRIPCIÓN

Se puede resumir, que los piezómetros miden la presión del agua en un determinado medio y profundidad, los cuales trabajan con el principio de equilibrar con alguna contrapresión (en algunos casos con presión de gas, en otros con la presión que ejerce la columna de agua) la presión que el agua del suelo ejerza al actuar sobre una unidad sensible.

Los tubos de observación son dispositivos que permiten determinar la posición del nivel freático, así como su variación con respecto al tiempo y en las diferentes estaciones climatológicas del año. El tubo de observación es un ducto vertical ranurado o permeable en toda su longitud, instalado en una perforación que profundiza con al menos un metro abajo del nivel freático, la parte superior está tapada para evitar que le entre agua del exterior.

En la actualidad existen diferentes tipos de piezómetros. En el punto V.4. se describirán las características de algunos, incluyendo su funcionamiento y principio de operación; desde el más común, como el abierto tipo Casagrande, hasta los del tipo eléctrico a base de strain-gages; con estos últimos es posible llevar un monitoreo piezométrico en estratos arcillosos (no permeables).

Todos los tipos de piezómetros requieren de una perforación, hecha con un barreno, normalmente de 6" de diámetro, para otros de 8" de diámetro, donde se alojará el instrumento, con ademe recuperable o con ademe telescopiado no recuperable. Por lo tanto, se describirá brevemente el procedimiento para la perforación y la instalación del piezómetro como procedimiento general para cualquier tipo de piezómetro, independientemente del tipo o sistema de operación que se utilice en cada uno para la obtención del nivel piezométrico.

Así también, en forma genérica, estos instrumentos deben contar con una referencia a nivel de terreno natural con su correspondiente elevación, la cual servirá como apoyo a las mediciones piezométricas; estas nos van a indicar el comportamiento del terreno superficial en el sitio con el fin de evitar incertidumbre en los resultados de las mencionadas lecturas. Estas referencias a nivel en piezómetros deben tener una precisión de  $\pm 1\text{mm}$ .

Por último, es reiterativo recordar que, así como para los demás tipos de instrumentos, se recomienda tener la precaución para que la calidad del trabajo y de los materiales que se utilicen para desarrollar éste, sean los adecuados, debiendo mantenerse estos elementos bajo un riguroso control de calidad, tomando en cuenta lo siguiente:

- Características del equipo.
- Técnica de operación.
- Control técnico de trabajo.
- Capacidad del personal.
- Eficiencia del trabajo.
- Limpieza del sitio.
- Limpieza de los materiales.
- Organización de las actividades.
- Etc.

### V.3. PERFORACIÓN E INSTALACIÓN

Es elemental tener ensamblado el piezómetro previo a su instalación, incluso previo a la perforación donde se alojará; es decir, se deberá tener preparado el piezómetro al momento de realizar la perforación para introducirlo en ella, tomando en cuenta su longitud total, siendo recomendable dejarlo a 15cm antes del nivel de terreno natural. Lo que implica que se debe medir el tramo total con cinta métrica antes de introducir el piezómetro a la perforación.

Antes de empezar con la perforación para instalar los piezómetros, se debe consultar en planos, la posición de las obras inducidas o elementos de la

propia obra que pudieran interferir a la instalación de estos o su funcionamiento, ya que podría ser necesaria la reubicación de dichos instrumentos. Lo anterior, técnicamente, no afecta a los resultados que se presentarán, ya que normalmente esta reubicación no excede una distancia de 3m. Así también, se debe hacer un programa secuencial de instalación de los piezómetros, basándose en el avance o programa de la obra en cuestión. Ya que, es muy común que se tenga una gran cantidad de piezómetros a instalar; pudiéndose dar el caso de iniciar la obra sin instalar un piezómetro o estación en determinada zona; por lo que se tomará en cuenta el programa mencionado, ubicando en campo el sitio exacto donde se instalará el instrumento de medición; la ubicación se hará por métodos topográficos, apoyados en referencias topográficas de la propia obra, colocando una referencia superficial fija en el punto exacto de su instalación; como ejemplo, podría ser una varilla enterrada con su extremo superior pintado o con una banderola.

Se debe tomar en cuenta que las perforaciones en suelos arcillosos tienden a cerrarse con el tiempo. Se comentó, que para este caso, se puede estabilizar la perforación con lodo bentonítico, sin embargo para las perforaciones donde se van a instalar piezómetros no se recomienda tomar esta medida, ya que el lodo podría tapar las salidas de agua en estratos arenosos, lo cual se reflejaría en un mal funcionamiento del instrumento. Entonces, debe entenderse que éstas actividades deben programarse de manera tal que, al momento de estar ensamblado en piezómetro, se debe tener hecha la perforación donde se alojará éste. Esto es con el fin de evitar que el piezómetro se exponga a sufrir daños y que la perforación sufra cerramientos o caída de material en su interior por mantenerla abierta en un mayor tiempo al recomendado.

Por lo general, la fabricación del piezómetro se realiza en el sitio de su instalación; por lo tanto, se debe tomar en cuenta que todos los materiales, herramienta y equipo deben estar en el sitio, verificando la cantidad necesaria de cada elemento para cumplir con lo requerido; además que cada uno de los materiales deberán apegarse al sistema de aseguramiento de calidad con las pruebas que sean necesarias.

Así, el procedimiento de perforación e instalación es el que secuencialmente se describe en los siguientes puntos, sin desprestigiar las recomendaciones anteriores y tomando en cuenta la posibilidad de cambiar cierta parte de este procedimiento, por efecto del tipo de piezómetro:

- Se realiza la perforación con un barreno de 6" de  $\varnothing$ , según el tipo de piezómetro a instalar, utilizando una broca de aletas, con el fin de obtener condiciones óptimas de permeabilidad en las paredes, hasta alcanzar la profundidad deseada, utilizando agua para estabilizar las paredes.

- Se verificará que el equipo de perforación esté totalmente vertical, corroborándolo con una niveleta de mano y mangueras, así como el correcto funcionamiento del mismo; se deberá supervisar a detalle que el personal operario se encuentre presente y tenga capacidad para la ejecución de este tipo de trabajo; además, que se tenga la herramienta, material y equipo necesarios para llevar a cabo la perforación. Adicionalmente, se debe contar con un tanque de almacenamiento para agua, evitando con esto los cárcamos de lodos.
- Se inspeccionará que la profundidad sea la indicada en el proyecto, esto se hace colocando marcas en la tubería de perforación a cada metro de distancia, correctamente medidos con cinta metálica ó flexómetro, tomando en cuenta las longitudes de la broca y coples.
- Lavada y estabilizada la perforación con agua, se procede de inmediato a bajar un ademe que consiste en una tubería de PVC de diámetro variable, según el tipo de piezómetro, hasta el fondo de la perforación y se hará circular agua limpia hasta que esta salga a la superficie en las mismas condiciones, la perforación deberá quedar libre de azolves.
- El primer paso es levantar el ademe 30cm y se vaciará lentamente arena limpia y lavada, graduada entre las mallas No. 4 y No. 40, controlando cuidadosamente el volumen a fin no exceder la profundidad de instalación de la celda permeable, Es importante hacer el cálculo del volumen considerando el abudamiento de la arena y la anchura real de la perforación.
- Se bajará el piezómetro dentro del pozo, comprobando que quede bien asentado en la arena del fondo y evitando que éste tenga contacto con el ademe. En este proceso se debe cuidar que la base del piezómetro no se deje caer por gravedad al fondo de la perforación, se puede utilizar el mismo equipo de perforación para esta maniobra, sujetando la tubería y bajándola a una velocidad lenta y constante; esto evitará dañar la estructura del piezómetro o provocar azolves. Es posible hacer este último paso a mano, pero con el debido cuidado.
- Se levantará el ademe en tramos de 10cm, vaciando gradualmente la arena dentro de la perforación en cada tramo, hasta 30cm por arriba del bulbo del piezómetro, controlando siempre el volumen de arena que se descarga alrededor la celda permeable, la cual mide aproximadamente 30cm en todos los tipos de piezómetros, por lo tanto quedará embebida en una capa de arena de 90cm de espesor que hace la función de filtro.
- A continuación, se levanta el ademe en un tramo de 100cm y se coloca una capa de bentonita en bolas, previamente preparadas, para sellar alrededor del tubo vertical que compone al instrumento. Estas deberán tener una

consistencia parecida a una barra de plastilina y se podrán compactar con un pisón en forma de "U" para no dañar la tubería.

- Después de esta capa de bentonita y para suelos arcillosos se puede colocar un tubo telescopiado con los coples biselados para medir asentamientos en cada estrato hasta medio metro abajo del nivel de terreno natural, posteriormente se retira el ademe de PVC, evitando los rellenos que se mencionan en el siguiente punto.
- Posteriormente, se rellenará el espacio anular existente entre el tubo vertical del piezómetro y el terreno en el resto de la perforación, mediante una mezcla bentonita-cemento-agua con la proporción que se menciona al término de este párrafo, hasta alcanzar el nivel de terreno natural; este punto se ejecuta con el procedimiento de levantamiento del ademe y vaciado de la mezcla indicada en tramos de 100cm.
  - 1m<sup>3</sup> de agua.
  - 150 kg de cemento.
  - 50 kg de bentonita
- Al estar instalado el piezómetro, se deberá proteger con una tapa móvil, preferentemente que pueda quitarse ó levantarse para poder realizar las lecturas. El tipo o forma de la tapa será propuesta por la constructora y avalada por la empresa proyectista, lo importante es que se cumpla con el objetivo. Aún así, es recomendable que la tapa sea de fierro fundido o de algún material resistente o bien, un registro de protección con una tapa de 35 x 35 x 25cm a base de tabique rojo recocido con tapa metálica de marco y contramarco de ángulo de 1 1/2" x 1 1/2" x 3/16" de espesor y concreto de  $f_c=150 \text{ kg/cm}^2$ , con tamaño máximo de agregados de 38mm hecho en obra. Esta propuesta tiene como fin proteger el instrumento contra el paso de la maquinaria pesada dentro de la obra, así como de vandalismo. Además se debe marcar en esta tapa la nomenclatura del piezómetro con su etiqueta de identificación de profundidad de la celda y su nivel de referencia para el mejor control de cada uno o de cada estación piezométrica.

#### V.4. METODOLOGÍA TÉCNICA, PRESENTACIÓN E INTERPRETACIÓN.

En este inciso se hará mención de los tipos de piezómetros más usuales en México, en donde se describirán las características de algunos de los más comunes, incluyendo su funcionamiento y principio de operación.

Dada la situación, de que cada tipo de piezómetro y tubo de observación presentan una diferente metodología a seguir para la obtención del nivel piezométrico se describirá ésta de forma independiente en los siguientes puntos; sin embargo existe un punto común, este es la frecuencia de lecturas que a continuación se menciona:

- a) Se deberá contar con una primer lectura quince días antes de iniciar la actividad principal de la obra y una segunda lectura tres días antes
- b) La primer lectura será confiable, esto se logra con la previa calibración del instrumento o el conjunto de elementos que se requieran, según el tipo de piezómetro; además de verificar que existe la normalización de lecturas (verificar que es estable).
- c) Preferentemente se hará una lectura al día durante los procedimientos que se consideren de mayor influencia para los cambios piezométricos.
- d) En condiciones normales o de funcionamiento de la obra, las lecturas se tendrán una frecuencia de una por semana durante cuatro meses.
- e) En casos excepcionales se harán lecturas con una mayor frecuencia a la mencionada en los puntos anteriores, este será el caso de tener una velocidad de abatimiento mayor a la de proyecto, al existir deformaciones de las construcciones colindantes que se consideren de importancia o algún otro evento que se considere anormal, según el criterio de ingenieros de experiencia en el tema.

Así mismo se deben tener presente datos específicos de los piezómetros y tubos de observación, que servirán como referencia o base a cálculos posteriores, como prioritarios se enlistan los siguientes

#### Para Piezómetros:

- ◆ Referenciación topográfica.
- ◆ Profundidad de desplante.
- ◆ Fecha de toma de lecturas.
- ◆ Profundidad de NAF.
- ◆ Nivel piezométrico inicial a la profundidad de desplante.
- ◆ Fecha de instalación y de primer lectura.
- ◆ Lecturas durante el periodo de estabilización de los dispositivos.

#### Para Tubos de Observación:

- ◆ Referenciación topográfica
- ◆ Profundidad de desplante

- ◆ Fecha de toma de lecturas
- ◆ Profundidad de NAF

Los datos anteriores, normalmente se colocan en el registro que sirve de protección a los instrumentos, independientemente de tenerlos archivados en un sistema de cómputo y soportado en registros escritos en carpetas bien identificadas.

#### V.4.1. PIEZÓMETRO ABIERTO

Como características generales, se menciona que estos piezómetros son los más utilizados en México por su facilidad de colocación y su economía, estos son recomendables únicamente para suelos arcillosos, son piezómetros instalados en perforaciones verticales hechas con barrenos de 6" de  $\varnothing$ ; constan de un tubo vertical de PVC de 1/2" de  $\varnothing$ , con coples cementados y biselados, el cual tiene la función de comunicar una celda permeable o porosa de 2" de  $\varnothing$  con la superficie del terreno. Tienen el fin de determinar la presión de poro al medir el nivel del agua que se establece en el tubo vertical. Esta información es necesaria para determinar el estado inicial de esfuerzos, definir las condiciones de flujo de agua y conocer la influencia de la obra en la presión de poro. Con este tipo de piezómetros obtienen confiablemente las variables mencionadas solo en estratos permeables y en sitios donde se requiere controlar la subpresión en estratos permeables. La precisión en este tipo de instrumentos es de 1cm con salida lastrada.

Las condiciones piezométricas del sitio se utilizan para determinar la variación de los esfuerzos efectivos ( $\sigma_{ov}$ ), los cuales están dados por la expresión

$$\sigma_{ov} = P_{ov} - u_n \quad \text{-----} \quad 1$$

donde

$$u_n = u_h + u_{Ap}$$

$$u_h = h_w \gamma_w \quad \text{-----} \quad 2$$

y

$$P_{ov} = \sum_{i=1}^n \gamma_i d_i \quad \text{-----} \quad 3$$

donde

$p_{ov}$	=>	Esfuerzos totales
$u_n$	=>	Presión de poro total
$h$	=>	Profundidad de estudio
$h_w$	=>	Altura del NAF
$i$	=>	Estrato
$\gamma$	=>	Peso volumétrico
$d$	=>	Espesor de estrato
$w$	=>	Agua
$u_h$	=>	Presión poro por agua
$u_{\Delta p}$	=>	Presión por $\Delta p$

Antes de iniciar la perforación del pozo se verificará que se tengan todos los elementos que intervienen en la instalación de los piezómetros como son la arena graduada, la bentonita, las tuberías especificadas, la maquinaria de perforación y herramientas de trabajo apropiadas. El filtro se diseña en función de la granulometría aledaña.

Para evitar que las paredes de los pozos perforados, donde se van a alojar los piezómetros, se cierren por acción del tiempo y con el fin de dar tiempo a que el pegamento de los coples pueda endurecerse, en el momento que se realice la perforación deberá tenerse listo el piezómetro para su instalación, debidamente ensamblados la celda permeable y la tubería acoplada a cada 3m, preferentemente en toda su longitud de instalación. Se verificará que la tubería quede perfectamente pegada, ya que existe el riesgo de que al introducir el piezómetro se desprendan los tramos, por el peso propio.

La celda permeable o porosa está constituida de un tubo de PVC de 2" de  $\varnothing$  y 30cm de longitud, con perforaciones de 1mm. de diámetro a cada 10mm. tanto en el sentido vertical como en el horizontal, las cuales permiten el paso del agua; esta celda se rellena con arena que hace la función de filtro y cuya granulometría de las partículas debe estar en un rango tal que pasen por la malla N<sup>o</sup>. 4 y se retenga en la malla N<sup>o</sup>. 40; a su vez, la celda debe estar confinada con un material que la proteja y permita el fácil flujo del agua a ésta, esto se puede realizar con un fieltro o, preferentemente, con un geotextil. Así mismo es importante evitar el contacto de este bulbo con lodos u otros materiales que puedan obstaculizar las perforaciones y por consecuencia el paso del agua. A continuación se muestra un esquema de la celda permeable. Se debe considerar la colocación de un tubo telescopiado.

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

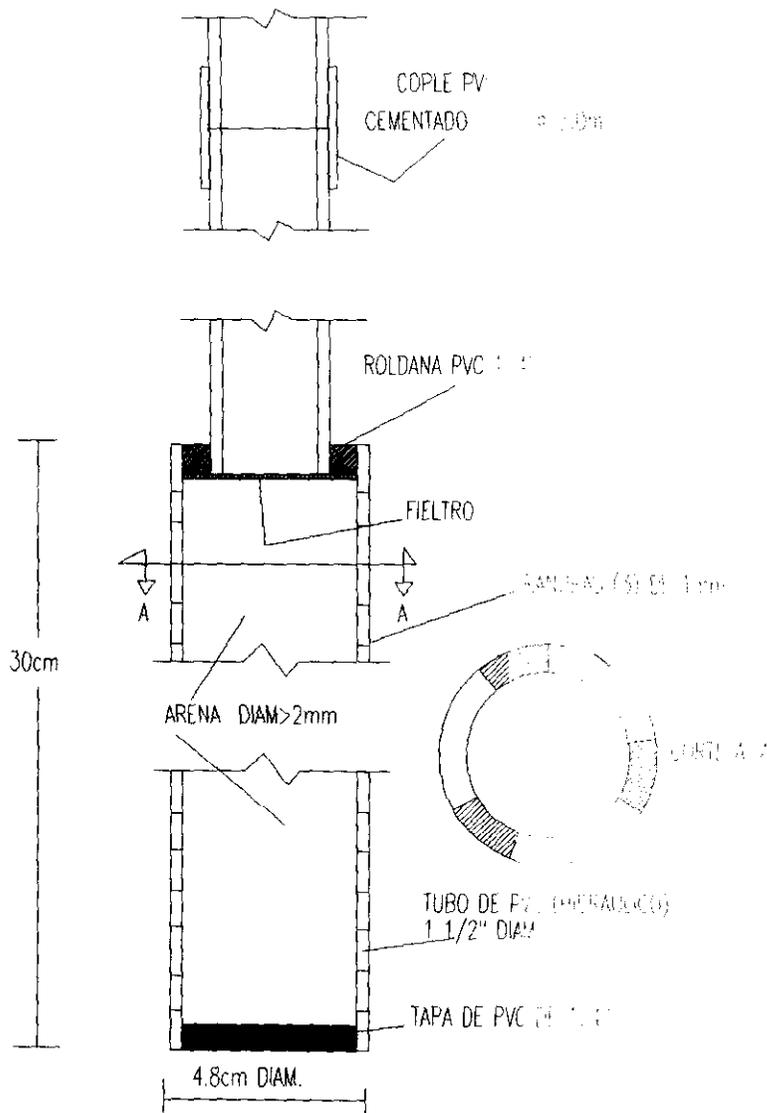


Figura.V.1. Celda Permeable de Piezómetros Abiertos

La celda deberá ser impermeable en su parte inferior, por lo que se colocará una tapa de 2" de  $\varnothing$  y un tapón ciego de 1/2" de  $\varnothing$  de PVC. En la parte superior de esta celda se colocará otra tapa de 2" de PVC que servirá a su vez para unir la celda con el primer tramo de la tubería de 1/2" de  $\varnothing$ .

Es recomendable que no se utilicen tubos metálicos para piezómetros abiertos, ya que podrían ser afectados por el fenómeno de anisotropía; esto se refiere a la producción de fenómenos electroquímicos que causa la aparición de gases, los cuales al cambiar de volumen por efecto de la presión, dificultan la permeabilidad o flujo del agua hacia la celda porosa y aumentan el tiempo de respuesta del instrumento.

## PIEZÓMETROS Y TUBOS DE OBSERVACIÓN

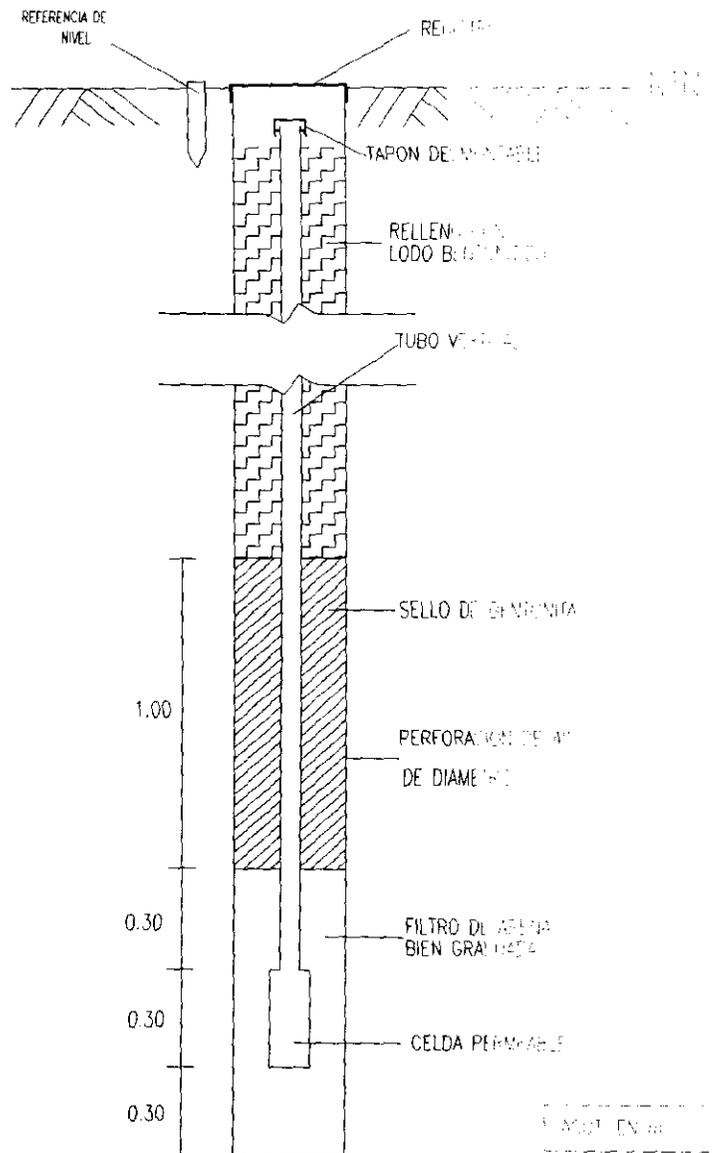


Figura.V.2. Piezómetro Abierto en Conjunto

Una vez ensamblado el piezómetro en superficie, deberá llenarse de agua comprobando la no existencia de fugas en toda su longitud. Adicionalmente, deberá introducirse la sonda eléctrica verificando que las uniones entre los tramos de tubo no obstaculizan su paso. A continuación se muestra un esquema de un piezómetro abierto en conjunto

Construido y verificado el piezómetro, el siguiente paso es la instalación, alojándolo en la perforación previamente realizada con las determinaciones que se mencionan en el inciso anterior "Perforación e Instalación"; aún así, se resume a continuación para darle continuidad al proceso.

