
NOTAS TECNICAS

METODOLOGIA PROPUESTA PARA EL CONTROL DE ASENTAMIENTOS DE ESTRUCTURAS

Mauricio POBLETE R.*

Patricio CAIOZZI B.**

Alberto SCHOLZ V.**

Claus FAHRENKROG Sch.***

RESUMEN

Se describe un procedimiento para determinar el asentamiento de estructuras basado en nivelaciones topográficas de alta precisión.

Se describe el equipo y las precauciones para la instalación de los puntos de referencia.

INTRODUCCION

La presente nota técnica entrega los detalles normativos propuestos para la medición de asentamientos y en general de deformaciones verticales de cualquier estructura sujeta a descensos ya sea por su peso propio, por sobrecargas, por variaciones volumétricas del suelo de apoyo o por cualquier otra causa.

Este trabajo es el producto de 2 etapas de mediciones de asentamientos realizadas en IDIEM en forma escalonada, en la cual se fue depurando la metodología usada con la incorporación de las experiencias que se iban adquiriendo. Como las deformaciones que se medían eran de pequeña magnitud, del orden de los milímetros, se vio la necesidad de implementar un procedimiento de medida capaz de apreciar las variaciones en las deformaciones con una precisión

* Investigador del IDIEM.

** Ingeniero Civil Universidad de Chile.

*** Constructor Civil USM

de 0.1 mm como mínimo. Por esta razón la metodología propuesta debe calificarse como de alta precisión en el control de asentamientos y es especialmente apta para apreciar asentamientos diferenciales¹.

La metodología que se propone está basada en la técnica de nivelación topográfica de alta precisión, la cual se ha juzgado adecuada para los propósitos de un control de asentamientos y presenta ventajas con relación a otras técnicas, como aquellas de nivelación hidrostática o mediante instalación de diales extensométricos. Para una discusión acerca de las ventajas y limitaciones de estas técnicas puede consultarse la referencia 2.

La nivelación que se realiza es cerrada entre los puntos de control (PC) solidarios a la estructura y su resultado se relaciona con un punto de referencia (PR) fijo, el cual, para que no esté influenciado por los movimientos verticales de los puntos de control, se ubica a una cierta distancia de la obra. La alta precisión requerida ha obligado al desarrollo de un diseño bastante perfeccionado de los puntos de control y de referencia, lo que se complementa con una serie de cuidados y precauciones que deben observarse durante las mediciones mismas.

EQUIPO RECOMENDADO

El equipo topográfico que se ha utilizado en el IDIEM para desarrollar estas mediciones y que se recomienda en cuanto a sus especificaciones, es el que se muestra en la Fig. 1. Consiste de:

1. Nivel automático de Alta Precisión VEB C. Zeiss JENA NI 002, con placa plana paralela incorporada y estabilización automática del eje óptico. Se le instala sobre un trípode de patas fijas. La precisión del instrumento según catálogo³ es de ± 0.25 mm/km de nivelación doble, con distancias de puntería entre 1.5 y 100 m.
2. Miras de precisión con cinta INVAR, acondicionadas con un nivel esférico de burbuja y trípode para fijarla sobre la cabeza esférica del punto de medición.
3. Placas metálicas de cambio, o *sapos*, tienen por objeto servir de apoyo estable a la mira INVAR en puntos provisionales de cambio. El punto

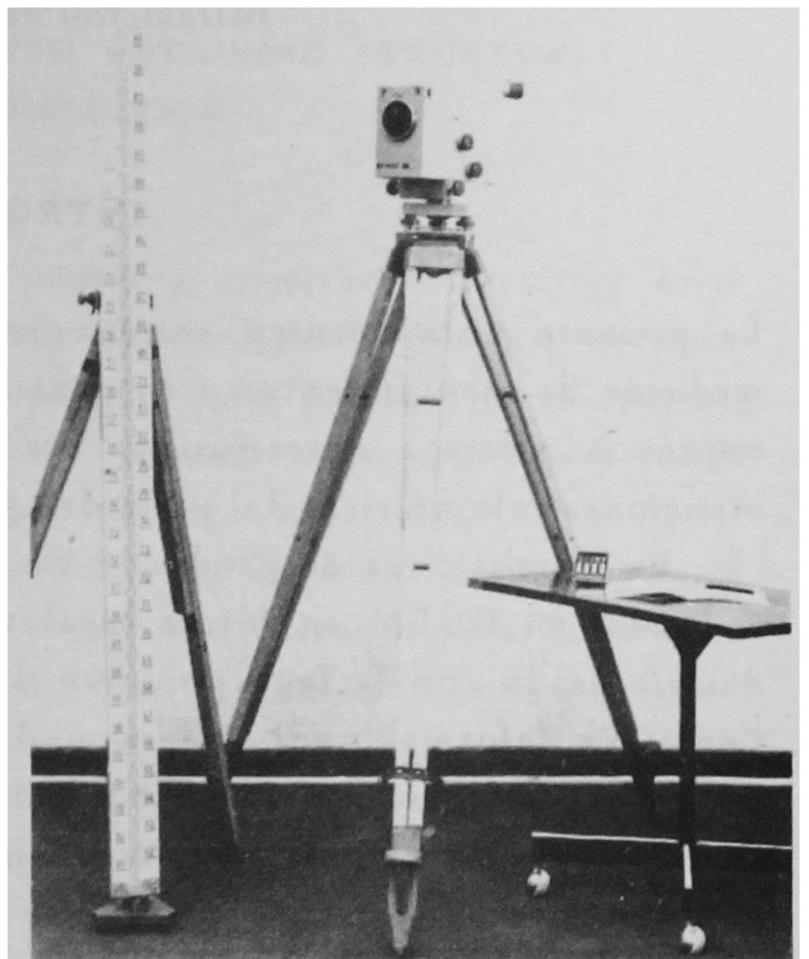


Fig. 1. Vista de los instrumentos usados en las nivelaciones topográficas de precisión.

de contacto es único y se materializa mediante una semi-esfera de acero inoxidable.

4. Personal necesario: De acuerdo a la experiencia obtenida en la nivelación periódica de 7 estructuras se recomiendan 2 operadores, los cuales organizan y realizan el trabajo en conjunto y efectúan lecturas independientes que se promedian para obtener la lectura verdadera. Se requiere además del concurso de 1 o 2 alarifes.

PUNTOS DE CONTROL (PC)

Características generales

Son dispositivos metálicos que constan de dos secciones, una de las cuales se instala fija y la segunda, atornillada a la anterior, tiene por finalidad el servir de apoyo a la mira INVAR durante las nivelaciones de precisión. Dentro del contexto de la precisión que se estima deseable, se han identificado las siguientes características que debería tener un adecuado punto de control:

Debe permanecer solidario a la estructura o elemento estructural durante todo el período de control de las deformaciones.

El punto de apoyo de la mira debe ser único, tal como sucede sobre una esfera inoxidable.

La instalación de estos elementos debe poder efectuarse durante o una vez terminada la construcción, sin producir mayores daños al elemento estructural ni a la estética.

Un tipo de punto de control que satisface estos requerimientos y puede instalarse en posición horizontal, vertical o inclinada, es el que se muestra en las Figs. 2 y 3. Su diseño se ha inspirado en las recomendaciones de la referencia 4 y consta de:

Un *zoquete* de acero inoxidable con hilo interior, que va embutido y adherido al elemento estructural.