- Se realiza una perforación en el suelo de 6" de diámetro utilizando una broca de aletas hasta alcanzar la profundidad indicada en el proyecto utilizando agua para estabilizar las paredes.
- Se baja un ademe que consiste en una tubería de PVC de 2 1/2" de  $\varnothing$  hasta el fondo de la perforación y se hace circular agua limpia hasta que esta salga a la superficie en las mismas condiciones, la perforación deberá quedar libre de azolves.
- Teniendo preparado el piezómetro, ya ensamblado, se levanta el ademe 30cm y se vacía lentamente arena limpia y lavada, graduada entre las mallas N<sup>o</sup>. 4 y N<sup>o</sup>. 14, controlando cuidadosamente el volumen a fin de no exceder la profundidad de instalación de la celda permeable, considerando el abundamiento.
- Se bajará el piezómetro dentro del pozo, comprobando que quede bien asentado en la arena del fondo. Se levantará el ademe en tramos de 10cm, vaciando gradualmente la arena dentro del pozo en cada tramo, hasta 30cm por arriba del bulbo, controlando siempre el volumen de arena que se descarga alrededor. La celda permeable permite que se defina la altura piezométrica del agua en la lente.
- A continuación se levanta el ademe en un tramo de 1.00m y se colocará una capa de bentonita en bolas, previamente preparadas, para sellar alrededor del tubo vertical de 1/2, este sello impide la intercomunicación con otros lentes.
- Después de esta capa de bentonita y para suelos arcillosos se puede colocar un tubo telescopiado con los coples biselados para medir asentamientos en cada estrato hasta medio metro abajo del nivel de terreno natural, posteriormente se retira el ademe de PVC, evitando los rellenos que se mencionan en el siguiente punto.
- Se rellena el espacio anular existente entre el terreno y el tubo vertical telescopiado o del piezómetro según sea el caso, mediante una mezcla bentonita-cemento-agua con la proporción indicada anteriormente hasta alcanzar el nivel de terreno natural.
- Se debe tapar el tubo del piezómetro con una tapa roscable, para evitar que le entre agua u otros materiales que pudieran distorsionar su funcionamiento y consecuentemente, las lecturas.
- Se coloca el registro de protección con los elementos mencionados en el inciso anterior; esta protección albergará la parte superior del tubo con su etiqueta de identificación de la profundidad de la celda y su nivel de referencia.

- Adicionalmente, las mediciones tomadas deberán realizarse con respecto a un nivel de referencia ubicado junto al piezómetro o estación piezométrica.

A continuación se muestra un esquema del procedimiento de instalación de un piezómetro abierto.

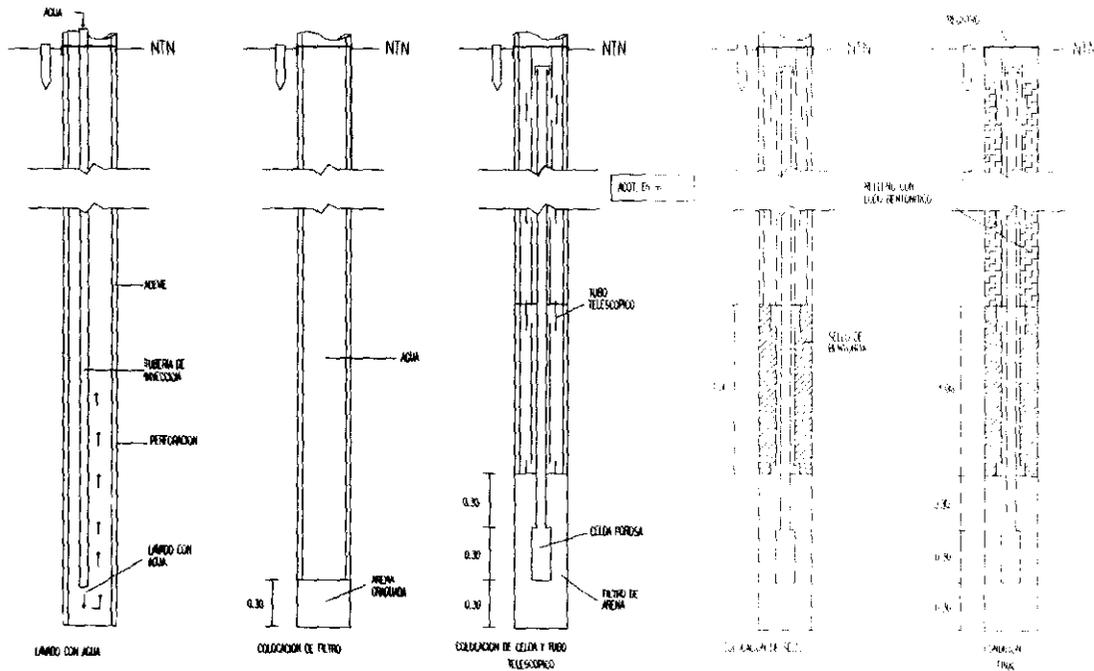


Figura.V.3. Procedimiento de Instalación de Piezómetros Abiertos.

Este tipo de piezómetro basa su funcionamiento en dejar pasar el agua a través de la celda porosa, la cual está intercomunicada con la tubería de PVC de 1/2" que llega hasta nivel de terreno natural y permite que ascienda el agua, que entra por celda, por su interior hasta la altura determinada por la presión de poro existente en determinado punto del suelo.

Al estar establecido el nivel de agua dentro del tubo de salida es posible medirlo; en los piezómetros abiertos la lectura se puede realizar por métodos eléctricos, a continuación se explica:

- En la superficie del terreno se instala un ohmímetro cuyas terminales se juntan, cuidando de que no hagan contacto, en un solo cable eléctrico dúplex flexible con diámetro apropiado para que pueda penetrar en la tubería del piezómetro; es conveniente lastrar este cable con pequeñas masas de plomo para ayudarlo a tener la suficiente tensión y evitar incertidumbre de la

longitud que penetra en la tubería, además de lograr una mejor caída vertical. En el extremo inferior del alambre se instala un taquete de hule o plástico a través del cual se pasan las dos terminales del ohmímetro sin ningún recubrimiento protector (a este conjunto se le conoce como sonda eléctrica). Se hace descender la sonda a una velocidad lenta y constante; cuando las terminales desnudas tocan el nivel de agua y dadas las características de conductividad del agua, se cierra el circuito, manifestándose por medio de un salto brusco de la aguja del medidor del ohmímetro alimentado por baterías. Otro dispositivo eléctrico que se utiliza, esta basado en dos terminales de una sonda eléctrica igualmente alimentado por baterías que, al hacer contacto con el agua, cierra un circuito eléctrico, accionando un dispositivo sonoro en el nivel de terreno natural, como un timbre o zumbador. Es conveniente señalar que el cable que se introduce en la tubería del instrumento debe estar previamente graduado, estableciendo una precisión al milímetro, por lo que al cerrarse el circuito se puede conocer al instante el valor del nivel del agua sobre el terreno natural en dicho punto y por consecuencia el nivel piezométrico, restando a la profundidad de instalación el nivel de agua.

El inconveniente de este tipo de piezómetros es el tiempo que ha de transcurrir entre cualquier cambio en la presión del agua del subsuelo y la respuesta del aparato, motivado por la necesidad de que el volumen relativamente alto de agua entre a la celda permeable y establezca el equilibrio interior; éstas operaciones se hacen muy lentas en suelos poco permeables, por lo que este tipo de piezómetros son más recomendables para zonas permeables del suelo (estratos arenosos). El filtro de arena que envuelve al instrumento, incrementa mucho la eficiencia de la entrada o salida del agua. Por lo tanto, debe tenerse en cuenta el tiempo de demora que requieran los piezómetros abiertos para registrar los cambios que sufren los niveles piezométricos por efecto de:

- Bombeos para abatir.
- Recarga de acuíferos en periodo de lluvias.
- Bombeos superficiales por excavaciones superficiales.
- Aplicación de sobrecargas en la superficie.

#### V.4.1.1. Presentación de Resultados de Piezómetros Abiertos.

Terminada la instalación de los piezómetros o estaciones piezométricas, es indispensable tener un croquis o plano, en planta, de la ubicación de cada uno de estos, marcando la misma nomenclatura que se colocó en la tapa protectora y refiriéndolos respecto al cadenamamiento y/o a los elementos estructurales del proyecto de obra; debe llevar además la orientación respecto al norte. En este dibujo o plano se deben plasmar los avances de obra respecto al tiempo; es decir se irá actualizando, preferentemente al día, el avance de obra con sus respectivas simbologías, fig. V.4.

Para tener al día los avances se pueden elaborar tablas que contengan los eventos con sus respectivas fechas de ejecución y se actualizará diariamente para posteriormente trasladar estos datos a las gráficas y croquis o planos (en la Tabla II.3 se ejemplificó el seguimiento de eventos en la construcción del Puente Vehicular Continentes de la línea B del metro); ésta información se puede complementar con tablas que contengan profundidades máximas de excavación, profundidad de instalación de cada piezómetro y número de estación, en que tipo de estrato se encuentra, niveles de NAF, etc.

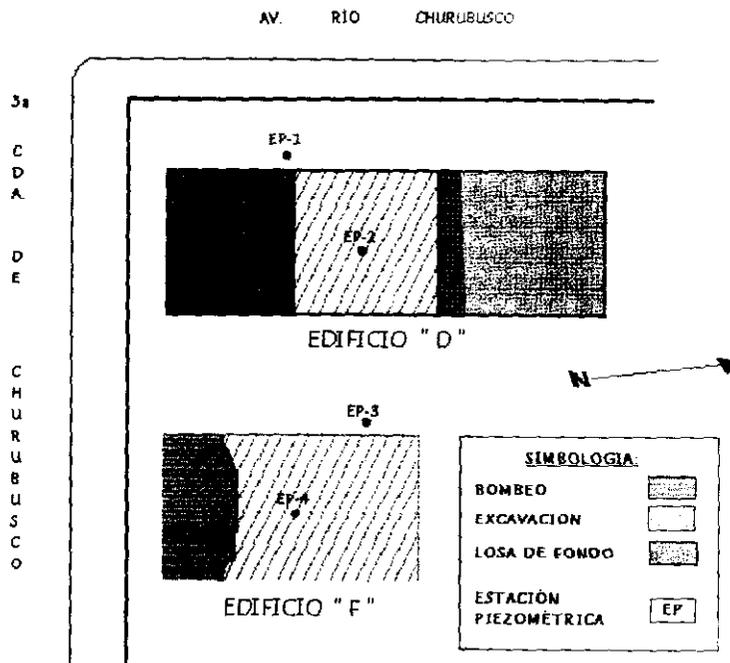


Figura V.4. Ejemplo de Croquis de Ubicación de Piezómetros y Avance de Obra.

Es necesario contar con esquemas y tablas que contengan los datos elementales de las estaciones piezométricas (piezómetros y tubos de observación de que se componen), así como de donde se está partiendo para dar niveles a las referencias de que sirven de apoyo a las lecturas, con sus circuitos de puntos de liga y sus respectivas elevaciones respecto al mar; así mismo es elemental tener un listado donde se mencione los números de bancos que están referidos a cada uno de los estaciones piezométricas.

Estando registrado cada piezómetro, podremos saber con precisión sus características, ubicación e historia del comportamiento del estrato en que se encuentra instalado; sin embargo, muchas veces solo nos dedicamos a recopilar esta información sin darle uso, por lo que es necesario hacer un análisis del comportamiento que se da en cada piezómetro con dicha información.

Para poder elaborar un análisis de los cambios que sufre la presión de poro en el estrato definido por la proyectista e instalado el piezómetro en esta capa en cuestión, primero se deben tener en mente los objetivos y resultados indeseados de su propio comportamiento. Los elementos gráficos como tablas comparativas o gráficas Abatimiento-Tiempo son de mucha ayuda para hacer más fácil este análisis. Al hacer un análisis del comportamiento que resulta de las lecturas realizadas en los piezómetros es necesario saber si existen comportamientos lógicos o si se manifiesta alguna tendencia anormal de este; para verificar o confirmar lo anterior, obviamente se requiere de una serie de lecturas en cada piezómetro a diferentes fechas con la finalidad de conocer los cambios que sufre la presión de poro en dicho estrato respecto al tiempo y durante las diferentes etapas del procedimiento constructivo.

Con objeto de llevar un control organizado de la historia de lecturas en cada piezómetro, es fundamental registrar las obtenidas en las libretas de campo, vaciando las mismas a los formatos para registro de lecturas piezométricas, fig. V.5. Este formato está adecuado para el registro numérico de niveles piezométricos, en él se contienen datos numéricos que al acumularse se cumple con el objetivo de tener una historia del comportamiento piezométrico. Este formato también es utilizado para cualquier otro tipo de piezómetro y para los tubos de observación.

Para el llenado del formato de registro numérico, se debe contar, evidentemente, con los valores de las lecturas de cada piezómetro en sus diferentes fechas y se compone de los siguientes elementos:

- ♦ EST. ⇒ En esta columna se especifica el número de estación, conformada por tres piezómetros y un tubo de observación, cuya referencia debe corresponder a lo inscrito en los croquis de ubicación y físicamente en campo, ejemplo EP-1.

- ♦ **PIEZ.** ⇒ En esta columna se coloca el número de piezómetro que pertenece a la estación de la columna izquierda, este debe corresponder a la nomenclatura en campo y a lo respectivo en los croquis de ubicación de cada estación; con esto se asegura que corresponden a dicha estación y al piezómetro o tubo de observación, ya que podrían existir piezómetros o tubos de observación con el mismo nombre, pero colocados en diferentes estaciones.
- ♦ **ESF. T** ⇒ En esta columna se vaciarán los valores de los esfuerzos totales calculados que corresponden a la profundidad de instalación de la celda permeable del piezómetro o tubo de observación. Estos esfuerzos se calculan utilizando la formula 3, arriba mencionada.
- ♦ **PROF.** ⇒ Se indicará la profundidad a la que está instalada la celda permeable del piezómetro o tubo de observación. Esta se refiere a la distancia entre el punto medio de la celda permeable del piezómetro y el nivel de terreno natural.
- ♦ **LECT.** ⇒ Lectura. Es la medición del nivel de agua dentro del tubo vertical del piezómetro, que se realiza con el dispositivo eléctrico mencionado anteriormente, el cual se basa en un cable eléctrico graduado y un ohmímetro que se acciona al cerrarse un circuito; este circuito se cierra cuando la parte desnuda de ambos extremos del cable hacen contacto con el espejo de agua dentro del tubo del piezómetro, arrojando el valor de la profundidad de este.
- ♦ **EL. PZ.** ⇒ Elevación piezométrica, consecuencia de la presión de poro a la profundidad de instalación de la celda. En la tabla, es aquella cuyo valor es el resultado de la diferencia de la profundidad de instalación de la celda y la lectura del nivel de agua dentro del tubo del instrumento.
- ♦ **ESF. EF.** ⇒ Esfuerzo efectivo. Es la diferencia de los esfuerzos totales y la elevación piezométrica en cada instrumento, es decir, la aplicación de la formula 1, mencionada anteriormente; cuyos valores graficados son los que se utilizan para determinar el comportamiento de la presión de poro a la profundidad de estudio en un punto determinado.
- ♦ **ELEV. I.** ⇒ Es el valor de la elevación inicial de la referencia adosada a cada piezómetro y tubo de observación, que sirve de apoyo a las lecturas piezométricas.
- ♦ **ELEV. U.** ⇒ Es el valor de la elevación de la referencia adosada a cada piezómetro y tubo de observación, arrojado por la última lectura de nivelación realizada en esta.

## PIEZÓMETROS Y TUBOS DE OBSERVACIÓN

- ♦ **D/A** ⇒ Diferencia Acumulada. Esta es aquella cuyo valor es el resultado de la diferencia de la cota de la lectura actual (última) con la cota de la lectura inicial, no importando el número de días que exista entre estas.
- ♦ **FECHA** ⇒ Fecha precisa en que se realizó la lectura que se está registrando de cada piezómetro y tubo de observación.
- ♦ **No. LEC.** ⇒ No. de lectura. Es el numero consecutivo de lectura realizada en cada instrumento, sin importar la frecuencia de lecturas.

<b>EDIFICIOS CHURUBUSCO II</b>											
<b>REGISTRO NUMERICO DE LECTURAS</b>											
<b>EN PIEZÓMETROS Y T.O.</b>											
FRENTE: ESTACIÓN PIEZOMÉTRICA No.4, UBICADA EN INTERIOR											
DEL CUERPO "F"											
EST.	PIEZ. No.	ESF. T t/m <sup>2</sup>	PROF m	LECT m	EL.PZ. m	ESF.EF t/m <sup>2</sup>	ELEV. INICIAL	ELEV. ULTIMA	D/A mm	FECHA	No. LEC.
4	1	34.50	28.00	1.99	26.01	8.49	29.983	29.983	0	07 JUL-98	1
	2	23.50	18.00	1.70	16.30	7.20	29.986	29.984	2	07 JUL-98	1
	3	17.60	13.50	2.30	11.20	6.40	29.992	29.993	1	07 JUL-98	1
	T.O	12.10	7.50	1.50	6.00	6.10	29.980	29.979	-1	07 JUL-98	1
4	1	34.50	28.00	2.01	25.99	8.51	29.983	29.982	-1	09 JUL-98	2
	2	23.50	18.00	1.68	16.32	7.18	29.986	29.984	-2	09 JUL-98	2
	3	17.60	13.50	2.31	11.19	6.41	29.992	29.992	0	09 JUL-98	2
	T.O	12.10	7.50	1.52	5.98	6.12	29.980	29.978	2	09 JUL-98	2
4	1	34.50	28.00	2.28	25.72	8.78	29.983	29.981	-2	11 JUL-98	3
	2	23.50	18.00	1.75	16.25	7.25	29.986	29.985	1	11 JUL-98	3
	3	17.60	13.50	2.34	11.16	6.44	29.992	29.991	-1	11 JUL-98	3
	T.O	12.10	7.50	1.51	5.99	6.11	29.980	29.980	0	11 JUL-98	3
4	1	34.50	28.00	2.49	25.51	8.99	29.983	29.981	-2	14 JUL-98	4
	2	23.50	18.00	1.83	16.17	7.33	29.986	29.984	-2	14 JUL-98	4
	3	17.60	13.50	2.35	11.15	6.45	29.992	29.991	-1	14 JUL-98	4
	T.O	12.10	7.50	1.53	5.97	6.13	29.980	29.979	-1	14 JUL-98	4
4	1	34.50	28.00	2.23	25.77	8.73	29.983	29.981	-2	17 JUL-98	5
	2	23.50	18.00	1.75	16.25	7.25	29.986	29.985	-1	17 JUL-98	5
	3	17.60	13.50	2.31	11.19	6.41	29.992	29.991	-1	17 JUL-98	5
	T.O	12.10	7.50	1.50	6.00	6.10	29.980	29.978	2	17 JUL-98	5
LECTURISTA: ING. ALBERTO MONDRAGON FERNANDEZ											
EST. -> ESTACIÓN PIEZOMÉTRICA						ESF.EF. -> ESFUERZO EFECTIVO (A GRAVICAR)					
PIEZ. -> PIEZÓMETRO						ELEV. I -> ELEVACIÓN INICIAL DE REFERENCIA AUX.					
ESF. T -> ESFUERZO TOTAL (CALCULADO)						ELEV. U -> ELEVACIÓN ULTIMA DE REFERENCIA AUX.					
PROF. -> PROF. DE INSTAL. DE LA CELDA						D/A -> DIFERENCIA ACUMULADA					
LECT. -> PROF. DE NIVEL DE AGUA EN TUBO						FECHA -> FECHA DE LECTURA					
EL. PZ. -> ELEVACIÓN PIEZOMÉTRICA						No. LEC. -> NÚMERO DE LECTURA					

Figura V.5. Formato para Registro de Lecturas Piezométricas

Como se puede observar a cada fecha le corresponde una lectura y por consecuencia un valor del esfuerzo efectivo de cada piezómetro y tubo de observación. Con los valores obtenidos de los esfuerzos efectivos pueden elaborar

gráficas contra el tiempo correspondiente a cada instrumento, anexando gráficamente la historia del procedimiento constructivo de la obra. Así mismo, se pueden graficar los valores de las propias lecturas, donde se observará la evolución del nivel de agua respecto al tiempo. Estas gráficas deben tener los elementos básicos para conocer la relación del esfuerzo efectivo y lecturas respecto al tiempo y en los diferentes procesos de la obra, lo que ayudará a realizar un mejor análisis, esto se esquematiza en la figura IV.6. Estos elementos son:

- ◆ **Número de la Estación** ⇒ Se coloca el número de la estación piezométrica, el cual coincidirá con la nomenclatura en obra, en planos de ubicación y en el formato de registro.
- ◆ **Variable a graficar** ⇒ Se especifica la variable a graficar como puede ser el esfuerzo efectivo, la lectura piezométrica o el nivel piezométrico.
- ◆ **Gráfica** ⇒ Se grafican los datos de la variable seleccionada contra el tiempo de cada instrumento de la estación en cuestión, cada piezómetro o tubo de observación. La variaciones corresponden a los cambios de nivel o de esfuerzos a las diferentes profundidades en que están instaladas las celdas de los instrumentos en un determinado punto; el tiempo se puede graficar por fechas de semanas, meses o días transcurridos a la inicial, esto está en función de lo requerido por la obra.
- ◆ **Avance de obra** ⇒ Se especifican los eventos de la obra, indicando el periodo en fechas correspondientes en que se ejecutan los diferentes procesos de la obra. Este avance se puede esquematizar con barras, letreros rotulados, flecha-banderola, etc.

Así también, con los valores obtenidos de los esfuerzos efectivos, se puede elaborar un perfil de esfuerzo-profundidad, uniendo los puntos de estos de forma lineal en una gráfica vertical, obteniendo un perfil de la variación de esfuerzos efectivos en un determinado sitio. Lo anterior, se hace considerando que en los estratos intermedios la presión de poro varía linealmente, como se muestra en la figura V.7.