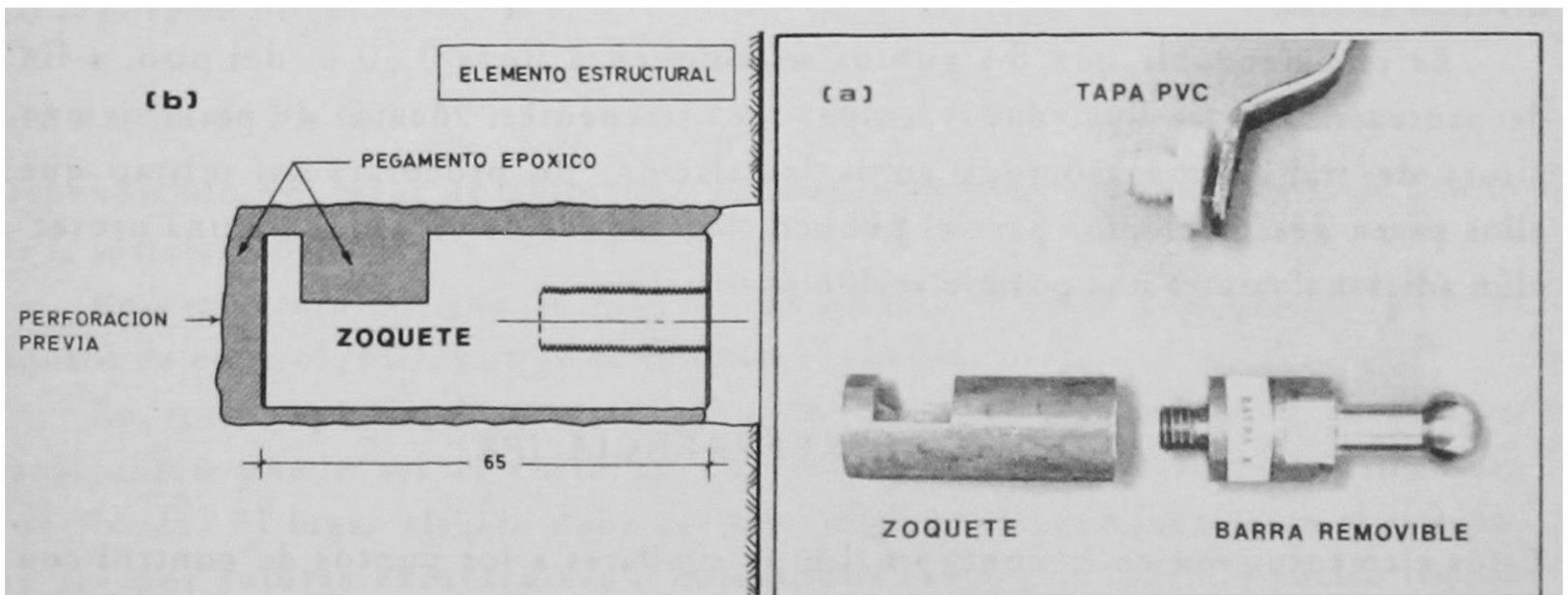


Fig. 2. a) Vista de las piezas de un punto de control, b) Detalle típico de montaje de un zoquete.

Una barra removible con hilo exterior en uno de sus extremos, que ajusta de tope con el zoquete.

Esta pieza removible se usa en todos los puntos de control, puntos de referencia y en un gran número de mediciones.

Una tapa para proteger la cara exterior de ajuste del zoquete durante todo el tiempo entre mediciones.

Criterios para su ubicación

En general para el control de edificios se propone considerar los siguientes criterios relativos a la ubicación más conveniente de los puntos de control:

En todo tipo de estructuras los puntos de control se ubicarán en los elementos estructurales más solicita-

dos y/o más críticos desde el punto de vista de los posibles asentamientos diferenciales, lo cual es usualmente una decisión propia del proyectista estructural.

En general en edificios simétricos será recomendable ubicar puntos de control a lo largo de líneas simetrales y/o diagonales, incluyendo el centro, con objeto de apreciar eventualmente giros del edificio como cuerpo rígido y/o asentamientos diferenciales producidos por causas del suelo más que de la propia estructura.

El lugar elegido deberá garantizar siempre el acceso expedito para la visual de las nivelaciones. Al respecto, si la instalación de los puntos se hace durante la construcción, será necesario ubicar puntos supernumerarios ya que en muchas oportunidades el acceso simultáneo a todos ellos se impide posteriormente por diversas causas.

Es recomendable que los puntos se ubiquen a unos 0.60 m del piso, a fin de protegerlos de la humedad y golpes más frecuentes, además de permitir una altura de trabajo más cómoda en la instalación. Se procurará así mismo que ellos pasen desapercibidos para el público, lográndose de esta manera una protección adicional contra una posible acción destructiva.

PUNTOS DE REFERENCIA (PR)

Estos elementos son en lo conceptual muy similares a los puntos de control con la diferencia que se instalan fijamente en algún punto del terreno circundante, fuera de la influencia perturbadora de las cargas de la propia estructura o de

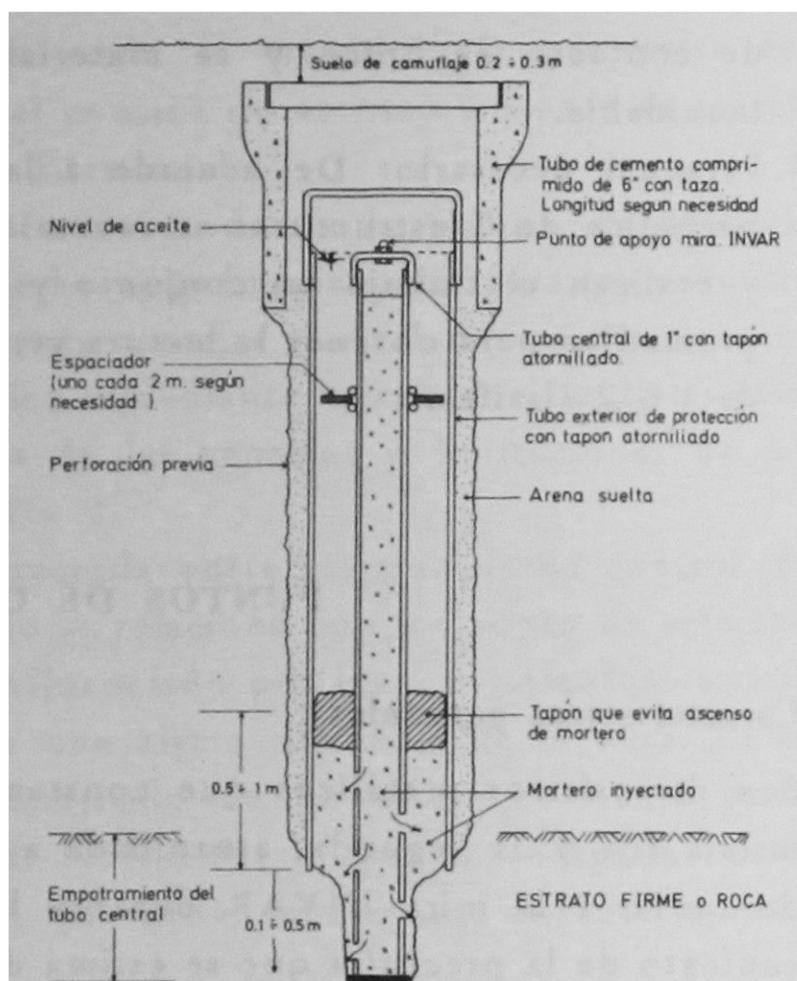


Fig. 3. Detalle de instalación de un PR en suelo firme o roca profunda.

alguna otra causa, aplicándose a ellos los mismos criterios generales relativos a su diseño y protección.

Criterios para su ubicación

Idealmente los *PR* deberán fundarse en roca o a lo menos en un estrato de suelo firme, de calidad no inferior al suelo de apoyo de la estructura a controlar; si esto no es posible de obtener con facilidad, cabría la posibilidad de instalarlos en una estructura antigua, suficientemente asentada y elegida de acuerdo a los siguientes criterios básicos para la ubicación y fundación de los puntos de referencia:

Se deberá asegurar la inmovilidad del *PR* por efectos de variaciones de carga en la estructura a controlar o en estructuras próximas a él. Al respecto se estima adecuada la recomendación de ubicar los *PRs* en puntos alejados una distancia mínima de 2.5 veces el ancho de cualquier estructura vecina, actual o futura. Una adecuada evaluación de esta condición deberá realizarse para el caso de utilizar una estructura antigua como fundación de un *PR*.

Se procurará además que el *PR* no resulte afectado por vibraciones futuras evitables.

En el caso de existir napa de agua subterránea relativamente superficial, es recomendable que el *PR* esté fundado por debajo de su nivel mínimo estacional; para evitar así los efectos de variaciones de humedad en el suelo de apoyo. Igual consideración es también válida con relación a las variaciones de temperatura en el suelo superficial, presencia de organismos, etc.