Se puede observar que, restando a los esfuerzos totales (calculados con la expresión 3) la magnitud de las elevaciones piezométricas, se obtienen los valores de los esfuerzos efectivos a las profundidades en que se han instalado las celdas permeables. Cumpliéndose entonces con la expresión

$$\sigma_{ov} = P_{ov} - u_n \quad \text{-----} \quad 1$$

y por lo tanto se cumple con el objetivo de observar la variación del estado inicial de esfuerzos durante el proceso constructivo.

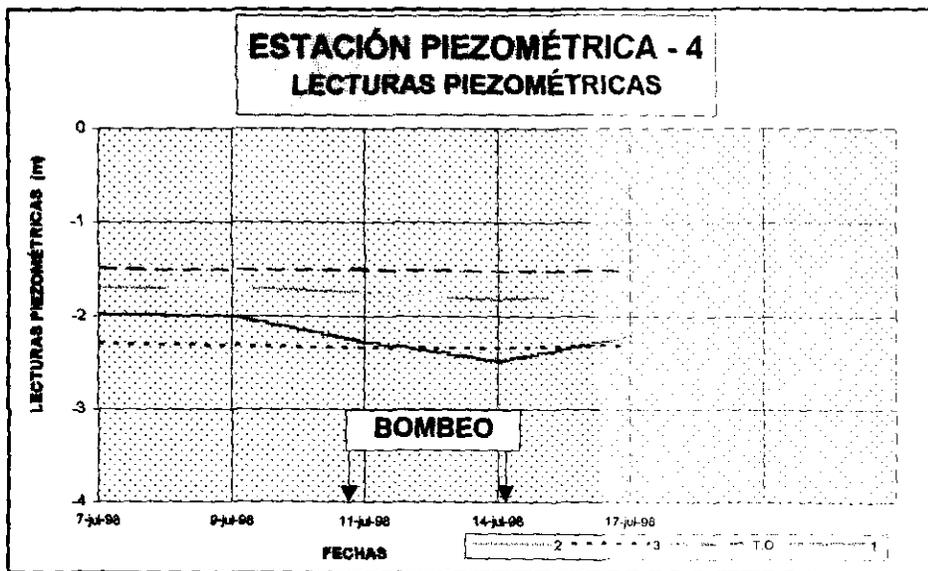
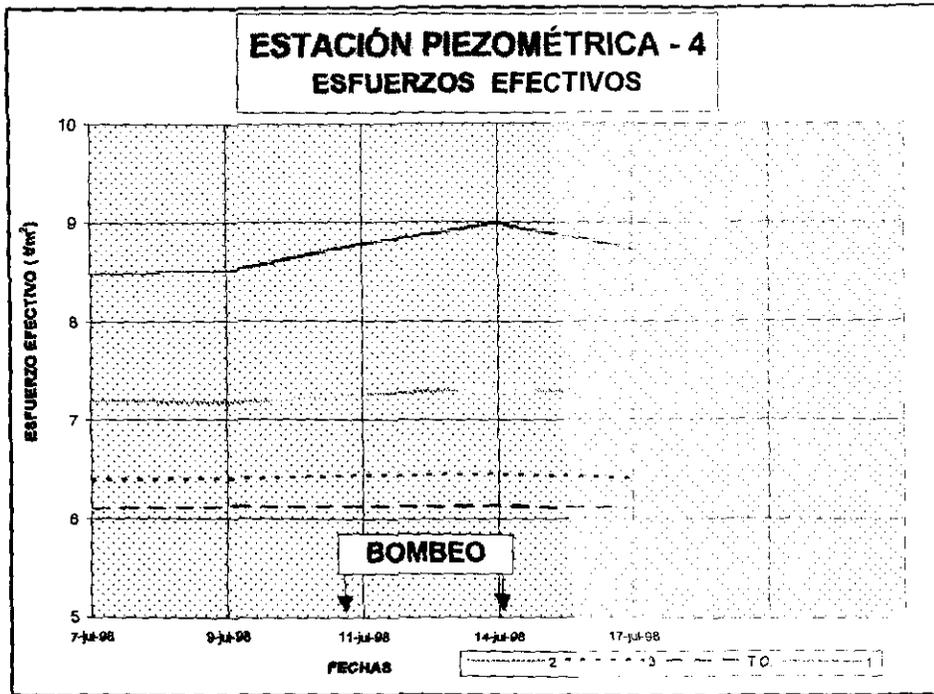


Figura V.6. Gráficas Esfuerzos Efectivos y Lecturas de Estación Piezométrica

Como regla general, se deberá mantener enterada a la empresa proyectista sobre los cambios piezométricos de todos los sitios, por medio de un reporte escrito, copia de las gráficas y copia del registro numérico de lecturas piezométricas; conteniendo toda la información necesaria para el análisis, lo que acontezca y lo que se considere de importancia para comentarlo. Esto se hará semanalmente en situaciones de comportamiento normal o diario para casos extraordinarios.

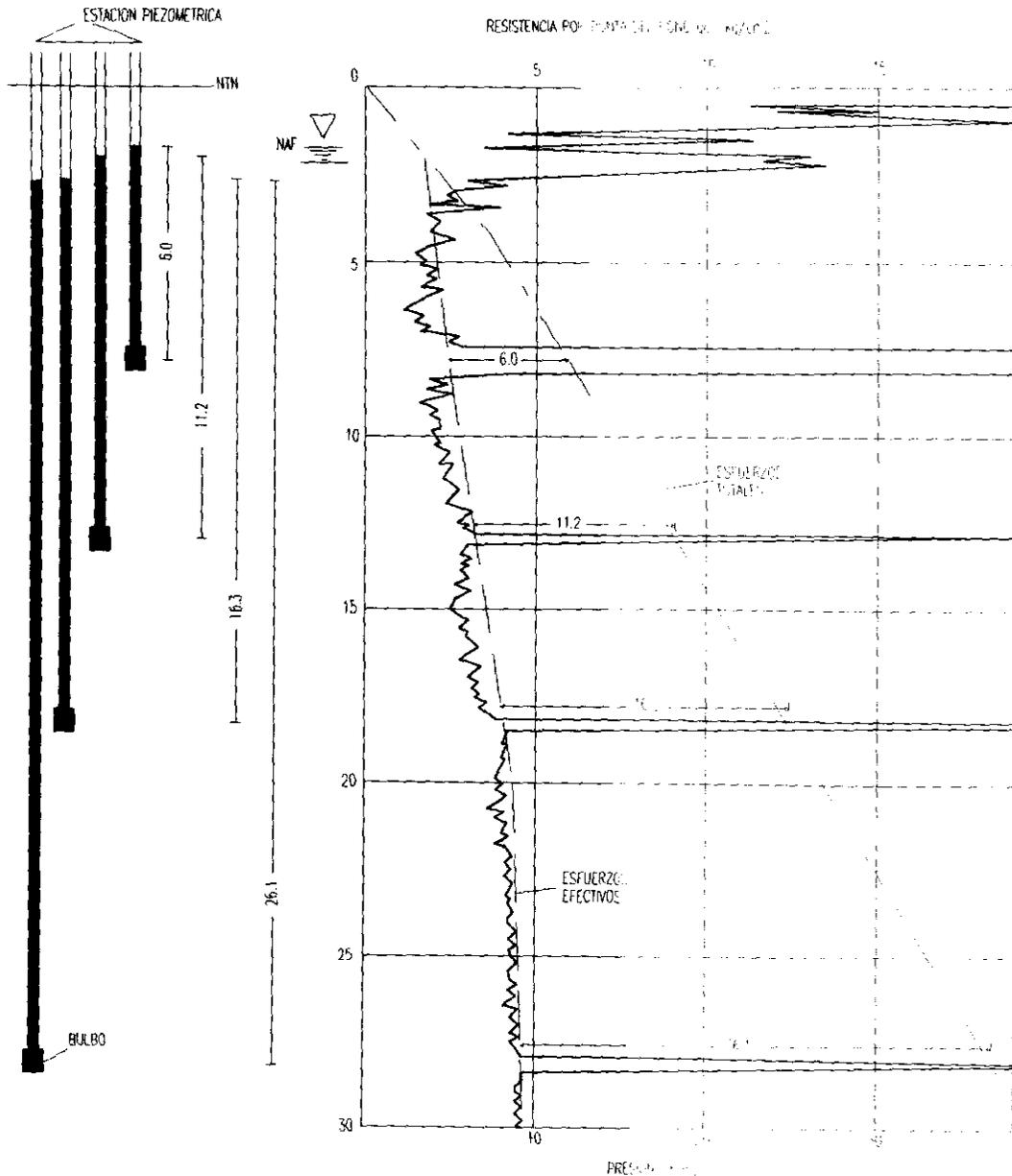


Figura V.7. Gráfica de Esfuerzos - Profundidad

#### V.4.1.2.. Interpretación de Resultados en Piezómetros Abiertos.

Como se mencionó en el punto anterior los resultados pueden ser tabulados y graficados, siendo de gran ayuda para el análisis del comportamiento de los niveles piezométricos respecto al tiempo.

Este análisis se basa en la interpretación de los resultados, por medio de la observación de las gráficas; en donde, la graficación de los esfuerzos efectivos, indica los cambios del estado inicial de esfuerzos en el sitio, registrados para tal o cual evento. Las variaciones deben tener siempre un justificante, es decir, debe existir una lógica del porqué se presentan. Para lograr esto, se deben conjuntar y asociar los valores de los niveles piezométricos o esfuerzos efectivos con los eventos o actividades de la obra.

Pueden existir errores de lecturas, los cuales se pueden detectar cuando existen variantes de los niveles piezométricos sin justificante alguno o sabiendo que existe algún evento de la obra que no afecta al estado de esfuerzos en la profundidad de instalación de dicho instrumento, en estos casos se recomienda que se repitan las lecturas en los puntos de incertidumbre al momento, con el fin de confirmar estos valores y aceptar como válida dicha lectura.

De las gráficas de la figura V.6. se puede comentar lo siguiente :

En las gráficas, contra el tiempo, de valores obtenidos de los esfuerzos efectivos y las lecturas realizadas directamente en campo sobre el tubo vertical del piezómetro, se observa un incremento de estos esfuerzos en el piezómetro 1 (el más profundo), mientras que las lecturas se incrementan o, mejor dicho, la profundidad del espejo de agua en el tubo del piezómetro se abate durante el proceso de bombeo profundo; esto indica que, cuando el suelo pierde contenido de agua los esfuerzos efectivos se incrementan. Ciertamente este resultado es muy útil considerando que en los objetivos se busca la observación de los cambios que sufre el estado de esfuerzos durante los procedimientos constructivos; sin embargo, en esta gráfica se puede observar que los otros dos piezómetros y en el tubo de observación existen variaciones muy ligeras, lo que indica que quizá no se está cumpliendo con el objetivo que se busca como podría ser el abatimiento de los estratos más cercanos al nivel de terreno natural para el proceso de excavación.

Otra observación es que al terminar el evento del bombeo se empieza a recuperar el nivel piezométrico y a recuperar el esfuerzo efectivo, esperando obviamente otro tipo del comportamiento en los siguientes procesos de la obra que afecten los niveles piezométricos y esfuerzos; en estos, seguramente, por la descompensación que sufre el suelo al quitarle un gran peso en la excavación, independientemente de la reacción que normalmente presentan las arcillas. Lo anterior da la pauta para que la empresa proyectista analice los resultados y

evalúe los mismos, con el fin de que estos cumplan con otro de los objetivos, verificando el abatimiento piezométrico que se genere y que sea el correcto, determinando la separación y desplante de proyecto de los pozos de bombeo para aplicarlo en otros proyectos con condiciones semejantes.

Es claro observar en este ejemplo, que las actividades de la obra están afectando a las condiciones iniciales del terreno, es decir, las variantes de los esfuerzos efectivos se justifican por los eventos de la obra. Sin embargo, debemos recordar que pueden existir variantes no justificables o no siempre existen variables durante los procedimientos constructivos. Por tal motivo, al haber incertidumbre, es importante que la brigada encargada del monitoreo realice una lectura adicional en dichos puntos, ese mismo día.

Al hacer un análisis profundo de cada piezómetro, se pueden obtener tantos puntos de vista como personas lo analicen; sin embargo, siempre se tendrá que llegar a un acuerdo siguiendo la lógica de los niveles piezométricos que se presenten en relación a los eventos de cada obra, y que las personas que lo hagan tengan criterio analítico y experiencia en el comportamiento de los suelos, para este análisis se deben tomar en cuenta todos los elementos como la correcta cantidad de agua extraída con el bombeo, el proceso de excavación indicado en las especificaciones, la temporada del año, etc ; en fin, todos los posibles factores que pudieran intervenir en el comportamiento de estos niveles.

#### V.4.2. PIEZÓMETRO ABIERTO HINCADO

Este tipo de piezómetro está integrado por un tubo de cobre de 5/8" de  $\varnothing$  y 30cm de longitud, con perforaciones de 5mm, forrado con fieltro o un geotextil permeable; un tubo de fierro galvanizado de 3/4" de  $\varnothing$  en tramos de 1m de longitud con coples y una punta cónica de acero de 2.7cm de  $\varnothing$  con sello temporal de silicon al tubo galvanizado. (fig. V.8). Este tipo de piezómetro solo se puede instalar en estratos permeables.

A diferencia del piezómetro abierto simple, este tipo de instrumento no necesita de una perforación total previa a su instalación, solo se necesita de una barrena helicoidal para instalarlos en estratos duros utilizando el equipo de perforación para su hincado, de otra manera se puede hacer de forma manual, con la ayuda de un marro. Ya instalado el instrumento y dadas sus características, las lecturas y obtención de los resultados resultan semejantes a los piezómetros mencionados; por lo tanto, igualmente tienen el fin de determinar la presión de poro al medir el nivel del agua que se establece en el tubo vertical. Esta información es necesaria para determinar el estado inicial de esfuerzos, definir las condiciones de flujo de agua y conocer la influencia de la obra en la presión de poro. Con este tipo de piezómetros obtienen confiablemente las variables mencionadas solo en estratos permeables al no

utilizar lodos para estabilizar. La precisión en este tipo de instrumentos es de 1cm con salida lastrada.

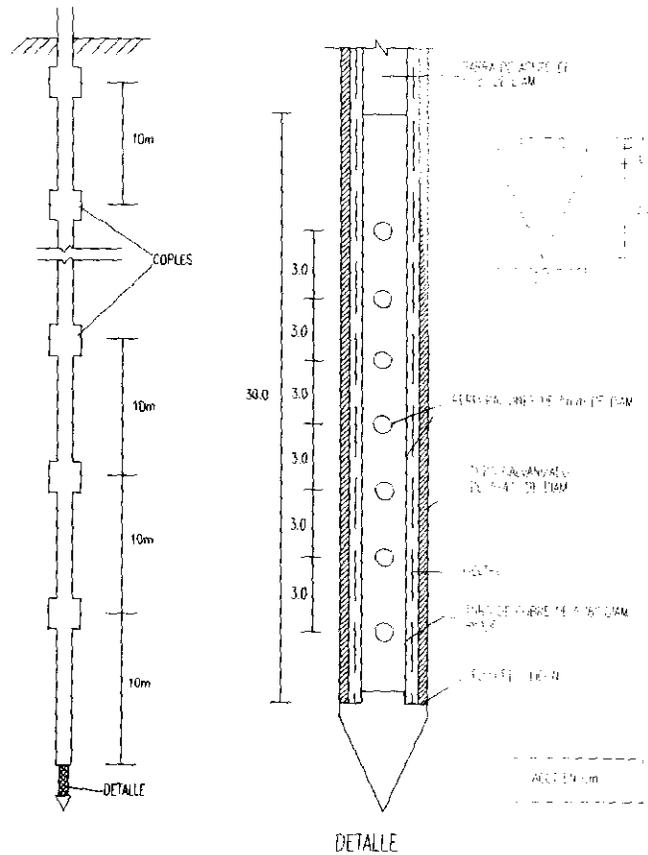


Figura V.8. Piezómetro Abierto Hincado

Antes de su instalación debe verificarse que todos los elementos para la instalación y los componentes del piezómetro se encuentren en el sitio; deberá tenerse listo el piezómetro para su instalación, debidamente ensamblados la celda permeable y la tubería acoplada a cada metro, preferentemente en toda su longitud de instalación.

La celda permeable o porosa está constituida de un tubo de cobre rígido de  $5/8''$  de  $\varnothing$  y 30cm de longitud, con perforaciones de 5mm. de diámetro a cada 3cm de separación en sentido vertical, en forma de tresbolillo diametralmente opuestos, las cuales permiten el paso del agua, la celda debe estar confinada con un material que la proteja y permita el fácil flujo del agua a esta, esto se puede realizar con un fieltro o con un geotextil. Así mismo es importante evitar el contacto de este bulbo con lodos u otros materiales que puedan obstaculizar las perforaciones y por consecuencia el paso del agua.

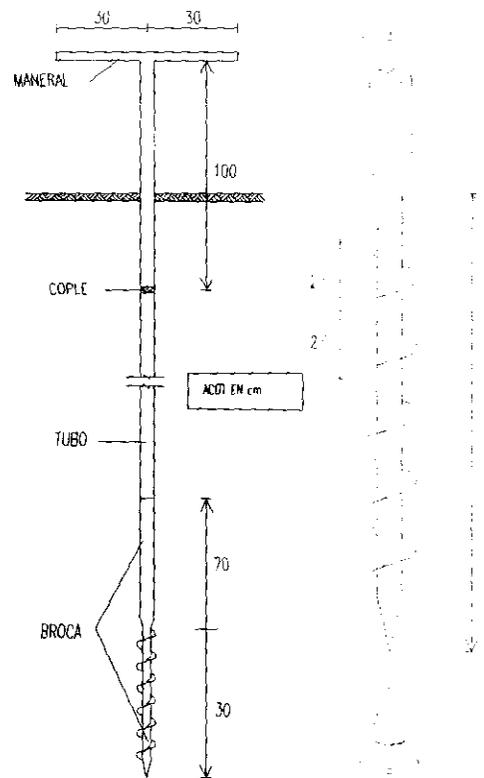


Figura. V.9. Barrena Helicoidal

La celda tiene una punta de acero en su parte inferior, cuya función es facilitar la penetración del instrumento en el suelo y servir de frontera impermeable inferior de la celda.

Una vez ensamblado el piezómetro en superficie, deberá llenarse de agua comprobando la no existencia de fugas en toda su longitud. Adicionalmente, deberá introducirse la sonda eléctrica verificando que las uniones entre los tramos de tubo no obstaculizan su paso.

Construido y verificado el piezómetro, el siguiente paso es la instalación. A continuación se enlista el procedimiento a seguir:

- Perforar manualmente con una barrena helicoidal (fig. V.9.) o con perforadora mecánica, hasta un metro por arriba de la profundidad de instalación.
- Hincar el piezómetro en el suelo en la posición cerrada, hasta la profundidad de proyecto; en estas condiciones el sello de silicón evita que penetren agua y lodos al interior del tubo. Si el hincado se hace a percusión, se requiere una

cabeza protectora de la rosca de los tubos; si se hinca a presión, deben usarse mordazas laterales.

- Se introduce en el piezómetro una barra auxiliar de acero de 5/8" de diámetro, en tramos de 1.5m. con cuerda, para formar una columna continua; a continuación se introduce agua, hasta igualar el nivel en el interior del tubo (NA) con el nivel freático (NAF). En seguida, con la barra auxiliar se empuja a presión la punta de la celda permeable, o bien con los impactos de un martillo hasta abrir el piezómetro 20cm.
- Al extraer la barra de acero, deberá agregarse agua de manera que el nivel de agua (NA) no cambie bruscamente, sino que se mantenga cerca o arriba del nivel freático (NAF); a continuación, este nivel tenderá a encontrar su posición de equilibrio.

En la figura V.10. se esquematiza este procedimiento de instalación

Este tipo de piezómetro basa su funcionamiento en dejar pasar el agua a través de la celda porosa, la cual está intercomunicada con la tubería galvanizada de 3/4" que llega hasta nivel de terreno natural y permite que ascienda el agua por su interior hasta la altura determinada por la presión de poro existente en determinado punto del suelo.

Al estar establecido el nivel de agua dentro del tubo de salida es posible medirlo; como ya se mencionó en estos instrumentos la toma de la lectura tiene el mismo procedimiento que los piezómetros abiertos, por lo que la lectura se puede realizar por métodos eléctricos. Instalando un ohmímetro cuyas terminales se lastran con pequeñas masas de plomo para ayudarlo a tener la suficiente tensión y lograr una mejor caída vertical, cuando éstas terminales desnudas tocan el nivel de agua se cierra el circuito, manifestándose por medio de un salto brusco de la aguja del medidor del ohmímetro alimentado por baterías. Es conveniente señalar que el cable que se introduce en la tubería del instrumento debe estar previamente graduado, estableciendo una precisión al milímetro; de esta forma se puede conocer al instante el valor del nivel del agua sobre el terreno natural en dicho punto y por consecuencia el nivel piezométrico, restando a la profundidad de instalación el nivel de agua.

No se debe omitir que se debe tapar el tubo del piezómetro con una tapa roscable, para evitar que le entre agua u otros materiales que pudieran distorsionar su funcionamiento y consecuentemente, las lecturas; así como colocar un registro de protección con los elementos mencionados para piezómetros abiertos; esta protección albergará la parte superior del tubo con su etiqueta de identificación de la profundidad de la celda y su nivel de referencia, este último ubicado junto al piezómetro o estación piezométrica.

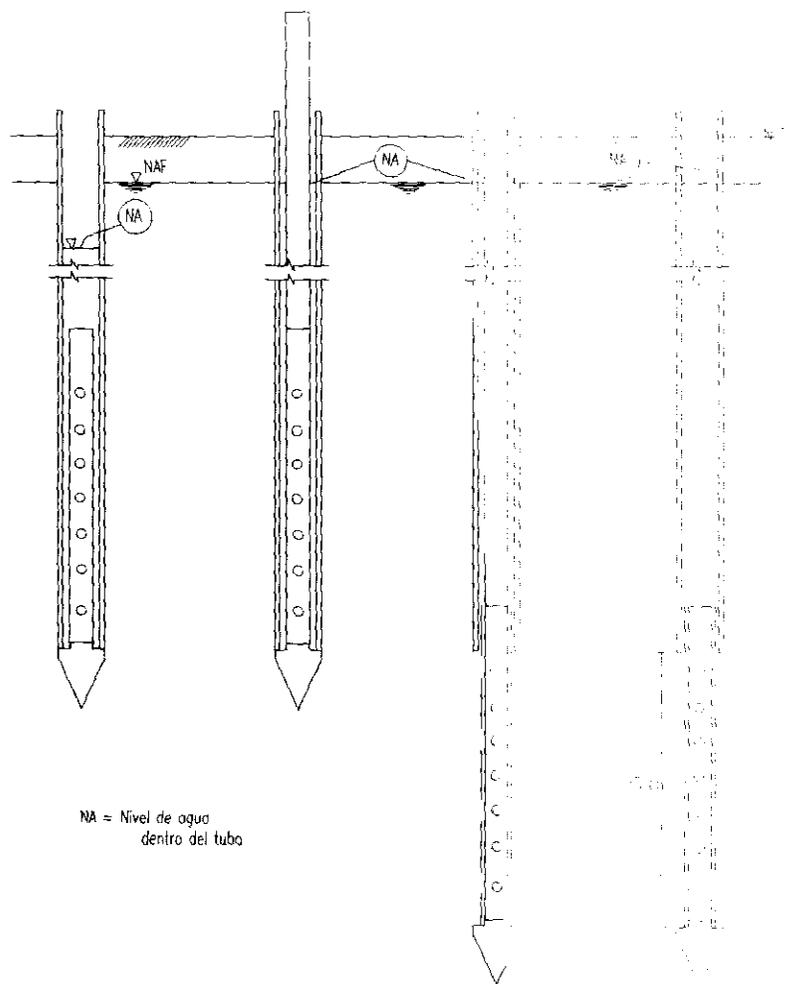


Figura V.10. Instalación de Punta de Piezómetro Abierto

Los elementos permeables del piezómetro deben colocarse estrictamente en estos permeables, lo cual asegurará su buen funcionamiento. Esto se puede hacer aprovechando un perfil estratigráfico obtenido con el cono eléctrico, ya que esta técnica detecta confiablemente y con precisión los estratos permeables y los duros, de secado solar, de pómez o de arenas volcánicas con mayor permeabilidad que las arcillas intermedias.

El inconveniente de este tipo de piezómetros es el tiempo que ha de transcurrir entre cualquier cambio en la presión del agua del subsuelo y la respuesta del aparato, motivado por la necesidad de que se establezca el equilibrio interior. Por lo tanto, debe tenerse en cuenta el tiempo de demora que requieran los piezómetros abiertos para registrar los cambios que sufren los niveles piezométricos por efecto de:

- Bombeos para abatir.
- Recarga de acuíferos en periodo de lluvias.
- Bombeos superficiales por excavaciones superficiales.
- Aplicación de sobrecargas en la superficie.

#### V.4.2.1. Presentación e Interpretación de Resultados de Piezómetros Abiertos Hincados.

Al ser las lecturas de la misma forma que los piezómetros abiertos, por consecuencia la presentación de los resultados será igual. Así que, terminada la instalación de los piezómetros o estaciones piezométricas, es indispensable tener un croquis o plano, en planta, de la ubicación de cada uno de estos, marcando la misma nomenclatura que se colocó en la tapa protectora y refiriéndolos respecto al cadenamamiento y/o a los elementos estructurales del proyecto de obra. En este dibujo o plano se deben plasmar los avances de obra respecto al tiempo; es decir se irá actualizando, preferentemente al día, el avance de obra con sus respectivas simbologías, fig. V.4.

Para tener al día los avances se pueden elaborar tablas que contengan los eventos con sus respectivas fechas de ejecución y se actualizará diariamente para posteriormente trasladar estos datos a las gráficas y croquis o planos (en la Tabla II.3 se ejemplificó el seguimiento de eventos en la construcción del Puente Vehicular Continentes de la línea B del metro); ésta información se puede complementar con tablas que contengan profundidades máximas de excavación, profundidad de instalación de cada piezómetro y número de estación, en que tipo de estrato se encuentra, niveles de NAF, etc.

Es necesario contar con esquemas y tablas que contengan los datos elementales de las estaciones piezométricas (piezómetros y tubos de observación de que se componen), así como de donde se está partiendo para dar niveles a las referencias de que sirven de apoyo a las lecturas, con sus circuitos de puntos de liga y sus respectivas elevaciones respecto al mar; así mismo es elemental tener un listado donde se mencione los números de bancos que están referidos a cada uno de los estaciones piezométricas.

Estando registrado cada piezómetro, podremos saber con precisión sus características, ubicación e historia del comportamiento del estrato en que se encuentra instalado.

Para poder elaborar un análisis de los cambios que sufre la presión de poro en el estrato definido por la proyectista e instalado el piezómetro en esta capa en cuestión, primero se deben tener en mente los objetivos y resultados indeseados de su propio comportamiento. Los elementos gráficos como tablas comparativas o gráficas Abatimiento-Tiempo son de mucha ayuda para hacer más fácil este análisis. Al hacer un análisis del comportamiento que resulta de las lecturas realizadas en los piezómetros es necesario saber si existen comportamientos lógicos o si se manifiesta alguna tendencia anormal de este; para verificar o confirmar lo anterior, obviamente se requiere de una serie de lecturas en cada piezómetro a diferentes fechas con la finalidad de conocer los cambios que sufre la presión de poro en dicho estrato respecto al tiempo y durante las diferentes etapas del procedimiento constructivo.

Con objeto de llevar un control organizado de la historia de lecturas en cada piezómetro, es fundamental registrar las obtenidas en las libretas de campo, vaciando las mismas a los formatos para registro de lecturas piezométricas, fig. V.5. Este formato está adecuado para el registro numérico de niveles piezométricos, en él se contienen datos numéricos que al acumularse se cumple con el objetivo de tener una historia del comportamiento piezométrico. Para el llenado del formato de registro numérico, se debe contar, evidentemente, con los valores de las lecturas de cada piezómetro en sus diferentes fechas, la descripción de este formato y sus elementos se hizo en el punto V.4.1.1

Se observa que a cada fecha le corresponde una lectura y por consecuencia un valor del esfuerzo efectivo de cada piezómetro y tubo de observación. Con los valores obtenidos de los esfuerzos efectivos pueden elaborar gráficas contra el tiempo correspondiente a cada instrumento, anexando gráficamente la historia del procedimiento constructivo de la obra. Así mismo, se pueden graficar los valores de las propias lecturas, donde se observará la evolución del nivel de agua respecto al tiempo. Estas gráficas deben tener los elementos básicos para conocer la relación del esfuerzo efectivo y lecturas respecto al tiempo y en los diferentes procesos de la obra, lo que ayudará a realizar un mejor análisis, esto se esquematizó en la figura IV.6 y se explico en el punto V.4.1.1

Así mismo, los valores obtenidos de los esfuerzos efectivos, se pueden graficar elaborando un perfil de esfuerzo-profundidad, uniendo los puntos de estos de forma lineal en una gráfica vertical, obteniendo un perfil de la variación de esfuerzos efectivos en un determinado sitio, como se muestra en la figura V.7. En la cual se observa que, restando a los esfuerzos totales (calculados con la expresión 3) la magnitud de las elevaciones piezométricas, se obtienen los valores de los esfuerzos efectivos a las profundidades en que se han instalado las celdas permeables y por lo tanto se cumple con el objetivo de observar la variación del estado inicial de esfuerzos durante el proceso constructivo.

La interpretación de los resultados será la mencionada en V.4.1.2., pues se utilizó el ejemplo de las fig. V.5. y V.6. sin embargo no se deben despreciar las recomendaciones hechas en este punto.

#### V.4.3. PIEZÓMETRO NEUMÁTICO

Es un piezómetro cuyo funcionamiento es a base de presión de aire. En este aparato se mide la presión que ejerce el agua sobre una membrana o diafragma, directamente por medio de un manómetro de mercurio, como el volumen de agua que se requiere para activar la membrana en reducido, su tiempo de respuesta es corto; por lo tanto estos aparatos son recomendables para detectar los cambios de presión de poro de un proceso constructivo, inclusive para estratos arcillosos.

El sensor está formado por dos piezas cilíndricas de acero inoxidable, unidas con 6 tornillos de 1/4" de  $\varnothing$ , ambas piezas aprisionan perimetralmente la membrana flexible de acero inoxidable o plástica de teflón que tiene un espesor de 0.002". Por debajo de la membrana se encuentra el bulbo perimetral permeable de PVC con ranuras perimetrales de 1mm. de espesor en arreglo de 3, relleno de arena; así como la piedra porosa fina, la cual se introduce previamente saturada de agua desairada para reducir los retardamientos de respuesta. Por arriba están los dos arosellos, el exterior que sella herméticamente a la membrana y el interior que sirve para controlar la entrada y salida del aire a presión. Se complementa este aparato con dos tubos flexibles *polyflo* de 3/16" de  $\varnothing$  uno para entrada y otro para salida del aire a presión, finalmente, un tramo de tubería de PVC de 3/4" de  $\varnothing$  en cuyo extremo inferior queda fijo el piezómetro neumático.

Las celdas porosas deben estar coincidiendo preferentemente con los estratos permeables, para asegurarse de su mejor funcionamiento; si es necesario, estos piezómetros pueden colocarse en un estrato arcilloso, aún cuando hace más lento su tiempo de respuesta; se pueden instalar correctamente en este tipo de estratos, aprovechando un perfil estratigráfico realizado con cono eléctrico. Se puede colocar únicamente en estratos permeables, ya que su condición de supresión pudiera poner en peligro la estabilidad de una excavación, ya que permitirían detectar cambios de presión en corto tiempo.

Este tipo de piezómetros se instalan en perforaciones verticales siguiendo la metodología enlistada punto de *Perforación e Instalación*. El cuidado adicional que se recomienda para este tipo de instrumentos es proteger con tapones los tubos de flexibles de *polyflo* de entrada y salida de aire, identificando el extremo superior de cada línea. Es necesario tomar en cuenta que un solo

grano de arena que penetre en los tubos de aire obstruiría el funcionamiento del piezómetro. Por la delicadeza de los piezómetros neumáticos en la instalación y operación, deben encomendarse estos trabajos a personal debidamente capacitado. Los piezómetros neumáticos operan confiablemente en estratos arcillosos, a condición de que en la interpretación de las mediciones se tome en cuenta la demora en su tiempo de respuesta.

Los piezómetros cuentan con la característica de requerir una calibración previa a su instalación, esta debe ser a una presión del doble de la operación, para lo cual se introducen en una cámara hermética llena de agua a presión; dicha cámara tiene dos orificios para el paso de los tubos flexibles que conducen el aire. La calibración consiste en aplicar una presión conocida al agua y medir la correspondiente en el piezómetro. Los piezómetros neumáticos deben calibrarse con una aproximación de  $\pm 0.01 \text{ kg/cm}^2$ , evitando desarmarlos posteriormente, para evitar que varíen las condiciones de la membrana

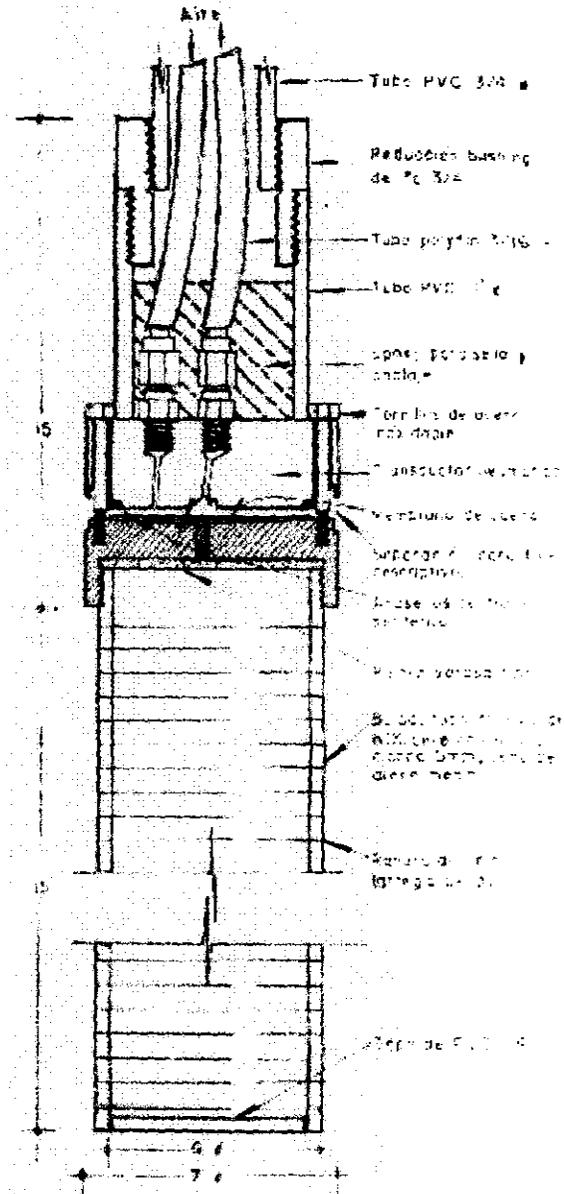
### Operación

La presión ejercida en la celda porosa hace que la membrana de teflón se oprima hacia arriba, esta presión se determina equilibrándola con aire, valiéndose de un sistema de aire a presión controlada, usualmente es a través de una consola de medición ( a presión de  $4 \text{ kg/cm}^2 = 40 \text{ m}$  columna de agua). En el exterior existe una unidad de toma de aire en la que el tanque de aire de presión introduce este elemento a través de la de la tubería plástica de entrada hasta la unidad sensible. El dispositivo de toma de aire incluye el tanque con su manómetro acoplado y un regulador de presión, en el cual ésta se ajusta a valores próximos a los que se espera sea la presión que en el agua se va a medir; otro manómetro debe estar instalado inmediatamente después del regulador de presión, para conocer el valor de este concepto que finalmente llegará el aire a la unidad sensible. Cabe comentar que recientemente se están utilizando otros gases en vez de aire, para lograr menor reactivada química y otras ventajas.

El aire inyectado llegará a la cámara A ( figura V.11) que es una sección tiroidal circular y presiona hacia abajo a la membrana, hasta lograr desplazarla ligeramente, junto con el apoyo metálico. En ese momento se produce una fuga de aire en el anillo de neopreno y el elemento puede pasar a la tubería de salida, llegando a la consola de medición.

En la consola de medición se registra la presión con que llega el aire, en un manómetro; probablemente esta presión es parecida a la que tiene el agua en la celda porosa, pero lógicamente algo mayor. Para que la presión del aire que se recibe represente exactamente a la presión del agua en la celda porosa se recurre a una llave de fuga controlada en la propia consola de medición la cual se abre gradualmente, observando la presión en el manómetro de  $4 \text{ kg/cm}^2$  que registra

la presión en la membrana. A continuación se abre la válvula del manómetro de mercurio y se mide con una precisión de 1mm.



Dibujos sin escala  
 Dimensiones en milímetros

Figura V.11. Piezómetro Neumático

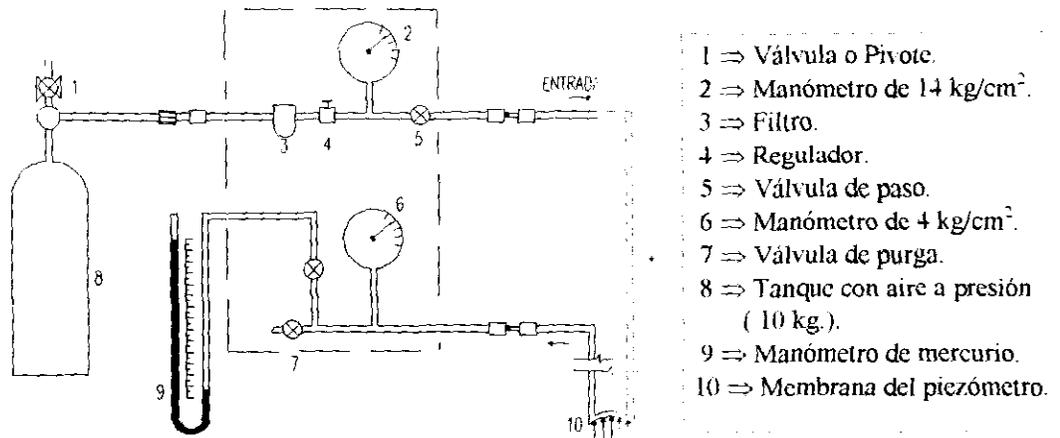


Figura V.12. Consola de Medición

Al abrir esta llave, el aire disipa cualquier presión en exceso de la mínima necesaria para mantener el flujo general. De hecho la medida en el manómetro de la consola de medición, se hace en el momento en que el anillo de neopreno vuelve a impedir la circulación general del aire. En rigor, esta presión así medida sólo da la presión del agua en la celda porosa a través de una curva de calibración previa hecha para todo el aparato en el laboratorio, debido a que el equilibrio de la membrana no indica la igualdad de las presiones de aire y agua por arriba y por abajo de ella, puesto que estas dos presiones se ejercen a través de áreas algo diferentes. La curva de calibración previa tiene la ventaja adicional de que en ella quedarán automáticamente tomados en cuenta todos los aspectos, que abrían de ser recogidos, referentes a efecto de la rigidez de la membrana, disipación de presión en las tuberías, etc.

Estos instrumentos tienen un tiempo de retardamiento de respuesta bastante bajo, del orden de algunas pocas horas para suelos impermeables y menor tiempo para suelos permeables. Así mismo cuentan con una precisión = 1cm con manómetro diferencial de mercurio.

La medición de la altura piezométrica debe estar relacionada con un nivel de referencia superficial instalado junto al piezómetro.

La presentación de resultados y su interpretación son de manera similar a la mencionada en los piezómetros abiertos.

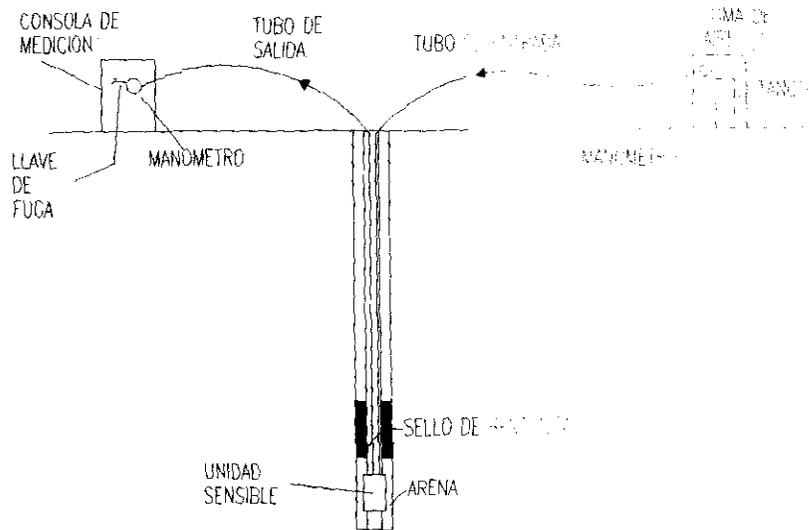


Figura V.11. Conjunto de Piezómetro Neumático y Sistema de Medición

#### V.4.4. PIEZÓMETROS ELÉCTRICOS

Estos piezómetros deben ser instalados en perforaciones verticales hechas con barrenos de 4" de  $\varnothing$ ; constan de una celda porosa, la cual contiene una membrana cuyas funciones y características son semejantes a las mencionadas para los piezómetros neumáticos. Las piezas eléctricas llevan conectado un cable que comunica la celda porosa con una consola de medición en la superficie, este cable debe ir inmerso en la perforación, la cual se rellenará con arena, bolas de bentonita y mezcla bentonita-cemento-agua con las cantidades que se mencionarán en párrafos siguientes, evitando además que el cable eléctrico tenga contacto con las paredes del terreno. Los piezómetros eléctricos que se mencionarán aquí son los más comunes, se trata de los que usan dispositivos eléctricos tipos cuerda vibrante y strain-gages, los cuales se describirán más adelante.

Antes de iniciar la perforación del pozo se verificará que se tengan todos los elementos que intervienen en la instalación de los piezómetros como son la arena graduada, la bentonita, las tuberías especificadas, el cable suficiente para la profundidad deseada, los instrumentos debidamente saturados y calibrados, la maquinaria de perforación y herramientas de trabajo apropiadas.

La celdas de este tipo de instrumentos es de celdas porosas permeables, las que contienen en su parte interior una membrana flexible que se acciona con la presión en exceso del agua y un dispositivo de deformación eléctrico que envía una señal de tipo eléctrico a la consola de medición, la cual hace una traducción

de las respuestas eléctricas a presiones, la magnitud de estas presiones es factible siempre y cuando exista una calibración de precisión previa en el laboratorio.

Es recomendable que se utilice la menor cantidad piezas metálicas en estos piezómetros, ya que podrían ser afectados por la producción de fenómenos electrolíticos que causa la aparición de gases, los cuales al cambiar de volumen por efecto de la presión, dificultan la permeabilidad o flujo del agua hacia la celda porosa y aumentan el tiempo de respuesta del instrumento; además, provocan efectos de corrosión y ataque a las partes metálicas fundamentales por parte de las aguas impuras frecuentes en suelos arcillosos.

Estos piezómetros pueden estar instalados en estratos permeables (arenosos) o impermeables (arcillosos) con igual capacidad de respuesta dada su sensibilidad, la diferencia estiba en su instalación, mientras que para estratos permeables se deberán alojar en una capa de arena media con la granulometría mencionada para los piezómetros abiertos, para estratos impermeables el piezómetro se alojará en el propio terreno.

Construido y calibrado el piezómetro, el siguiente paso es la instalación, alojándolo en la perforación previamente realizada de igual manera que se hizo con los piezómetros abiertos, considerando la diferencia que mencionó en el párrafo anterior. En resumen se ejecuta lo siguiente:

- Se realiza una perforación en el suelo de 4" de diámetro utilizando una broca de aletas hasta alcanzar la profundidad indicada en el proyecto utilizando agua para estabilizar las paredes.
- Se baja un ademe que consiste en una tubería de PVC de 2 1/2" de  $\varnothing$  hasta el fondo de la perforación y se hace circular agua limpia hasta que esta salga a la superficie en las mismas condiciones, la perforación deberá quedar libre de azolves.
- Teniendo preparado el piezómetro, conectado y calibrado, se levanta el ademe 30cm y se vacía lentamente arena limpia y lavada, graduada entre las mallas N<sup>o</sup>. 4 y N<sup>o</sup>. 14, esto en caso que quede alojado en un estrato arenoso, controlando cuidadosamente el volumen a fin de no exceder la profundidad de instalación de la celda permeable, considerando el abundamiento.
- Se bajará el piezómetro dentro del pozo, comprobando que quede bien asentado en el fondo. Se levantará el ademe en tramos de 10cm, vaciando gradualmente la arena dentro del pozo en cada tramo, hasta 30cm por arriba del bulbo, siempre y cuando éste se aloje en estratos permeables, controlando siempre el volumen de arena que se descarga alrededor.