Es conveniente además que el *PR* se ubique lejos de la presencia de árboles que puedan afectarlo a través de las raíces. Al respecto se cita que, según su especie, éstas pueden alcanzar longitudes de hasta 1.5 veces la altura del árbol.

Por razones de seguridad adicional es necesario ubicar 2 o más puntos de referencia, de funcionamiento simultáneo, con objeto de que si uno se inutiliza por cualquier causa queden los demás para continuar el control, asegurándose así la cota de origen.

Instalación de los *PRs*

Dependiendo del lugar de ubicación, se hace referencia a 3 alternativas de diseño de la instalación:

En *estructura antigua* se procede de manera idéntica a la indicada para los puntos de control (*PC*), ya que su función es similar.

En *roca superficial* se materializa en un afloramiento superficial de roca sana, como puede ser el corte en un cerro próximo al lugar de la estructura controlada. El lugar elegido debe dar seguridad de su permanencia en el tiempo, ya sea por futuras excavaciones o desprendimientos naturales del núcleo rocoso del cerro. Se instala también de manera idéntica a la de un punto de control (*PC*).

En estrato de suelo firme o roca profunda. En este caso se requiere una instalación más delicada que las anteriormente descritas. Un diseño que se ha probado con éxito se detalla en la Fig. 3.

CONDICIONES AMBIENTALES PARA LA NIVELACION

Antes de proceder a la nivelación de los puntos de control respecto a los puntos de referencia fijos, se debe conjugar una serie de requerimientos ambientales sin los cuales se dificulta el desarrollo de las mediciones con el grado de precisión requerido. Estas condiciones son básicamente de 2 tipos:

Temperatura ambiente. Debe preferirse la temperatura templada a baja y en horas de menor variación.

Vibraciones. Las perturbaciones excesivas por causa del viento, tránsito, impactos, etc., pueden llegar a impedir la operación normal de la nivelación.

Si se suman a estas condiciones las dificultades probables de acceso a los puntos de control, lo que suele ser normal en obras en construcción, resulta muy recomendable programar anticipadamente las operaciones y fijar de común acuerdo con el profesional responsable de la obra el momento oportuno para realizarlas.

CUIDADOS ESPECIALES

Para que la metodología propuesta resulte consistente con el nivel de precisión que permite el instrumental utilizado se requiere observar ciertos cuidados elementales que suelen pasarse por alto y por tal razón merecen ser destacados:

- Limpieza óptima de los contactos esféricos y base de apoyo de la mira.
- Perfecto ajuste de la barra removible.
- Comprobación de la verticalidad de la mira.
- Elección de un itinerario óptimo de nivelación cerrada, con un mínimo de cambios de posiciones instrumentales y de puntos intermedios. La nivelación misma se hace en 2 circuitos también cerrados, uno de ellos en la trayectoria de los puntos de control y el otro entre el punto de referencia y el último punto intermedio común a ambos circuitos.
- Lecturas independientes de 2 operadores, para que si ellos difieren en el orden de ± 0.1 mm se pueda repetir de inmediato la nivelación hasta lograr acuerdo y descontar así una parte del error de cierre.

Considerando las indicaciones señaladas y luego de cierta práctica en la operación, puede anotarse que el tiempo total invertido en cada medición de asentamientos de una estructura es del orden de 5 a 10 horas continuadas.

REFERENCIAS

1. CAIOZZI, P. y SCHOLZ, A. *Metodología para el control de asentamientos en estructuras*, Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, 1978.
2. SALGADO, R. *Mediciones de asentamientos en edificios*, Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, 1975.
3. ZEISS JENA, C. *Nivel auto nático de alta precisión Ni - 002. Instrucciones para el uso y Revistas Jena*, Especial 1973 y 1977/3.
4. CHENEY, J.E. Techniques and equipment using the surveyor's level for accurate measurement of building movement. *Proceedings British Geotechnical Society Symposium on Field Instrumentation*, London 1973.
5. MELCHIOR, P. *The earth tides*. Observatoire Royal de Belgique, Brussels. Pergamon Press 1966.