- A continuación se levanta el ademe en un tramo de 1.00m y se colocará una capa de bentonita en bolas, previamente preparadas, para sellar alrededor del cable eléctrico, este sello impide la intercomunicación con otros lentes.
- Se rellena el espacio anular existente entre el cable eléctrico y el terreno, mediante una mezcla bentonita-cemento-agua, con la proporción indicada para piezómetros abiertos, hasta alcanzar el nivel de terreno natural.
- Se deben aislar y proteger los extremos de los cables del piezómetro alojándolos en una caja metálica o una caseta, en caso de tener la consola instalada en sitio, para evitar la distorsión de las lecturas o su funcionamiento. Esta protección albergará la parte superior del cable con su etiqueta de identificación de la profundidad de la celda y su nivel de referencia.

El principio de operación de estos instrumentos es el descrito para los piezómetros neumáticos. Existe la correspondiente celda porosa a través de la cual el agua presiona hacia arriba una membrana flexible, esta celda por lo general tiene un diámetro de 1" y 8" de altura. En la parte superior de la membrana está fijo el dispositivo eléctrico de medición, que puede variar de unos modelos a otros, pero que generalmente consiste en un dispositivo de cuerda vibrante o un sistema de medidores eléctricos de deformación (deformómetros tipo strain-gages), estos alcanzan mayor sensibilidad con menor deformación volumétrica por lo que son más confiables en estratos arcillosos poco permeables. A continuación se describen brevemente.

**Cuerda Vibrante.** En el piezómetro con cuerda vibrante, existe uno de estos elementos dentro de la unidad sensible. El extremo inferior de esta cuerda está ligado a la membrana medidora de presión de que se habló. En las condiciones iniciales la cuerda tiene una cierta longitud y una cierta tensión, de manera al ser excitada por un electroimán vibra con una cierta frecuencia natural. Para este tipo existen dos formas de medición. Una, es aquella en que en la consola de medición, sobre la superficie del terreno, existe otra cuerda idéntica cuyo extremo inferior se puede mover ligeramente con un tornillo micrométrico; los circuitos de ambas cuerdas están puenteados, de manera que las frecuencias de vibración de ambas cuerdas pueden compararse, estableciendo el momento en que son iguales, lo que sucede en la posición inicial del aparato. 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 mover el tornillo micrométrico de la cuerda de la consola de medición, hasta igualar las dos frecuencias. Puede conocerse lo que ha sido necesario modificar la longitud de la cuerda de la consola y estos valores se traducen a una lectura de presión correspondiente mediante una calibración

previa cuidadosa hecha en el laboratorio. Otra forma de medición es muy semejante a la anterior, a excepto que en la consola no existe una segunda cuerda; en esta, al hacer la excitación con el electroimán la consola recibe la frecuencia de la cuerda ubicada en el dispositivo sensible y la traduce a presiones, puesto que ya es conocida la presión inicial, se resuelve una diferencia y arroja un valor relativo que corresponde al valor de la presión de poro, esto solo es posible con la obligada calibración previa y diferentes pruebas a detalle. El aparato es de respuesta prácticamente instantánea y relativamente poco sensible a problemas derivados de la acción física-química de las aguas.

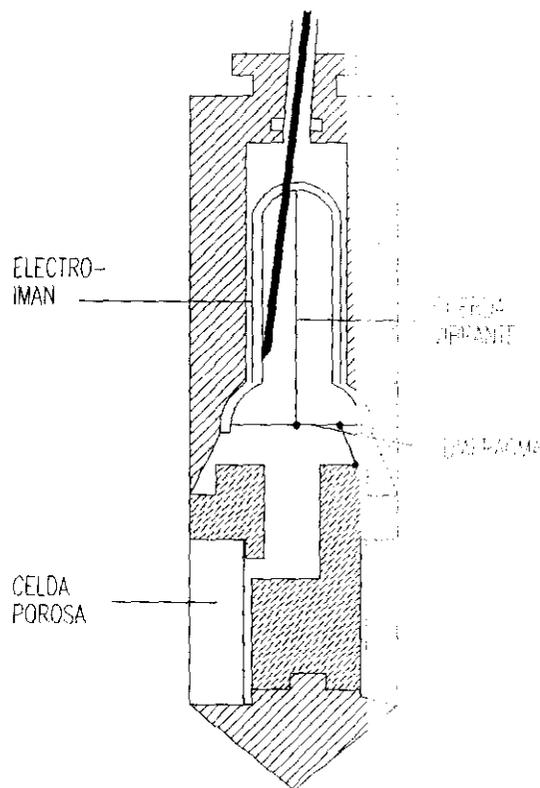


Figura V.14. Piezómetro Cuerda Vibrante

**Strain Gages.** Estos son semejantes en funcionamiento a los de cuerda vibrante, es decir traducen una respuesta eléctrica a presiones, a diferencia que están integrados por deformómetros eléctricos tipo strain-gages, estos son pequeñas celdas que contienen un filamento metálico cuya resistencia cambia con la longitud, se disponen sobre la membrana captadora de presión. Cuando la membrana de deforma se hace la lectura correspondiente automáticamente en la consola de medición. Existen hoy medidores es espiral, muy apropiados al caso; de hecho existen sistemas automáticos controlados con un sistema de cómputo que recopila datos con frecuencias preestablecidas o automáticamente a través

de acelerómetros que dan la señal al sistema para recopilar datos de presiones, por ejemplo durante un evento sísmico. Estos Presentan un resistencia variable (unidad sensible) y está integrada a un puente de Wheatstone de modo que es posible detectar cualquier cambio de resistencia que se produzca en el aparato. Al ser automáticos se facilita la medición, pues solo basta con mirar la consola y apuntar la resistencia actual comparándola con al inicial, en otro caso lo hará el sistema de computo con la ventaja de arrojar la impresión de la gráfica de los valores de cambio e presión respecto al tiempo. Este sistema está implementado en la cimentación del puente impulsora del metropolitano línea "B".

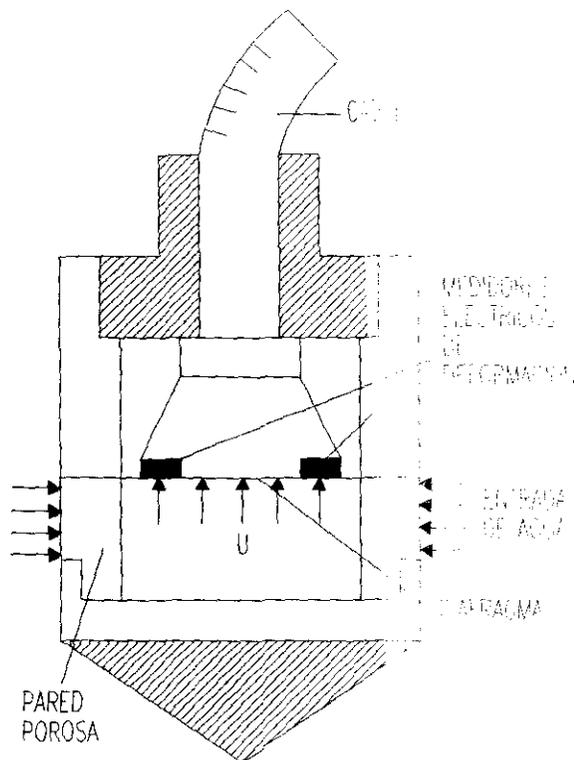


Figura V.15. Piezómetro Strain-Gages

La instalación de un piezómetro eléctrico y dadas sus características de sensibilidad y delicadeza, merece tanta atención como el diseño y construcción del mismo. Un sellado ineficiente puede echar a perder el funcionamiento de cualquier aparato; otro tanto se puede decir de un mal filtro. En piezómetros eléctricos profundos instalados en suelos muy deformables, con frecuencia se produce un fenómeno de autohincado, que genera una presión en la punta, de manera que el piezómetro, actuando como émbolo, da lecturas falseadas. Se cuidará que estos instrumentos se instalen fuera de influencia, donde los valores son carentes de significación, en lo que se refiere a la consolidación que produce la sobrecarga en la superficie; esto es cuando los esfuerzos inducidos llegan a ser

de un 5% al 10% de la presión superficial. En estos mismos casos, otra fuente de error puede tenerse por el cambio de posición del dispositivo a lo largo del tiempo. Por ello es fundamental utilizar los rellenos recomendados en puntos anteriores, pues estos últimos productos de error se resuelven aislando el aparato y su cable de conexión de los movimientos del terreno circundante.

Obviamente los resultados se presentarán e interpretaran de la forma mencionada para los otros tipo de piezómetros.

#### V.4.5. TUBOS DE OBSERVACIÓN

Este dispositivo permite determinar la posición del nivel freático, así como su variación con respecto al tiempo y en las diferentes estaciones climatológicas del año. Sirve para detectar el abatimiento de este nivel a largo plazo; esta medición es indispensable para definir el estado de esfuerzos de la masa de suelo en el sitio y su evolución respecto al tiempo.

El tubo de observación es un ducto vertical instalado en una perforación que profundiza con al menos un metro abajo del nivel freático máximo el sitio con un diámetro de 10cm, hecha con barrena helicoidal para evitar lodos en su estabilización; su parte inferior es permeable con el fin de permitir la entrada del agua freática y su parte superior tapada con bentonita para evitar que le entre agua. Consta de un tubo vertical de PVC de 1" de  $\varnothing$  en cuyos extremos se colocará un tapón de PVC de 1" de  $\varnothing$  para evitar que el agua entre por ellos, se deberán hacer ranuras horizontales de 1mm de espesor en un tramo de 1.5m de longitud, esta longitud se cubrirá con un geotextil o malla de mosquitero que harán la función de filtro; el espacio anular entre el tubo y la perforación debe estar relleno con arena media entre las mallas No. 4 y No. 40 y el tramo del último metro se rellenará con bentonita en bolas formando un sello, de las mismas características que los piezómetros abiertos. En la figura V.16. se muestra un esquema del tubo de observación y sus características mencionadas.

Es elemental tener ensamblado el tubo de observación previo a su instalación, incluso previo a la perforación donde se alojará; es decir, se deberá tener preparado el tubo de observación al momento de realizar la perforación para introducirlo en ella, tomando en cuenta su longitud total, siendo recomendable dejarlo a 15cm antes del nivel de terreno natural. Lo que implica que se debe medir el tramo total con cinta métrica antes de introducir el piezómetro a la perforación.

## PIEZÓMETROS Y TUBOS DE OBSERVACIÓN

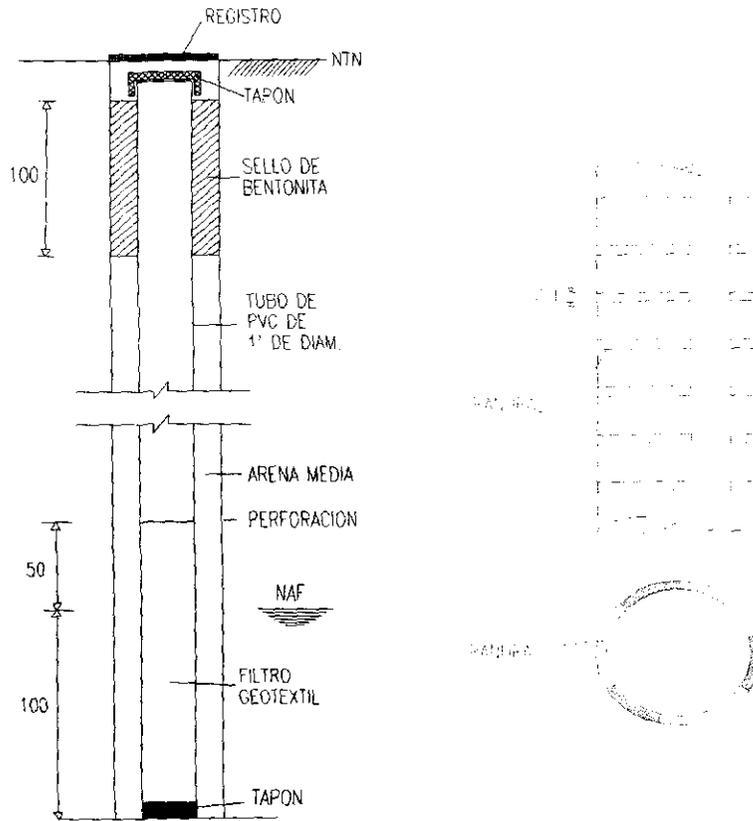


Figura V.16. Tubos de Observación

Antes de empezar con la perforación para instalar los piezómetros, se debe consultar en planos, la posición de las obras inducidas o elementos de la propia obra que pudieran interferir a la instalación de estos o su funcionamiento, ya que podría ser necesaria su reubicación. Se debe hacer un programa secuencial de instalación de los tubos de observación, basándose en el avance o programa de la obra en cuestión. Ya que, es muy común que se tenga una gran cantidad de tubos de observación a instalar, pudiéndose dar el caso de iniciar la obra sin instalar uno en determinada zona; por lo que se tomará en cuenta el programa mencionado, ubicando en campo el sitio exacto donde se instalará el instrumento de medición; la ubicación se hará por métodos topográficos, apoyados en referencias topográficas de la propia obra, colocando una referencia superficial fija en el punto exacto de su instalación; como ejemplo, podría ser una varilla enterrada con su extremo superior pintado o con una banderola.

Para las perforaciones donde se van a instalar tubos de observación no es recomendable estabilizar las paredes con lodo, provocaría un mal funcionamiento del instrumento. Por tal motivo se esta recomendando usar la barrena helicoidal para realizar la perforación.

Por lo general, la fabricación del tubo se realiza en el sitio de su instalación; por lo tanto, se debe tomar en cuenta que todos los materiales, herramienta y equipo deben estar en el sitio, verificando la cantidad necesaria de cada elemento para cumplir con lo requerido; además que cada uno de los materiales deberán apegarse al sistema de aseguramiento de calidad con las pruebas que sean necesarias.

Así, el procedimiento de perforación e instalación es el que secuencialmente se describe en los siguientes puntos, sin despreciar las recomendaciones anteriores.

- Se realiza la perforación con una barrena helicoidal, con el fin de obtener condiciones optimas de permeabilidad en las paredes, hasta alcanzar la profundidad deseada, utilizando agua para estabilizar las paredes, verificando que la barrena esté totalmente vertical, corroborándolo con una niveleta de mano
- Se inspeccionará que la profundidad sea la indicada en el proyecto, esto se hace colocando marcas en la tubería acoplada de perforación a cada metro de distancia, correctamente medidos con cinta metálica ó flexómetro, tomando en cuenta toda la longitud de la barrena.
- Estabilizada la perforación, se procede de inmediato a bajar el tubo de observación hasta el fondo de la excavación, el cual irá cubierto con una funda plástica o un tubo metálico, cuya función es evitar en todo momento que el filtro se contamine con lodos y que tenga contacto con el suelo durante el proceso.
- Se comprobará que el tubo quede bien asentado en el fondo de la excavación evitando que éste tenga contacto con la misma. Verificado lo anterior, se procede a levantar el protector plástico o tubo metálico y se vaciará lentamente arena limpia y lavada, graduada entre las mallas No. 4 y No. 40 hasta un metro antes del nivel de terreno natural, controlando cuidadosamente el volumen a fin no exceder la profundidad de instalación de la celda permeable. Es importante hacer el cálculo del volumen considerando el abudamiento de la arena y la anchura real de la perforación. En este proceso se debe cuidar que la base del tubo de observación no se deje caer por gravedad al fondo de la perforación.

- A continuación, se levanta la funda plástica o ademe metálico hasta el nivel de terreno natural y se coloca una capa de bentonita en bolas, previamente preparadas, para sellar alrededor del tubo vertical que compone al instrumento. Estas deberán tener una consistencia parecida a una barra de plastilina.
- Al estar instalado el tubo se protegerá con un registro de las mismas características que los piezómetros, marcando en la tapa la nomenclatura del tubo de observación con su etiqueta de identificación de profundidad y su nivel de referencia para el mejor control de cada uno.

Las lecturas se ejecutan utilizando una sonda eléctrica integrada por un cable dúplex flexible, un medidor de resistencias (óhmetro) y un lastre metálico, al igual que en los piezómetros abiertos. Adicionalmente, las mediciones tomadas deberán realizarse con respecto a un nivel de referencia ubicado junto al tubo de observación. Para la presentación de los resultados, se pueden graficar los niveles freáticos respecto al tiempo y su interpretación se realiza de la misma manera a la mencionada para los piezómetros abiertos.

Estos dispositivos deben instalarse abundantemente: en cada sitio donde se tenga un sondeo, se instale una estación piezométrica o se tenga incertidumbre de la posición del nivel freático. La profundidad de instalación se puede precisar también durante la perforación.

## VI. INCLINÓMETROS.

### VI.1. OBJETIVOS

El objetivo de los inclinómetros es que a través de ellos se conozcan las posibles inclinaciones del terreno o de estructuras propias de la obra; es decir, conocer la distribución de los desplazamientos horizontales con la profundidad que se presentan en la masa de suelo cercana a las excavaciones o en elementos estructurales de la propia obra.

Para cumplir con este objetivo es necesario apoyarse de los instrumentos conocidos como inclinómetros. Este tipo de instrumentos permite medir los cambios de una vertical, están constituidos por una tubería vertical flexible del tipo telescópico colocada dentro de un barreno o en una estructura con el fin de definir la distribución de movimientos laterales al deformarse el suelo en función de la profundidad medida con respecto al nivel del terreno natural y del tiempo.

### VI.2. DESCRIPCIÓN

Los inclinómetros están constituidos por una tubería flexible telescópica, generalmente por tramos de aluminio de 75cm de diámetro interior, unidos entre si mediante coples biselados; la tubería tiene cuatro ranuras verticales diametralmente opuestas que sirven de guía a la sonda de medición. Los coples que unen los tramos de tubería, consisten en dos secciones media caña, de 8.79 cm de diámetro interior y 30 cm de longitud y abrazan la tubería con la que tienen un traslape de 7.5 cm. El cople se envuelve en toda su longitud con cinta adhesiva tipo "Poliken". Se instalan en perforaciones totalmente verticales y limpias de azolve.

Los elementos principales que conforman o constituyen al inclinómetro son Ademe, Sonda, Cable Eléctrico Graduado y Unidad de Control y lecturas.

Ademe. Tubería de tipo telescópico generalmente de aluminio, unida con coples tiene ranuras longitudinales perpendiculares entre si, que sirven de guía a la sonda durante las mediciones.

Sonda. Es la unidad de medición portátil, que se aloja en el sensor de inclinación, es una masa guía instrumentada que genera una señal eléctrica proporcional a su inclinación, existen diferentes tipos de sondas en función de sus características. Tiene comunicación con la unidad de control por medio del cable

eléctrico graduado que a la vez sirve de referencia para conocer la profundidad de la sonda en los distintos niveles de medición.

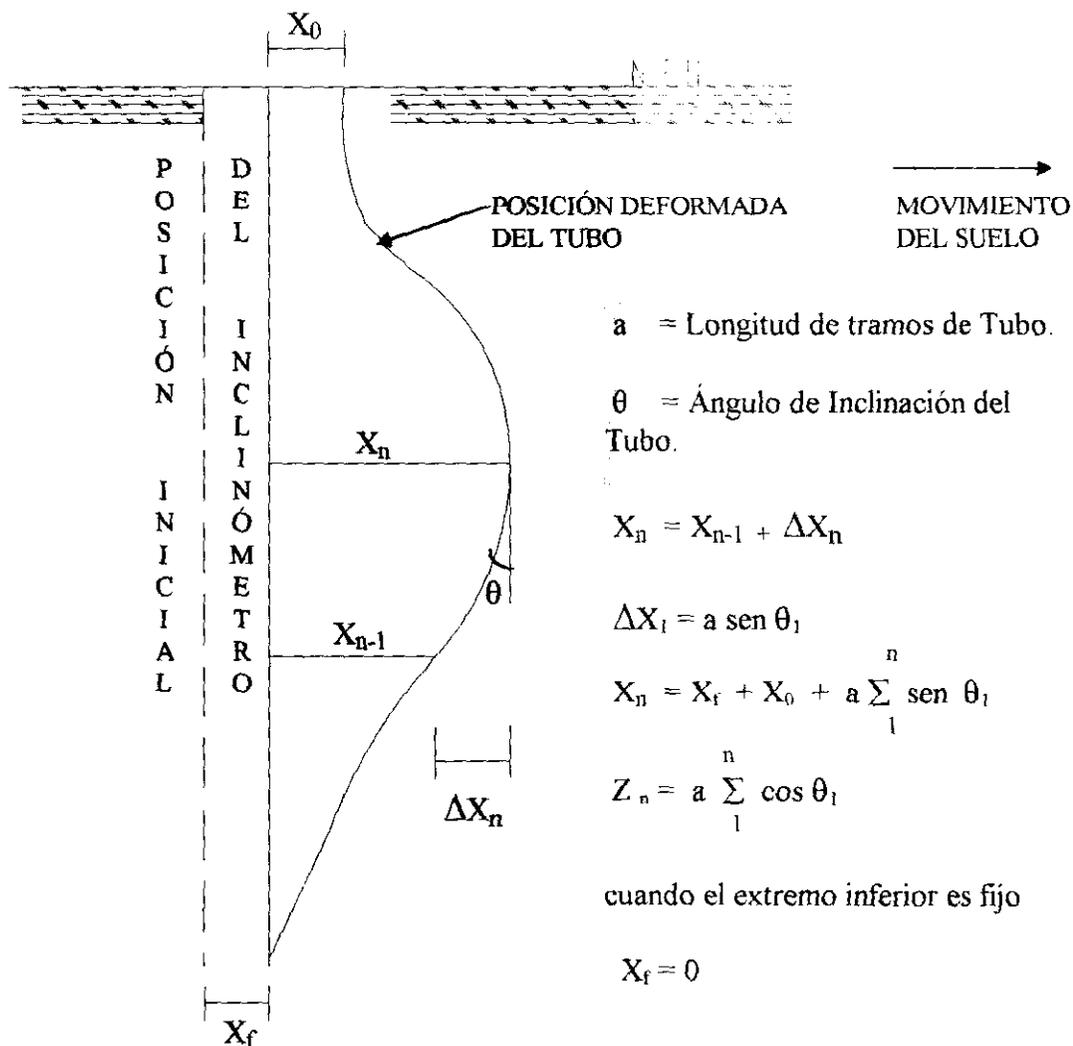


Figura VI.1. Principio del Inclinómetro

En algunas investigaciones se han utilizado otros instrumentos menos elaborados como tubos de 2" y 3" de diámetro, como complemento para obtener información de desplazamientos horizontales para apoyarse y poder ayudar a definir la posición de cualquier superficie de falla que pudiera desarrollarse de acuerdo a los análisis de estabilidad. 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 barra. Estos instrumentos tan sencillos en ocasiones proporcionan información útil a un costo bajo y disponible en el momento requerido.

El inclinómetro más empleado es el desarrollado por S.D. Wilson y C.W. Holcock en la década de los años 60's, que consiste en una tubería de aluminio extruido o PVC en la que se introduce un torpedo que sube o baja por la tubería ayudándose de cuatro ruedas que se deslizan sobre las ranuras de ésta.

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

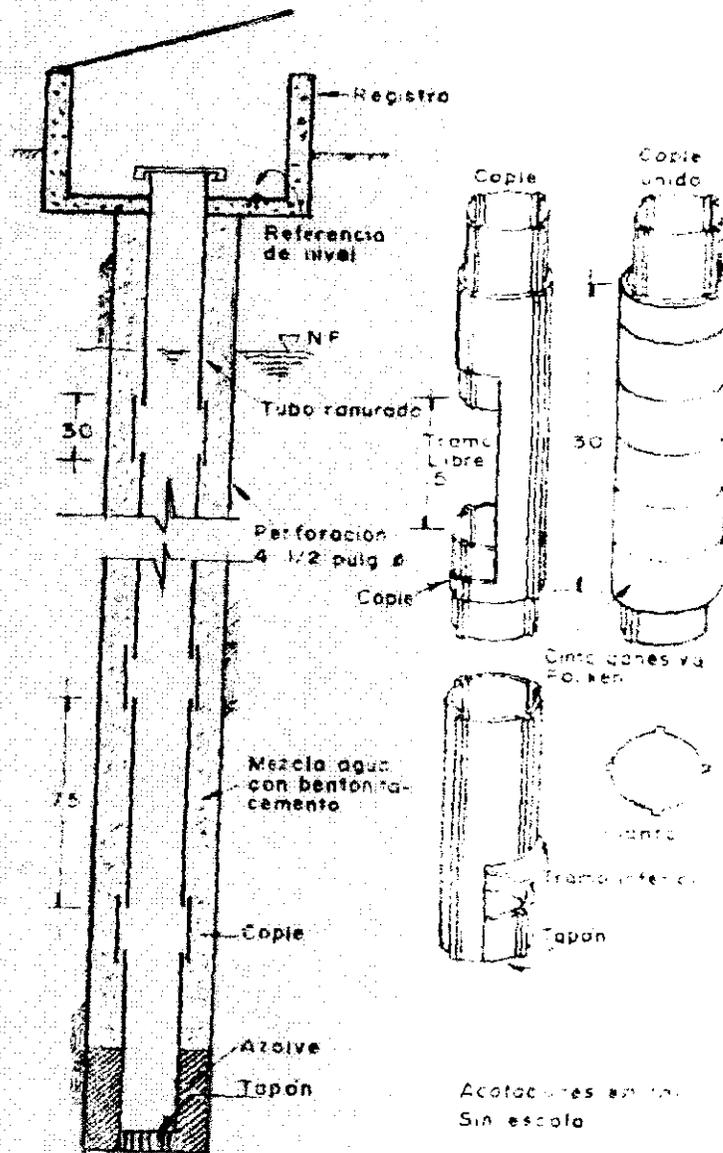


Figura VI.2. Inclinómetro

Existe otro tipo de inclinómetro el "Digitilt", 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. No muy común en México.

### VI.3. METODOLOGÍA, PRESENTACIÓN E INTERPRETACIÓN

La profundidad de los inclinómetros se fijará a partir de la estratigrafía del sitio y del análisis de las superficies potenciales de falla, de tal manera que se asegure el empotramiento de la base del ademe. En términos generales la metodología es la siguiente, aunque en los siguientes párrafos se mencionará un ejemplo con los inclinómetros de Wilson:

#### Instalación.

Se instala en perforación con Barreno 6" de diámetro, estabilizada con lodo de bentonita mientras se ensambla la tubería, vigilando que no existan torsiones, se coloca un tapón en el extremo inferior para evitar la entrada de suelo. Cuando se llegue a la máxima profundidad se hace circular agua para limpiar, se introduce la tubería de manera que un par de ranuras quede perpendicular al eje de excavación. se rellena el espacio entre la excavación y la tubería y se coloca el registro. Se podrá hacer entonces la primer lectura que servirá de referencia para comparar con las subsecuentes.

El procedimiento desglosado que deberá llevarse a cabo para instalación del inclinómetro se describe a continuación:

- Simultáneamente con la actividad de perforación se procederá a ensamblar los tramos de tubería y los coples para iniciar su instalación tan pronto termine la perforación; deberá cuidarse que las torsiones de la tubería se compensen en segmentos consecutivos. La tubería deberá llevar en su extremo inferior un tapón que se fijara con remaches o pegamento, en función del material constitutivo de la tubería.
- Una vez que se haya alcanzado la profundidad requerida, se limpiara la perforación haciendo circular el lodo bentonítico limpio hasta que este retorne en iguales condiciones a la superficie.
- Concluido lo anterior se bajará la tubería dentro de la perforación cuidando que un par de ranuras diametralmente opuestas sean perpendiculares al eje

de la excavación, durante esta fase se preparara la mezcla del material que rellenara el espacio anular entre la tubería y la pared de la perforación, que consistirá en una mezcla de bentonita-cemento-agua, para evitar que fragüe antes de su inyección. Dicha mezcla tendrá la siguiente proporción:

AGUA	1.00 m <sup>3</sup>
CEMENTO	200.00 kg
BENTONITA	65.00 kg

- La mezcla de bentonita-cemento-agua se inyectara a baja presión ( 0.50 kg/cm como máximo), desde el fondo de la perforación hasta alcanzar el nivel correspondiente a 30 cm por abajo del terreno natural.
- Se fijara el extremo superior de la tubería con un soporte y se constituirá un muerto de concreto que servirá como registro de protección del inclinómetro.
- Se deberá marcar el instrumento con alguna referencia que lo identifique, y que además señale su profundidad de desplante.
- La instalación de los inclinómetros, se deberá efectuar tomando en cuenta, las indicaciones aquí descritas, así como el procedimiento recomendado por el proveedor del equipo.

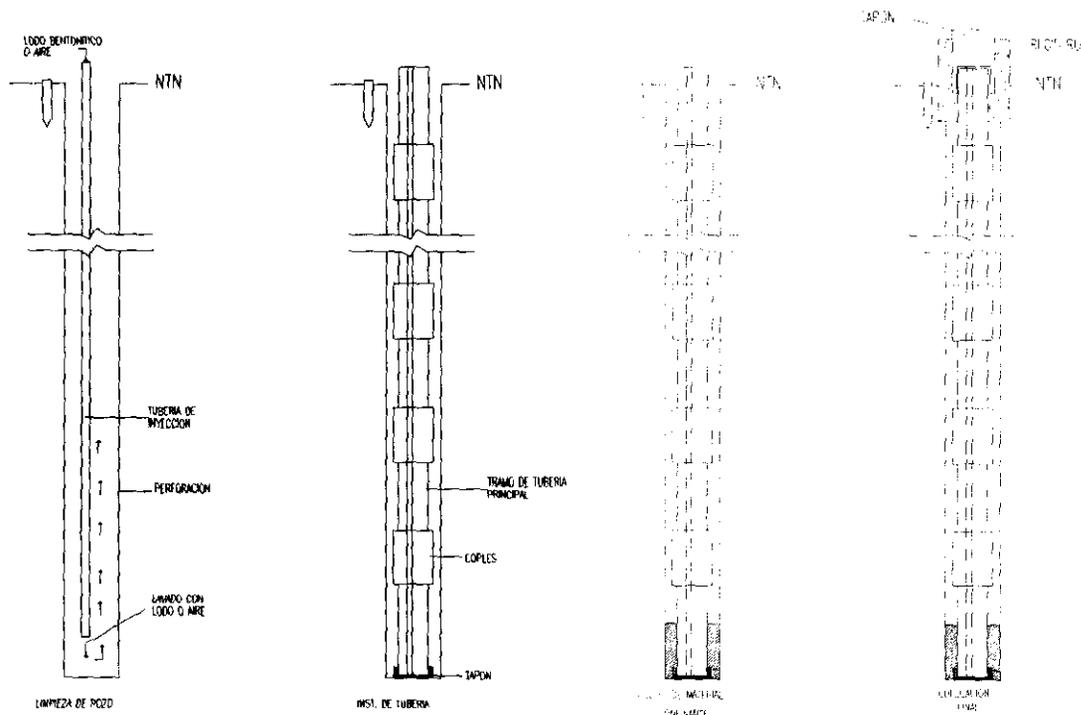


Figura V.I.3 Procedimiento de Instalación de Inclinómetros

La frecuencia de lecturas en los inclinómetros será la siguiente:

- Una primer lectura al momento de instalación, otra lectura 10 días previos al inicio de la actividad principal de obra y una segunda lectura 3 días antes.
- Se realizarán dos lecturas al día durante los procesos principales de la obra como bombeos, excavación, terraplenes.
- Después de estructurar la obra se deberán tomar lecturas una vez al día durante el tiempo en que se concluya la construcción al 100% de la zona adyacente al sitio de ubicación del instrumento

### Medición.

Se debe calibrar el equipo periódicamente para detectar cambios en la constante; se verificará que el equipo de medición se encuentre en buenas condiciones y que el cero permanezca invariable; se gira la sonda a  $180^\circ$ , ya que en la mayoría de las sondas la suma o resta de estas lecturas es una constante que puede verificarse fácilmente en el campo (no mayor a  $\pm 5$  unidades), si es mayor se repite la lectura; se debe tener en campo las lecturas anteriores para verificar oportunamente desplazamientos significativos o errores de lecturas. Se debe dar mantenimiento y buen uso al equipo de medición por su gran sensibilidad y delicadeza.

### Cálculo.

Desde el inferior de la tubería que se considera fijo,

$$D_{yi} = D_{yi-1} + \frac{I_0 + I_{180}}{2} K$$

que equivale a

$$D_{yi} = K \sum_{j=1}^i \frac{(I_0 + I_{180})_j}{2}$$

con

$$K = k \cdot \frac{L}{DL}$$

donde

$D_{yi}$   $\Rightarrow$  Desplazamiento horizontal en el punto "i".

- K           ⇒ Constante de cálculo.  
 k           ⇒ Constante del aparato.  
 $\Delta L$        ⇒ Distancia entre lecturas  
 $(I_0 + I_{180})_j$    ⇒ Suma de las lecturas de inclinación a  
                    $0^\circ$  y  $180^\circ$  en el punto "j"

El error  $\delta$  en el cálculo del desplazamiento, asociado a la sensibilidad de la sonda, puede obtenerse con

$$\delta = \sigma \frac{L}{\sqrt{n}}$$

donde:

- $\sigma$  = Desviación estándar de la medición de inclinación, aproximadamente igual a la sensibilidad de la sonda.  
 L = Longitud total de la tubería.  
 n = Número de lecturas.

La rigidez de la tubería no interfiere con los desplazamientos. La fricción entre los coples y la tubería es despreciable e independiente del procedimiento de instalación del fleje y la presencia eventual de partículas de arena que limitan la capacidad de desplazamiento. Cuando la tubería se deforma en un plano distinto al péndulo sensor, la fricción y torsión inducida en su soporte no afectan la medición. En el caso de que un tubo de inclinómetro se instale atravesando un estrato blando limitado por suelos duros, puede ocurrir pandeo lateral de la tubería por efecto de cargas axiales inducidas durante el proceso de deformación de la masa de suelo; en estas condiciones se generará una lectura de inclinación falsa en forma sistemática.

Tipo de sondas:

**Potenciómetro.**- Tiene un péndulo en contacto con una resistencia a la que divide en dos segmentos; estos segmentos forman un arreglo de medio puente y la otra mitad se encuentra en la unidad de registro. La lectura necesaria para balancear el arreglo es proporcional a la inclinación del péndulo. Sensibilidad de 3min, 6cm. diám., distancia entre ruedas 30.5cm., intervalo de operación  $\pm 12^\circ$ , altura total 57cm.

Deformómetros Eléctricos (Strain-gages).- Tiene un péndulo cuyo soporte está instrumentado con strain-gages en un arreglo de puente completo. La lectura necesaria para balancear el puente es proporcional a la inclinación del péndulo. Sensibilidad de 3min, 6cm. diám., distancia entre ruedas 30.5cm., intervalo de operación  $\pm 12^\circ$ , altura total 57cm.

Servoacelerómetros.- Tiene una masa guía que se mueve; los acelerómetros generan una corriente eléctrica que induce una fuerza contraria a la de la masa. La corriente necesaria para detener la masa es proporcional a la inclinación. Sensibilidad de 1min, 4.3cm. diám., distancia entre ruedas 50cm., intervalo de operación  $\pm 53^\circ$ , altura total 81.6cm.

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 que se ilustró en la figura. V.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.

Se comentó que el inclinómetro de Wilson es el más usado en México, por lo cual se hará un seguimiento del proceso a seguir tomando en cuenta los cálculos y características utilizados en este. Se describe y ejemplifica a continuación.

## INCLINÓMETRO DE WILSON

El instrumento completo consta de una unidad sensible y una unidad portátil de control de lectura, cable conectivo y una tubería ranurada en dos planos ortogonales entre sí; se emplean tramos de 1.5 y 3.0 m, de longitud con coples "media caña" de 30 cm de largo para unirlos.

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 y la otra mitad, formada por un potenciómetro de precisión, resistencia y las necesarias conexiones van instaladas en la caja de control, el conjunto acciona con 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. En a figura VI.4. se esquematiza la unidad sensible del instrumento con un corte que permite ver 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.

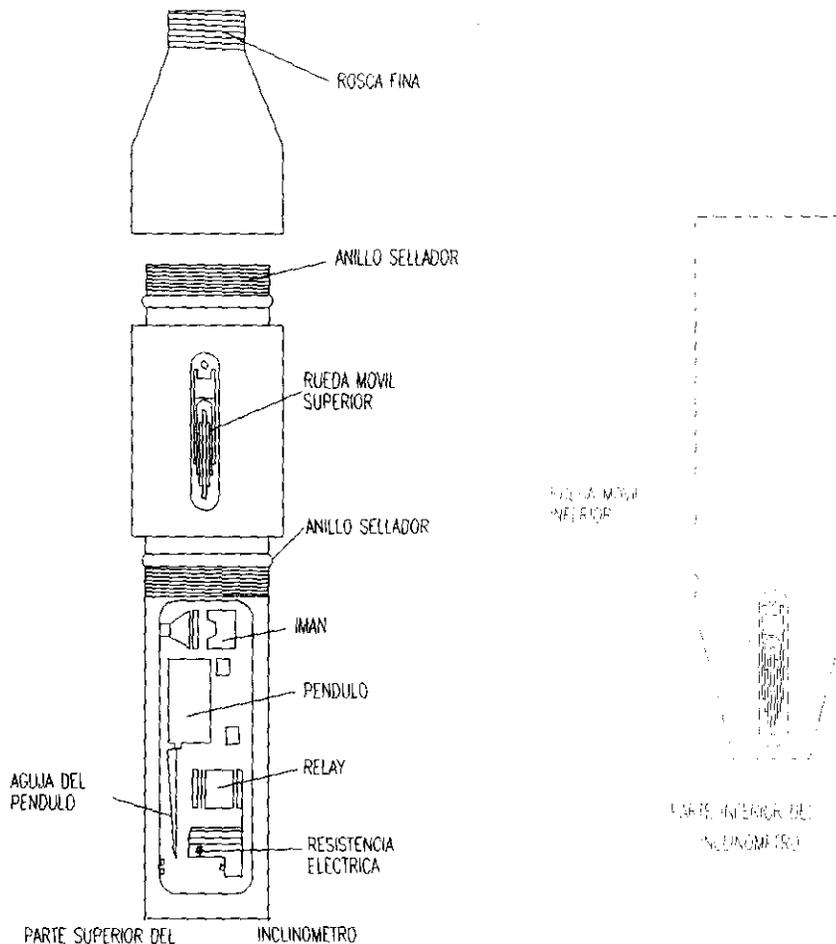


Figura VI.4. Unidad Sensible

La tubería está ranurada en dos planos ortogonales entre sí, (8.1cm de  $\varnothing$  y 0.22cm espesor) en tramos de 3 ó 1.5m de longitud; coples de 15 ó 30cm. Debe acoplarse con uniones de 30cm, telescópicas.

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 posible deformación.

La sensibilidad del instrumento permite detectar un minuto de arco en forma confiable, en la desviación que la tubería especial vaya sufriendo respecto a la vertical.

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 o estructura a monitorear. La tubería de aluminio es la que más se ha utilizado para ofrecer mayor resistencia y manejabilidad.

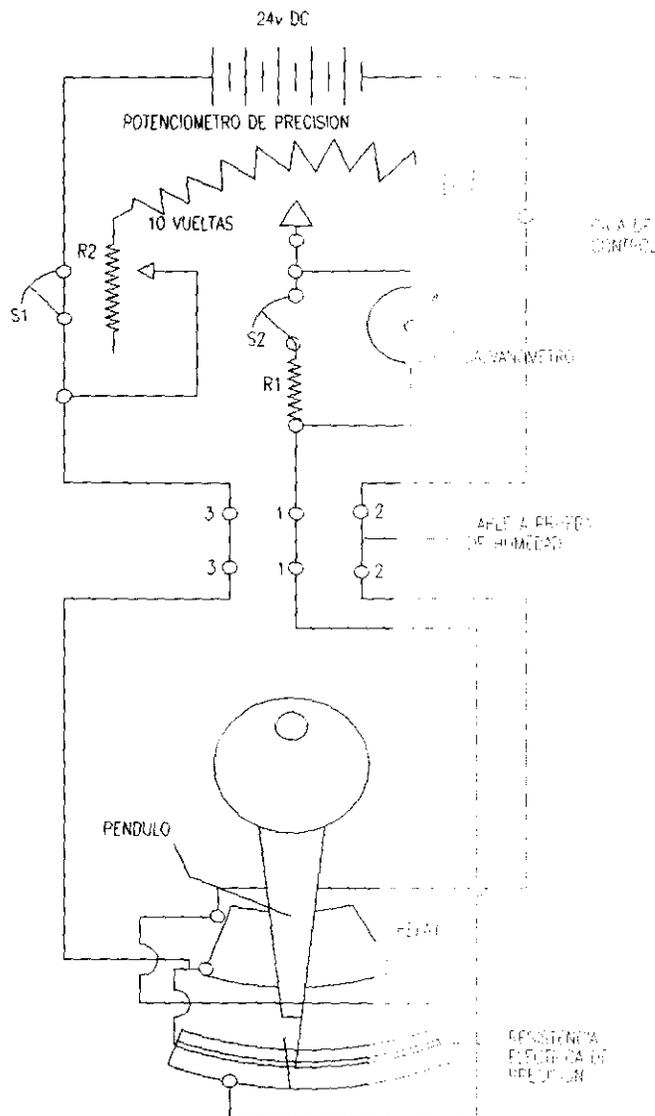


Figura VI.5. Diagrama Eléctrico de Inclínómetro

Conviene aclarar que la tubería es capaz de deformarse lateralmente, por que los coples, formados por dos piezas longitudinales ensamblados, permiten el movimiento angular relativo y, el espacio dejado entre dos tubos consecutivos también permiten medir los asentamientos con un dispositivo especial.

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 los tubos de 1.5 m, coples de aluminio de 30 cm, fleje de acero, tapón macho de aluminio, flejadora y pinzas.

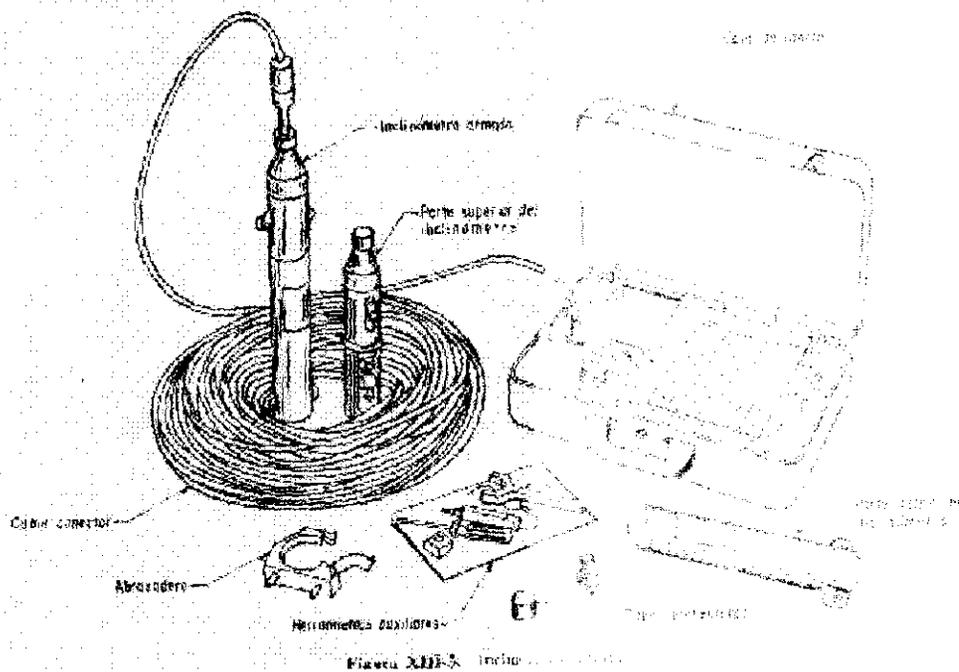


Figura VI.6. Inclinómetro Completo

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

A continuación, se procede a unir el siguiente tramo por medio de los coples, abrazando 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 requerirse. Para asegurar esta unión se refuerzan los coples con flejes y éstos

se colocarán a 3.75cm, en los extremos del cople y un tercer fleje al centro del cople.

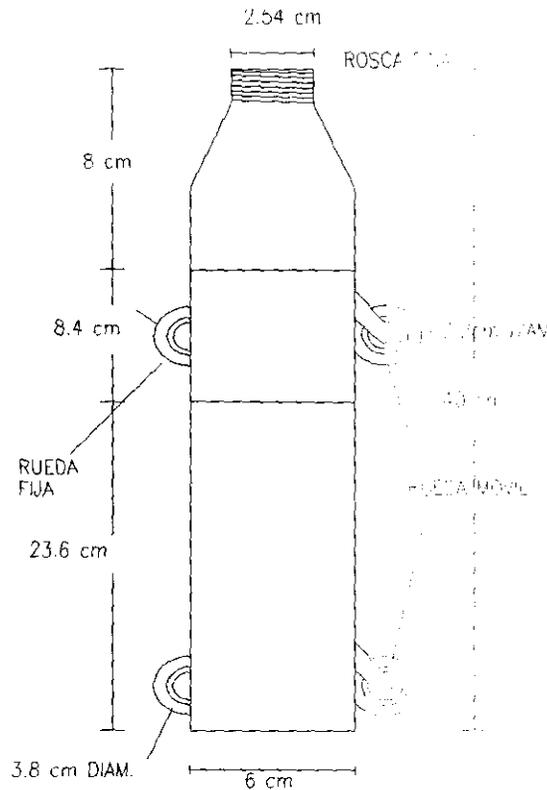


Figura VI.7. Croquis de Inclinómetro Completo

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, aplicándose sobre el encintado. (Se puede usar, también, en el tapón inferior de la tubería).