ANEXO I

EVALUACION DE ERRORES

Teniendo presente que un control de asentamientos debe cuantificar exactamente los desplazamientos verticales de las fundaciones de la estructura respecto de su nivel fijo (no alterado por la compresibilidad del suelo) cualquier desviación de este ideal será una fuente de error. Al respecto es posible identificar varios tipos posibles de errores que son propios de la metodología y por tanto en gran medida controlables. Existen además otras diversas posibilidades de variación en los desplazamientos verticales medidos, que sin ser errores propiamente tales afectan la interpretación de los resultados.

Con relación a los errores de la metodología merecen señalarse los siguientes:

1. **Errores debido a la fabricación de las barras removibles:** Se producen a pesar de los cuidados puestos en el proceso mecánico de su confección. En un intento de cuantificarlos se efectuaron muchas lecturas independientes con la misma mira INVAR y a un mismo punto de control, alternando dos barras removibles A y B, fabricadas con las mismas especificaciones pero en forma separada.

Lecturas a barras	Cota Promedio (cm)	Desviación típica del promedio (cm)
A	117.963	0.001
B	117.944	0.001
A + B	117.954	0.002

Los resultados obtenidos indican que el error es despreciable y se incrementa al aumentar el número de barras utilizadas en las nivelaciones.

2. **Errores atribuibles al punto de referencia:** Teóricamente el diseño propuesto no introduce errores mensurables en el caso de PR colocados en estructuras antiguas o roca superficial.

Por esto sólo cabe discutir el posible error de un punto de referencia instalado de acuerdo al diseño de la Fig. 2. El error por la compresión del tubo central debido al peso de la mira resulta despreciable.

3. **Errores de la nivelación:** Se manifiestan como errores de cierre en las nivelaciones cerradas, a pesar de los cuidados y condiciones que se han señalado. Si este error es pequeño y menor que cierta tolerancia preestablecida (i.e. < 0.03 cm), se acepta la nivelación y el error se compensa distribuyéndolo de acuerdo al número de posiciones instrumentales.
4. **Errores debidos a "mareas terrestres":** Por causa de variaciones de la fuerza de gravedad en un punto de la superficie de la tierra, debido a la atracción de la luna y del sol⁵. Supuesta la tierra como un globo rígido se calcula que para 2 puntos de referencia separados por una distancia de 1000 m, la variación máxima esperada en la cota es del orden de 0.035 cm. Como los puntos de referencia que se ha hecho referencia en esta metodología se ubican a una distancia mucho menor, puede concluirse que el error por este concepto es también despreciable.

En cuanto a las posibilidades de variación de los desplazamientos verticales, detectables en una nivelación de alta precisión, se distinguen entre otros los siguientes efectos:

5. **Efectos térmicos:** Ellos adquieren importancia en los casos en que los puntos de control se instalan a cierta altura respecto de las fundaciones, i.e. a nivel del primer piso. A modo de ilustración se calcula que una diferencia media de 10°C en un elemento de acero u hormigón armado de 2.40 m de longitud puede producir una variación de cota de 0.03 cm. Se postula sin embargo que similar variación de cota puede esperarse también por efectos térmicos en los puntos de referencia, especialmente en aquellos instalados de acuerdo al diseño de la Fig. 3.
6. **Efectos de retracción y creep del hormigón:** Depende de la edad del hormigón y del régimen de temperatura y humedad ambientales prevalecientes durante todo el período de control. Se manifiesta en el largo plazo, acortando las distancias entre las fundaciones y los puntos de control. Son difíciles de cuantificar para el hormigón armado, toda vez que los antecedentes disponibles sólo se refieren al hormigón simple y en condiciones ambientales muy particulares. En casos justificados resulta práctico soslayar sus efectos ubicando los puntos de control lo más cerca posible del nivel de fundación.
7. **Efectos de la napa de agua:** Son importantes en los casos de suelos de fundación con napa de agua relativamente superficial y sujeta a variaciones estacionales o de otro tipo. Afecta a los asentamientos de la estructura fundada en ellos ya sea modificando las características de deformación del suelo o alterando la magnitud de las cargas por efectos de subpresión hidrostática. Por tal razón es muy importante que en cada ocasión, junto con medir los asentamientos se mida también la posición de la napa de agua.