Los inclinómetros se colocan en perforaciones de 6"  $\varnothing$ , aunque la tubería de 3"  $\varnothing$  se puede hacer en perforaciones de 4 1/2".

Es conveniente aprovechar la perforación para obtener un perfil estratigráfico, para mayor utilidad de la deformación obtenida.

El procedimiento de perforación es el convencional, cuidando que la perforación quede totalmente vertical y se instalan bajo las siguientes recomendaciones

- Estos dispositivos deberán estar totalmente instalados antes del inicio de las actividades principales de la obra que puedan atribuirse deformaciones en el suelo.

- Antes de colocar la tubería en la perforación, deberá verificarse que el espacio libre entre tramos de tubos dentro de los coples no sea menor a 15 cm.
- El tapón que se colocará en el fondo de la tubería deberá asegurarse perfectamente, evitando en todo momento la penetración del suelo en la tubería.
- Una vez alcanzada la profundidad requerida, se hará circular fluido hasta retirar cualquier indicio de azolve, para tal fin el fluido que se dirige a la perforación como el que retorne de ella, deberán pasar -cada uno- por recipientes (charolas) de donde puedan obtenerse muestras del fluido de entrada y de retorno. El fluido se hará circular por el ademe hasta que la calidad de las muestras entre los dos recipientes sean iguales.
- Al bajar la tubería deberá asegurarse que un par de las ranuras sean perpendiculares al eje de la excavación.
- El fondo del ademe deberá ubicarse por debajo de la zona de influencia de los movimientos según los análisis de estabilidad.
- La mezcla de bentonita-cemento-agua deberá inyectarse a baja presión y a partir del fondo de la perforación, cuidando siempre que la tubería quede confinada.
- El muerto que se colocará en la parte superior de la tubería deberá asegurar su inmovilidad y adicionalmente se indicará en él la referencia del instrumento grabada o pintada, garantizando siempre su legibilidad.
- El equipo deberá limpiarse, engrasarse y calibrarse periódicamente para mantenerlo en buenas condiciones y detectar cualquier cambio en la constante que relaciona las lecturas con las inclinaciones.
- Antes de iniciar las mediciones, se verificará que el equipo se encuentre en buenas condiciones y que el cero permanezca invariable.
- Las lecturas se repetirán girando la sonda 180°, vigilando que la constante de la suma o resta de las lecturas no varíe en  $\pm 5$  unidades, en caso contrario deberán repetirse las lecturas, Este procedimiento se repetirá en sentido perpendicular.
- Se considerará la rigidez de la tubería y material confinante en las lecturas. Se evaluará con la dependencia la conveniente de colocar como material entre la tubería y el suelo una mezcla menos rígida, y reducir la longitud de

los tramos de la misma; adicionalmente, se evaluará la contribución de hundimientos para cada estrato con respecto al total.

- Se deberá corregir antes de colocar la tubería el defecto de deformación a la torsión (antes de apretar los flejes) en las ranuras.
- La mejor forma de rellenar el espacio anular es inyectando por un tubo de PVC de 1/2" ó de 3/4" desde el fondo hacia la superficie con una bomba de lodos.
- Terminado el relleno se verifica la orientación de la ranura para su corrección, si fuese necesario, antes que se termine el fraguado del relleno.
- Se tapa y se protege la boca de la tubería para evitar que caigan materiales extraños o que sea golpeada. Con brocal, tapón y registro.
- Ya fraguado el relleno se obtiene la lectura inicial, a las profundidades preestablecidas, las mismas que serán para el proceso de lecturas posteriores.
- Se anotan los datos y su ubicación en un registro.

### CALIBRACIÓN DEL INCLINÓMETRO

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

Esta actividad se realiza en el laboratorio, colocando el torpedo en una mesa metálica adaptada a un sistema que puede tener inclinaciones de  $\pm 10^\circ$  a cada 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.

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

$$K = \frac{\text{Dif. De lecturas}}{\text{Arco/Radio}}$$

Para:  $\text{Arco/Radio} = \text{Tan } \alpha$

$$\therefore K = \frac{\text{Dif. De lecturas}}{\text{Tan } \alpha}$$

Basándose 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

$$\text{Tan } \alpha = \frac{L_1 - L_2}{2K}$$

pero

$$\text{Tan } \alpha = \frac{d}{l}$$

$$\therefore d = \text{Tan } \alpha \cdot l$$

sustituyendo, se tiene

$$d = \left( \frac{L_1 - L_2}{2K} \right) \ell$$

donde:

$d$  = Desplazamiento Lateral.

$\ell$  = Longitud entre dos puntos de medición.

$K$  = Constante del equipo (determinado en el laboratorio).

$L_1$  = Lectura 1

$L_2$  = Lectura 2

Obteniendo entonces que:

$$\text{Constante de cálculo} = \frac{\ell}{2K} = C$$

$$d = \frac{\ell}{2K} (L_1 - L_2)$$

Ejemplo:

CALIBRACIÓN DE INCLINÓMETROS						
CONSTANTE C= 0.038						
ÁNGULO	LECTURA EN EL INSTRUMENTO	VARIACION DE LECTURAS	SUMA DE VARIACIONES OBTENIDAS	SUMA DE VARIACIONES TEÓRICAS	DIFERENCIA DE VARIACIONES	GRÁFICA
+10	902		0	0	0	
		38				
+9	864		38	35	3	
		33				
+8	831		71	70	1	
		31				
+7	800		102	105	-3	
		39				
+6	761		141	140	1	
		36				
+5	725		177	175	2	
		38				
+4	687		215	209	6	
		31				
+3	656		246	244	2	
		34				
+2	622		280	279	1	
		35				
+1	587		315	314	1	
		32				
0	555		347	349	-2	
		35				
-1	520		382	384	-2	
		35				
-2	485		417	419	-2	
		36				
-3	449		453	454	-1	
		33				
-4	416		486	489	-3	
		36				
-5	380		522	524	-2	
		34				
-6	346		556	558	-2	
		36				
-7	310		592	593	-1	
		34				
-8	276		626	628	-2	
		36				
-9	240		662	663	-1	
		35				
-10	205		697	698	-1	

Si la lectura tomada a  $-10^\circ \Rightarrow 689$  U.P.  
 y  $+10 \Rightarrow 140$  U.P.

$$\text{Arco/Radio} = 20^\circ/180^\circ \pi = 20^\circ/57.17^\circ = 0.349$$

$$\therefore K = \frac{689 - 140}{0.349} = 1573$$

Si las lecturas se toman a cada 55cm,

$$C = \frac{l}{2K} = \frac{55}{2(1573)} = 0.0175$$

$\therefore$  el desplazamiento horizontal entre dos puntos será:

$$d = 0.0175 \times \text{Diferencia de lecturas}$$

### 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 la confiabilidad de las observaciones iniciales.

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" como en la tabla V.2.

Para obtener mejores resultados en la toma de lecturas se utiliza una polea de 15cm de  $\varnothing$  para dar medición. La polea es apoyada en un tramo de 40cm de tubo y se acopla con el brocal del tubo instalado.

Para tomar lecturas se procede de la siguiente manera:

- 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>DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES EN INCLINOMETROS</b>										
Inclinómetro No. _____		Lectura en Eje _____			Elevación de Brocal _____					
Fecha _____		Lectorista _____			Calculó _____					
Graficó _____		Revisó _____			Hoja ____ de ____					
Tramo	Lect.	Lectura A	Lectura B	Suma A + B	Diferencia A - B	Dif. x Cte. (A - B) x C	Despl. Actu. (cm)	Despl. Inic. (cm)	Despl. Obs. (cm)	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)=(3)+(4)	(6)=(3)-(4)	(7)=(6) x C	(8) = $\Sigma$ (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									

Sonda No. \_\_\_\_\_ Constante "C" de la Sonda \_\_\_\_\_

Lectura "A", con ruedas fijas paralelas hacia el paramento mas cercano  
 Lectura "B", con ruedas fijas paralelas hacia el paramento mas lejano  
 Inclinómetro de Fondo \_\_\_\_\_

**Tabla de Desplazamientos Horizontales**

- Se hace descender 5cm y se marca la letra "a" en la polea, que también coincide con el "fiel". A partir de esta posición se baja 55cm y se marca la polea con la letra "b".

Se baja desde "b", otros 55cm y se marca la letra "c".

- Azolve de la perforación, que impiden llevar a la profundidad deseada la tubería.
- Oquedades en el relleno del espacio anular entre la tubería y el terreno. Esto causa una mala sensibilidad del instrumento y se piensa que incluso altera las distribuciones de deformación obtenidas.
- Deformación de la tubería, durante la toma de lecturas.
- Posicionamiento del torpedo en diferentes puntos y lecturas sucesivas.
- Ajuste del cero inadecuado en inclinómetros Strain-Gages.
- Por no tomar en cuenta el movimiento del fondo del inclinómetro. Se debe medir con nivel la boca del tubo.
- Entrada de agua al torpedo, en su interior.
- Errores humanos: Posicionar el torpedo, balancear el puente Weathstone, apuntar datos de lecturas o procesamiento de estos.

# REFERENCIAS SUPERFICIALES

## VII. REFERENCIAS SUPERFICIALES.

### VII.1. OBJETIVO

EL objetivo de las referencias superficiales es que a través de ellas se conozcan tanto movimientos verticales como horizontales relativos que se pudieran presentar, antes, durante y después de la construcción de una obra, sobre el terreno natural dentro de su zona de influencia, a fin de determinar efectos de la obra sobre este y tener una base para la toma de decisiones, como puede ser la solicitud de modificación en el proyecto original o una ejecución improvisada de obra; este tipo de control se realiza a base de bancos de nivel superficial con elevación fija ubicados fuera de toda influencia de la obra, que servirán como punto de partida para conocer los movimientos verticales en las zonas de interés según el tipo y magnitud de la obra y de líneas de colimación que son puntos fijos colineales en la superficie del terreno.

La zona de influencia varía en función del tipo de obra según el tipo de terreno, esta debe ser especificada por la empresa proyectista; también se puede tomar como zona de influencia la que consideren en campo las constructoras y supervisoras; o bien, se pueden monitorear todos lo que interese a lo largo de la obra, si esta lo justifica.

### VII.2. DESCRIPCIÓN

Las líneas de colimación están formadas por una serie de testigos fijos (mojoneras) superficiales referenciadas en puntos extremos en la misma línea fuera de la zona de influencia. Pueden ser de características variables, pero principalmente se basan en un cilindro de concreto simple de 15cm de  $\varnothing$  y 30cm de altura, con un perno metálico o tornillo empotrado en su extremo superior; este tornillo es de cabeza esférica de 5/8" x 4" con una línea grabada en la dirección perpendicular a la línea de obra, esta ranura sirve de guía a una regla metálica de medición, que esta graduada en milímetros, cuenta con un nivel de burbuja y mira para centrado, estas referencias deben estar bajo nivel de terreno natural correctamente empotradas en él de forma acuñaada o bien pueden colarse in situ, fig. VII.1. Estas referencias se utilizan cuando se requiera llevar un monitoreo de movimientos verticales y horizontales de una zona específica, como la periferia de una excavación profunda, en este ejemplo se desea conocer la influencia a nivel superficial en la cercanía de una excavación profunda con talud o con ademe, un control de este tipo puede prever caídos de taludes o paredes de excavación, se puede conocer la zona de influencia mediante una serie de líneas de colimación; así como la consecutividad de asentamientos en

estructuras cercanas, estableciendo controles de tipo altimétrico y desviación horizontal puntual del terreno.

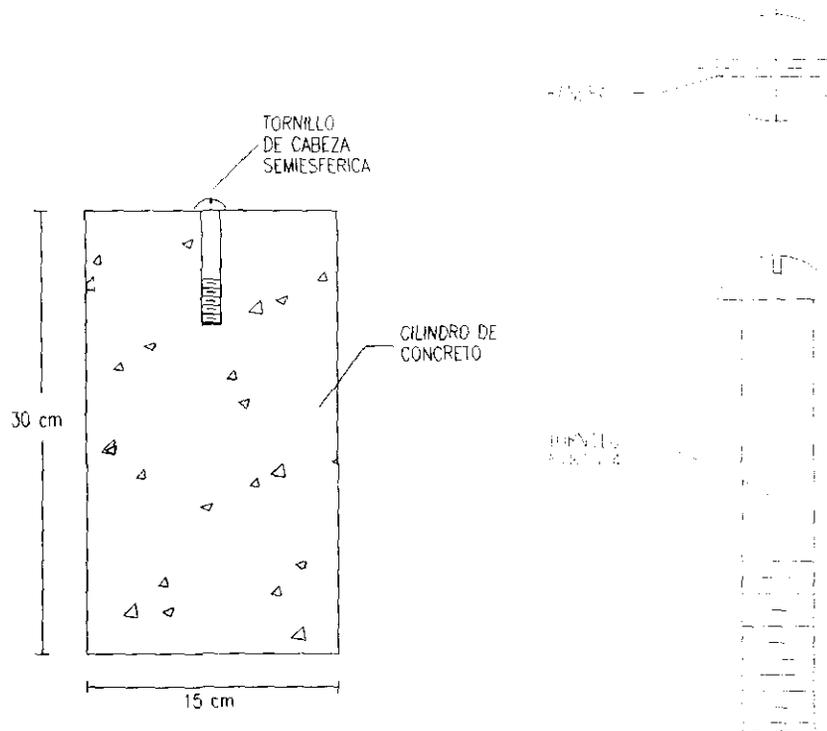


Figura VII.1. Referencias superficiales

Los trabajos de medición se efectúan a base de equipo y métodos topográficos de precisión, para los controles altimétricos se efectuarán nivelaciones a partir de bancos de nivel superficial y se determinará la elevación en la cabeza del tornillo con la metodología descrita para referencias en estructuras y bancos de nivel flotante; para las lecturas horizontales se usará un tránsito desde el cual se visarán las referencias superficiales, corroborando su colinealidad con la línea vertical de la retícula de éste, con el apoyo de referencias externas fijas.

### VII.3. INSTALACIÓN

Estas referencias deben estar instaladas previo al inicio de cualquier actividad de obra, con una anticipación de al menos 15 días, esto es con el fin de tener una serie de datos al momento de iniciar con la construcción de la obra. Para esto es necesario programar la instalación de estos elementos, ya que puede presentarse el caso de tener una obra muy grande o una serie de obras a

instrumentar, llegando a presentarse el caso de "ahorcar" los tiempos, obviamente esto provoca que se inicie con el monitoreo después de iniciada la obra y no se tengan datos completos para su análisis. Aunado a esto, es indispensable que se cuente con el equipo topográfico adecuado y en perfectas condiciones para estos trabajos y con los datos topográficos de campo ( cota o elevación del banco de nivel superficial, lugar para referencias fijas, etc ).

Se tomarán todas las condiciones y recomendaciones para la colocación de bancos y la otorgación de elevaciones iniciales, en las cabezas de tornillo de cada referencia, mencionadas en el capítulo II.

Existen, como se mencionó, dos formas de instalar las mojoneras, una es con elementos prefabricados y la otra con los mismos colados en sitio. Cualquiera que sea la forma de instalación es fundamental conocer el lugar exacto donde se hará esta. A continuación se describen brevemente las formas de su instalación.

### 1. Con elementos prefabricados.

- Teniendo fabricada la referencia con la geometría y características mencionadas en la descripción se procede a hacer la perforación, con la geometría que se esquematiza en la figura VII.2., donde irá alojada la referencia.
- Se apisona el fondo de la excavación para asegurar su inmovilidad y se coloca una plantilla de mortero cemento-arena 1:4, de espesor aproximado a 5cm.
- Fraguado el mortero del fondo se asienta la referencia y se rellena el espacio entre ésta y la excavación con mortero cemento-arena proporción 1:4 de manera tal que quede confinada al 100%.
- Al hacer esta ultima operación se deberá checar la colinealidad de la cabeza del tornillo con la referencias fijas para poder corregir su alineación, si fuese necesario, por lo que se deberá tener el tránsito alineado en sitio.

### 2. Coladas en sitio.

- Se procede a hacer la perforación, con la geometría que se esquematiza en la figura VII.3., donde irá alojada la referencia.
- Se apisona el fondo de la excavación para asegurar su inmovilidad; acto seguido, se vacía una mezcla de mortero cemento-arena 1:3, hasta cinco centímetros antes del nivel de terreno natural.

- Fraguado el mortero se empotra el tornillo de dimensiones conocidas o un tramo de varilla con su extremo superior redondeado y se procede a vaciar mezcla de mortero con mortero cemento-arena proporción 1:3 hasta nivel de terreno natural, verificando que sobresalga al menos 0.5cm el tornillo o la varilla.

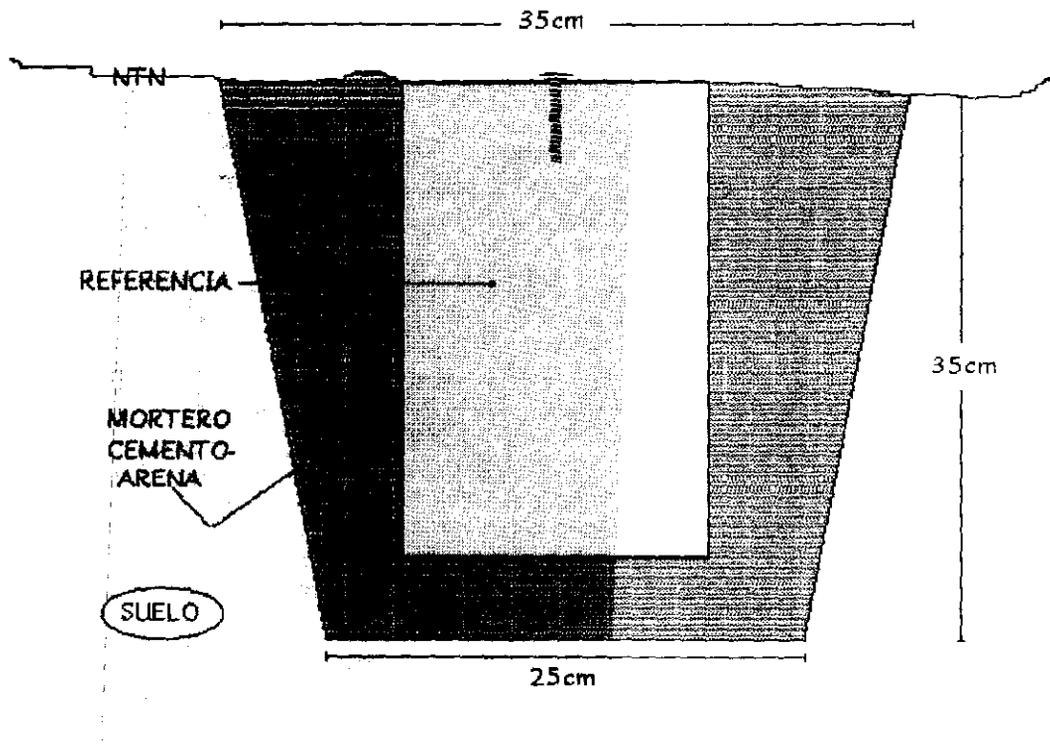


Figura VII.2. Instalación con Elementos Prefabricados.

- Al hacer la operación de empotrado y colado final, se deberá checar la colinealidad de la cabeza del tornillo o varilla con la referencias fijas para poder corregir su alineación, si fuese necesario, por lo que se deberá tener el tránsito alineado en sitio.

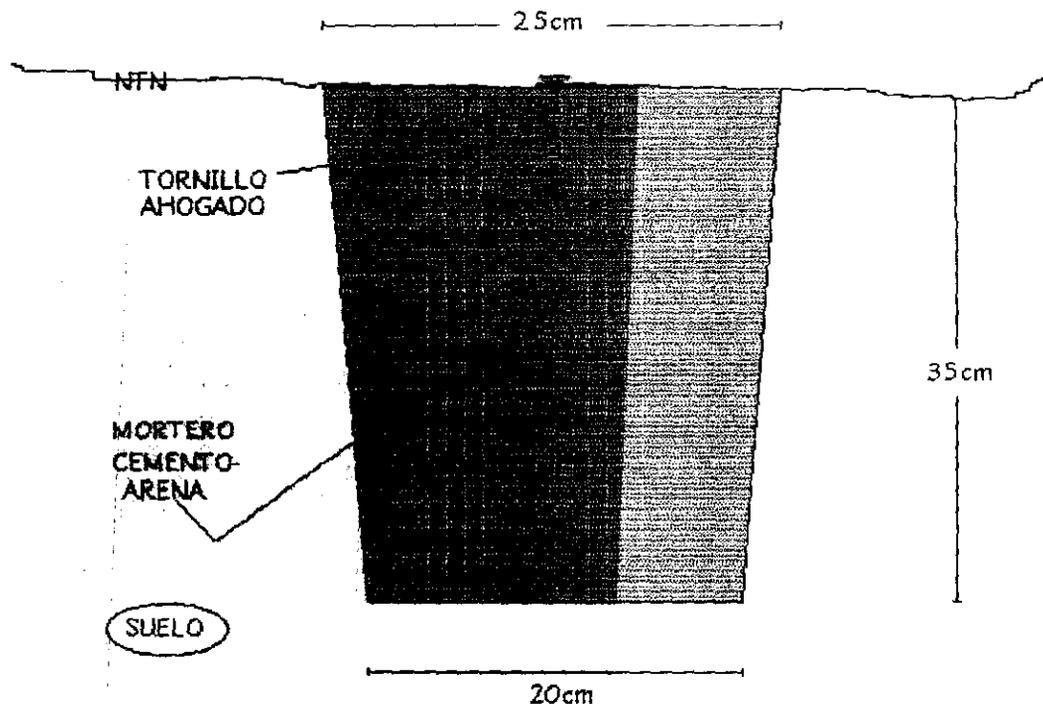


Figura VII.3. Instalación de Referencias Coladas en Sitio

Si es necesario se colocarán líneas de colimación adicionales paralelas, con separación definida en campo, con el fin de tener una cuadrícula y poder establecer con mayor precisión los movimientos esperados. Se recomienda que la distancia entre testigos o referencias superficiales sea de 2m como máximo en cualquier sentido, de preferencia deben ser equidistantes.

#### VII.4. METODOLOGÍA TÉCNICA

Ya instaladas las referencias se procede con la toma de lecturas altimétricas, partiendo siempre del banco de origen y cerrando el circuito en este mismo. Las lecturas se realizan por medio de nivelaciones diferenciales simples o por doble altura de aparato, de tal forma que se obtenga la cota de cada una de las referencias instaladas, como se mencionó.

Las lecturas para conocer desplazamientos horizontales se obtienen con la ayuda de un tránsito con plomada óptica de centrado y precisión de 15seg. y se puede hacer por dos métodos parecidos:

- I. Este es con el tránsito y una regla metálica graduada. Las mediciones se harán posicionando el aparato en una de la referencias fijas visando la segunda referencia fija, al tener la seguridad de estar en la misma línea se fija el tránsito en el sentido horizontal; a partir de este punto se visan las referencias superficiales a checar. Se coloca la regla metálica en la ranura del tornillo, haciéndola deslizar horizontalmente hasta que la mira del tránsito coincida con la marca vertical de cero. En la escala posterior de la regla, el cadenero medirá la distancia horizontal entre el centro del perno y marca de cero donde coincidió la mira, arrojando el valor del desplazamiento; esto se hará con precisión de  $\pm 0.5\text{mm}$ . Para conocer el sentido del desplazamiento se preestablecerá un orden a seguir; por ejemplo, proponiendo que sea negativo (-) en caso de ser contrario a la obra y positivo (+) en caso de ser hacia la obra
  
- II. Este es con el tránsito y el flexómetro. Las mediciones se harán posicionando el aparato en una de la referencias fijas visando la segunda referencia fija, al tener la seguridad de estar en la misma línea se fija el tránsito en el sentido horizontal; a partir de este punto se visan las referencias superficiales a checar. Colocando el cero (o bien decímetro) del flexómetro al centro del tornillo de la referencia de forma horizontal, dirigiendo el frente hacia el tránsito. En la mira del tránsito se podrá leer directamente la distancia horizontal entre el centro del perno con la marca de cero del flexómetro y el punto de éste que coincida con la visual vertical de la retícula del aparato, arrojando el valor del desplazamiento; esto se hará con precisión de  $\pm 0.5\text{mm}$ . Si no es clara la lectura, por la lejanía del punto a medir, se recomienda hacer un cambio de aparato en alguno de los puntos que no haya sufrido movimientos o colocando la punta de un lápiz en el flexómetro la cual nos indicará en punto donde toca la línea vertical de la retícula en la mira del aparato, donde el cadenero medirá el desplazamiento. Para conocer el sentido del desplazamiento se preestablecerá una reglamentación; por ejemplo, proponiendo que sea negativo (-) en caso de ser contrario a la obra y positivo (+) en caso de ser hacia la obra.

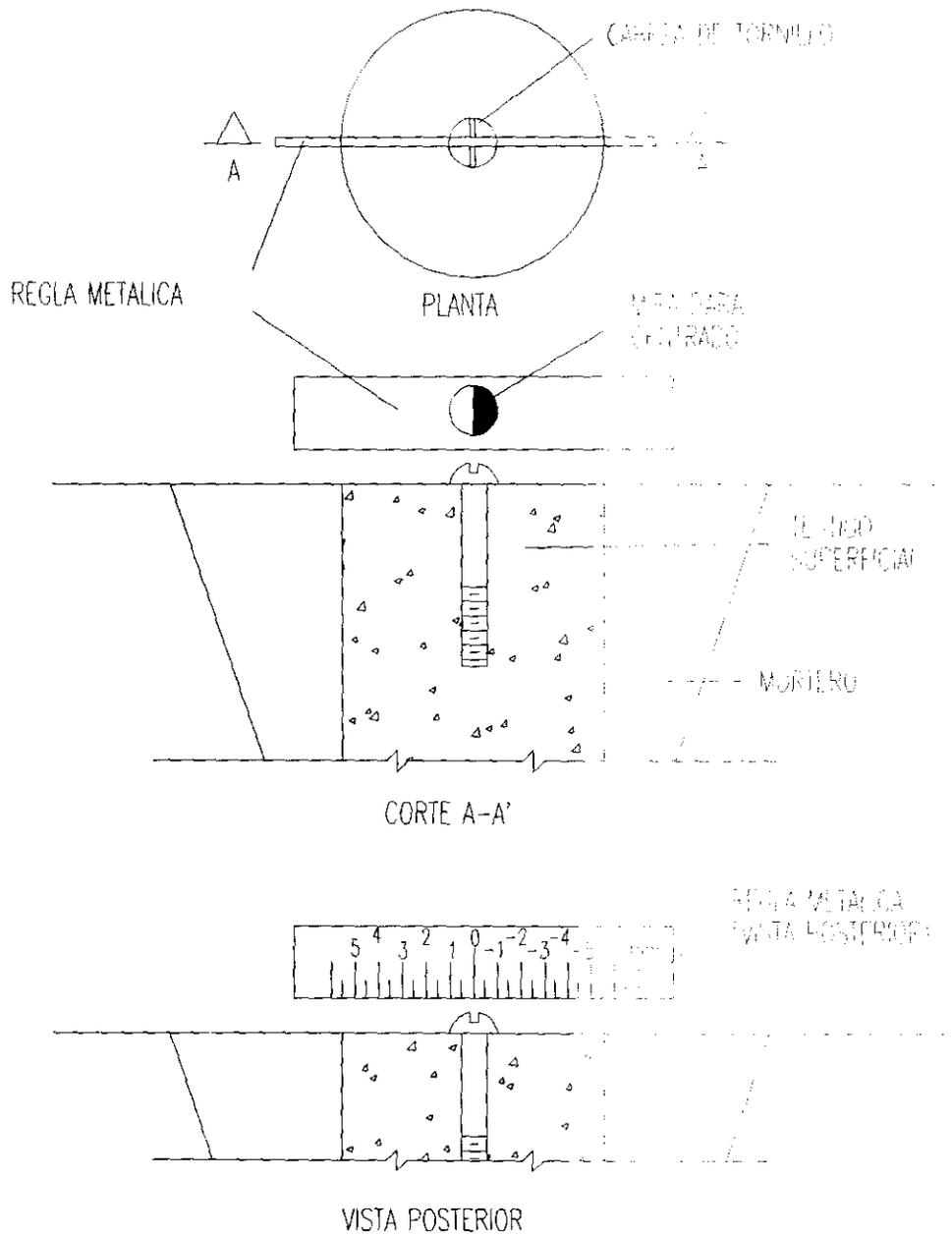


Figura VII.4. Lectura en Referencias con Regla Metálica.

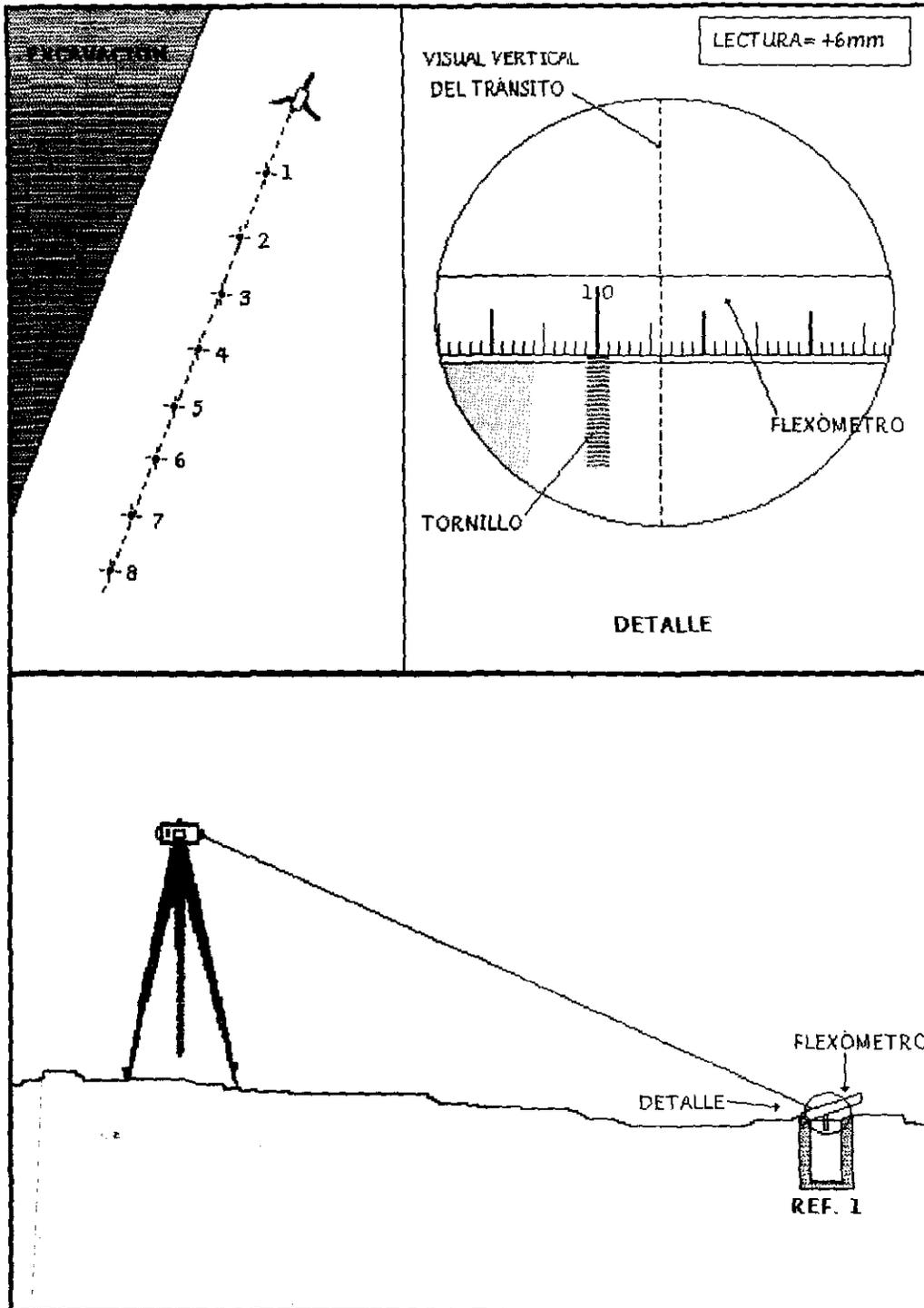


Figura VII.5. Lectura en Referencias con Flexómetro.

Para ejecutar cualquier tipo de trabajo, es indispensable que se compruebe frecuentemente el ajuste del eje vertical del tránsito y el chequeo de los niveles con los métodos mencionados en el capítulo II.

La frecuencia de lecturas para líneas de colimación será la siguiente:

- a) Deberá contarse con la primer lectura 15 días antes de iniciar cualquier actividad de la obra y una segunda lectura, al menos, 3 días antes de iniciar cualquier bombeo o excavación; de lo contrario se hace una lectura el día previo que se inicia la actividad principal de la obra.
- b) Tres veces por semana, como mínimo, durante las diferentes etapas del procedimiento constructivo de la obra y hasta tener estructurado al 100%. Está en función del comportamiento del suelo el hacer una o más lecturas al día, aún cuando ya esté terminada la obra, esto también está en función del criterio de la persona que esté analizando su comportamiento.
- c) Una vez terminada la estructuración de la obra, las lecturas se realizarán una vez por semana hasta que la velocidad de deformación sea de 1mm/sem o menor. Cuando suceda lo anterior la frecuencia de lecturas será de una lectura por mes.
- d) Las lecturas se suspenderán cuando la deformación tenga una velocidad de 1mm/mes o menor durante tres meses. Puede seguirse instrumentando el suelo colindante de la obra con el fin de observar el comportamiento en condiciones de servicio, siempre y cuando existan recursos para estos trabajos, o se pueden continuar con el fin de obtener una historia en cuanto al comportamiento de la estructura para su análisis geotécnico.

Después de un sismo, es recomendable hacer mediciones de todas las referencias superficiales con el fin de evaluar los daños ocasionados por estos, en caso de haberlos. Es importante se ejecute esta recomendación, ya que se pueden determinar los movimientos por sismo, sin confundirlos con movimientos internos de la obra.

Las lecturas verticales y horizontales de referencias superficiales se registran en libretas de nivel y tránsito, respectivamente; las que tendrán una nomenclatura propia, que indique el título de instrumentación, tramo o frente y el número consecutivo de la libreta; con los datos medidos, el ingeniero topógrafo calculará inmediatamente en campo la elevación de todas y cada una de las referencias y sus desplazamientos horizontales, para posteriormente vaciar directamente los datos en los formatos y gráficas correspondientes a niveles y desplazamientos horizontales.

Con el fin de tener un justificante a movimientos detectados por medio del monitoreo, es importante llevar un control histórico y cronológico de las actividades de la obra, de acuerdo a lo mencionado en capítulos anteriores.

## VII.5. PRESENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

Al igual que en referencias en estructuras y bancos de nivel flotante se debe tener un dibujo en planta de la ubicación de cada referencia, marcando su nomenclatura y refiriéndolas con respecto al cadenamiento y a los elementos estructurales del proyecto de obra, tomando en cuenta todas las recomendaciones y propuestas hechas en otros tipos de instrumentos mencionados.

Así mismo, se llevará a cabo la ejecución de una serie de lecturas que arrojarán datos y se registrarán en los formatos ya mencionados para nivelaciones, posteriormente se vaciarán a sus respectivas gráficas de Deformación-Tiempo, con la metodología de presentación e interpretación ya conocida.

Para los desplazamientos horizontales existe el registro que se ilustra en la figura VII.6., ejemplificando su llenado. Este formato se basa principalmente en vaciar las lecturas leídas en la regla o en el flexómetro en milímetros correspondiente a cada referencia superficial y por fecha. Se incrusta una columna de diferencias parciales que determinan la diferencia de una lectura respecto a la anterior, esta columna sirve solo como dato, pues la columna de lecturas será la que se grafique respecto a cada fecha, como se muestra en la figura.

En ésta se grafican los valores de las lecturas por fechas; es decir, cada línea corresponde a una fecha, en el eje X se ubican las referencias graficadas y en el eje Y los valores de las lecturas con el criterio que se menciona en el registro. Sin embargo se pueden elaborar otros tipos de gráficas que se adecuen al tipo de obra, como por ejemplo donde se pueda colocar alternadamente una planta de la obra a monitorear y su respectivo avance; lo principal es que la gráfica sea explícita y las escalas que se manejen sean lo suficientemente claras para observar los valores de interés en la propia gráfica.

Es la gráfica anterior, se observa que las referencias están sufriendo un desplazamiento positivo (a la obra), lo que responde seguramente a falta de ademe en una excavación o falta en el diseño de troquelamiento, estos valores deberán corresponder además al comportamiento observado con los obtenidos en las nivelaciones de estos mismos puntos, pues debe existir relación de ambos movimientos de cada referencia. En función de los valores obtenidos y graficados



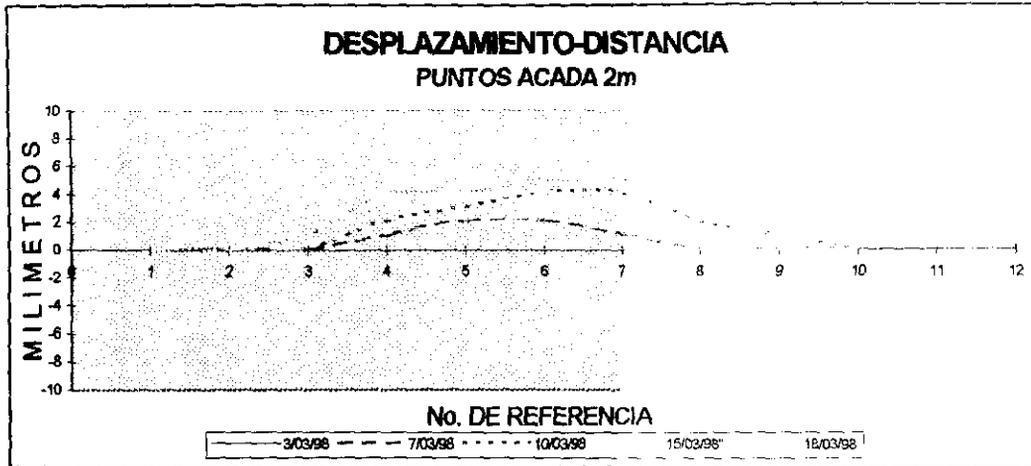


Figura VII.6. Presentación de Resultados

Cuando se opte por colocar líneas adicionales paralelas se puede utilizar una gráfica del tipo que se muestra en fig VII.7., para representar los movimientos verticales de la cuadrícula monitoreada, esto dará el efecto de la configuración del terreno, se hará una gráfica por fecha, colocando en el eje "z" la distancia entre líneas de colimación. De hecho se puede representar una gráfica de las líneas de colimación en conjunto para las deformaciones horizontales.

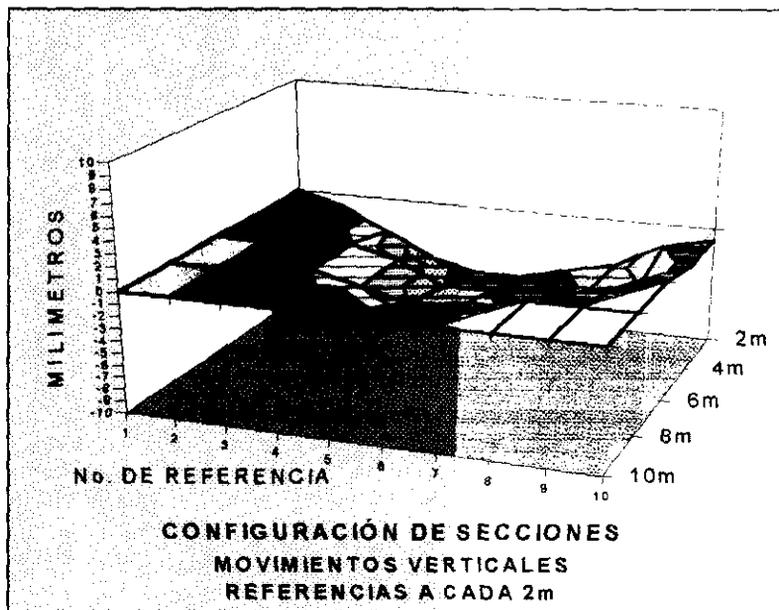


Figura VII.7. Presentación de Resultados

## VIII. CONCLUSIONES.

En los capítulos de este trabajo, se ha señalado la importancia de contemplar en los proyectos y ejecución de obras trabajos de instrumentación. Se ha hecho la descripción y se han mencionado metodología, presentaciones e interpretaciones de los elementos de instrumentación de mayor uso en nuestro país, omitiendo algunos de uso común que no requieren de una metodología a seguir, sino de sentido común, como puede ser la colocación de testigos de yeso, hasta algunos que requieren mayor complejidad en su uso como son aquellos que usan strain-gages en combinación con micrómetros de deformación, extensómetros, como la instrumentación usada en la construcción de túneles o presas. El hecho de hacer mención de cada elemento de instrumentación en forma separada no significa tener la obligación de utilizar solo uno de estos en una obra determinada, sino el modo de operar, pudiendo dar la pauta para saber cual o cuales elementos utilizar en nuestra obra en función de su importancia y/o en las variables que se deseen medir. Por lo tanto, en una forma real de trabajo es necesario utilizar uno o todos los elementos mencionados en este trabajo; para lo cual, la mayor importancia de usar instrumentación y cada uno de sus elementos es implementando un sistema de instrumentación, del cual se ha hace mención desde el inicio.

En cada capítulo la importancia de implementar un sistema de instrumentación en las obras de ingeniería, involucrando los procedimientos adecuados para la ejecución de los trabajos a realizar en cada elemento del sistema de instrumentación, así como su interpretación, dando a conocer la funcionalidad del sistema como parte integral de la mecánica de suelos aplicada. La parte más importante de este trabajo es tener la oportunidad de poder proponer aplicaciones de medidas preventivas o correctivas en los procedimientos constructivos de la obra o sobre zonas de afectación antes de que exista una situación que lamentar y por consecuencia el corroborar las teorías y criterios que se hayan utilizado para la elaboración en dicho proyecto, en el tema de estabilización de la obra, dados los grados de incertidumbre en las teorías de los suelos.

Se debe implementar un sistema de instrumentación en donde intervengan la mayoría de los elementos. Es posible utilizar todos los elementos de instrumentación en una obra, un ejemplo del tipo de obra en que se han utilizado todos estos es la construcción de líneas subterráneas del tren metropolitano, en la Ciudad de México. Solo se debe tener en cuenta que, el hecho de implementar el sistema de instrumentación más completo, indica que se trata de una obra de igual importancia; por lo que se deberá tener criterio con bases y fundamentos para analizar dicho sistema, ya que no se va ha analizar

Por último es recomendable tomar conciencia de la magnitud de los cambios que sufre el terreno, sobre todo en zonas de alto riesgo o de terrenos arcillosos, es fundamental tomar en cuenta todo lo mencionado, pues como se dijo es posible evitar sucesos lamentables y minimizar los costos de la construcción con este tipo de trabajos en la investigación; por lo cual, no se deben menospreciar los trabajos de instrumentación, como hasta la fecha se ha hecho por la mayoría de los ingenieros dedicados a la construcción, pues se piensa que estos trabajos quitan tiempo, que es un mala inversión y no tienen justificante de su implementación. Se espera que con este trabajo se consideren los trabajos de instrumentación, que sean necesarios para monitorear la mayoría de las obras de infraestructura tanto en proyecto como en el procedimiento constructivo, pensando en la responsabilidad que los profesionistas tienen en cada área y si es posible aumentar o promover investigaciones de adopción de métodos para un mejor control, con el fin de conocer los posibles cambios que sufre el suelo o su comportamiento a causa de las obras de infraestructura. En la actualidad se están haciendo investigaciones por parte de algunos ingenieros con instrumentación, para en un futuro mejorar los criterios de diseño tanto de suelos como en estructuras. Sin embargo, es necesario proponer más.

## BIBLIOGRAFÍA

- **ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS DE INSTRUMENTACIÓN PARA EL METROPOLITANO LÍNEA "B".**

ICA INGENIERÍA, 1992.

- **MANUAL DE DISEÑO GEOTÉCNICO**  
Comisión de Vialidad y Transporte Urbano del D.D.F.

- **LA INGENIERÍA DE SUELOS EN LAS VÍAS TERRESTRES, VOL. II., Cap. 13.**  
Alfonso Rico Rodríguez y Hermilo Del Castillo Mejía.  
1ª. Edición, 1977.