

## 8. MONITOREO DEL COMPORTAMIENTO DE EXCAVACIONES Y CIMENTACIONES

**8.1** Será obligación realizar las mediciones que señala el artículo 176 del Capítulo IX del Título Sexto del Reglamento. Al establecer los requisitos mínimos del monitoreo y seguimiento de las excavaciones y cimentaciones, así como de su comportamiento durante la vida útil, deberán tomarse en cuenta la extensión e importancia de la edificación de que se trate, la zona geotécnica correspondiente a su ubicación, así como la presión media de descarga a la cimentación y la profundidad de excavación para el desplante. Otros aspectos que deben tomarse en consideración son los eventuales riesgos a los que la obra podrá estar expuesta, así como la cantidad y calidad de la información geotécnica disponible del subsuelo.

*Comentario:*

*El diseño geotécnico enfrenta siempre incertidumbres, y cada proyecto de construcción no está exento de encontrar sorpresas para su ejecución. Esto es inevitable ya que se trabaja con geomateriales que distan de mantener condiciones uniformes, lo que se suma a las limitaciones usuales en el alcance de la exploración del subsuelo. A su vez, a menudo el constructor selecciona un equipo y un procedimiento constructivo con base en información incompleta o incierta. El monitoreo geotécnico que va desde la mera observación, los levantamientos y nivelaciones topográficas hasta la instrumentación de campo, es el medio para ayudar a generar un diseño seguro y eficiente, y garantizar que la construcción se ejecute con seguridad y economía.*

**8.2** En las edificaciones del grupo A y subgrupo B1 a las que se refiere el Reglamento de Construcciones vigente, deberán realizarse nivelaciones durante la construcción y hasta que los movimientos diferidos se establezcan, a fin de observar el comportamiento de las excavaciones y cimentaciones y prevenir daños a la propia construcción, a las construcciones vecinas y a los servicios públicos.

*Comentario:*

*El monitoreo de las cimentaciones no inicia a partir de la obra terminada, sino que es necesario implementarlo desde el principio mismo de la construcción, incluyendo la excavación y, en su caso, la demolición de la estructura preexistente. Un programa de monitoreo debe enfocarse a:*

- a) Minimizar el daño a estructuras antiguas*
- b) Documentar el comportamiento para la evaluación de posibles daños*
- c) Demostrar que lo medido es satisfactorio y que está dentro de lo previsto por el diseño, o no*
- d) Diseñar medidas correctivas para abordar problemas eventuales*
- e) Evaluar los métodos de construcción de un contratista*
- f) Revelar condiciones desconocidas*
- g) Advertir de una falla inminente*
- h) Avanzar en el estado del conocimiento sobre ingeniería de cimentaciones.*

**8.3** Para cumplir con lo dispuesto en este rubro, cada caso deberá reconocerse atendiendo a la distinción que se hace en la Tabla 2.5.2 a la que se añadirá una tercera categoría tomando en cuenta el crecimiento que se está dando en altura de edificios y en profundidad de excavaciones, principalmente en la Zona III. Así, se distinguirán las tres categorías siguientes:

- 1) Construcciones ligeras o medianas de poca extensión y con excavaciones someras
- 2) Construcciones pesadas, extensas o con excavaciones profundas
- 3) Construcciones muy pesadas, muy extensas o con excavaciones muy profundas.

**8.4** Las categorías 1 y 2 son las indicadas en la Tabla 2.5.2. Para las cimentaciones de la categoría 1, sólo se requerirá un seguimiento de los desplazamientos verticales superficiales, mediante nivelación topográfica y con nivel de manguera para estructuras ligeras y simples.

**8.5** En las edificaciones de la categoría 2, y en las que especifique la Administración, será obligatorio realizar nivelaciones después de la construcción, cada mes durante los primeros seis meses y cada seis meses durante un periodo mínimo de cinco años para verificar el comportamiento previsto de las cimentaciones y sus alrededores. Después de este lapso, será obligación realizar las mediciones que señala el artículo 176 del Capítulo IX del Título Sexto del Reglamento por lo menos cada cinco años o cada vez que se detecte algún cambio en el comportamiento de la cimentación, en particular inmediatamente después de un sismo.

8.6 Se reconocerán como cimentaciones de categoría 3, aquellas que:

$$\begin{array}{lll} w > 250 \text{ kPa} & \text{ó } D_f > 15 \text{ m} & \text{en Zonas I y II} \\ w > 150 \text{ kPa} & \text{ó } D_f > 7.5 \text{ m} & \text{en Zona III} \end{array}$$

8.7 Para las cimentaciones de la categoría 3, será requisito cumplir con lo dispuesto para las categorías 1 y 2; adicionalmente será necesario recabar información por lo menos sobre las variables geotécnicas que se mencionan en la Tabla 8.7, dependiendo del tipo de obra, grupo o subgrupo y zonificación geotécnica.

**Tabla 8.7 - Variables que deben monitorearse**

Tipo de obra	Variables geotécnicas por registrar y tipo de instrumentación requerida.	Zona Geotécnica
Zapatas y losas de cimentación	Desplazamientos superficiales horizontales y verticales (topografía o levantamientos por métodos indirectos)	I
Excavaciones	Desplazamientos superficiales horizontales y verticales (topografía o levantamientos por métodos indirectos), presiones de poro (piezometría), desplazamientos horizontales con la profundidad (inclinómetros), cargas en puntales o anclas (celdas de carga o cilindros hidráulicos calibrados).	I, II, III
Cajones de cimentación	Desplazamientos superficiales (topografía o levantamientos por métodos indirectos), presiones de poro (piezometría). Cuando el diseñador lo considere útil, se podrán medir las presiones totales en el contacto con el suelo (celdas de presión).	I, II, III
Cimentaciones Profundas	Desplazamientos superficiales (topografía o levantamientos por métodos indirectos), presiones de poro (piezometría). Para el caso de pruebas de carga, mecanismo de transferencia de carga (celdas de carga, deformímetros ahogados en el concreto o adosados al acero de refuerzo).	I, II, III

8.8 La cantidad de instrumentos deberá ser tal que permita verificar las hipótesis de diseño. Además, estará en función del tamaño y grado de dificultad de la obra. El diseño de la instrumentación y su programa de monitoreo estarán a cargo del responsable geotécnico del proyecto.

*Comentario:*

*La periodicidad de la toma de lecturas estará en función de:*

- El grado de incertidumbre en las hipótesis de proyecto*
- La complejidad del terreno y condiciones de carga*
- El riesgo potencial de falla durante la construcción*
- La posibilidad de implementar, durante la construcción, modificaciones de proyecto o medidas correctivas.*

*Empleando el método observacional (Peck, 1969), el monitoreo es útil para verificar que las variables del sistema se comporten de acuerdo con las hipótesis de diseño. Así, pueden tomarse acciones oportunas, ya sea en los procesos constructivos o en el diseño, además de asegurar la estabilidad de la obra.*

*Dunnicliff (1988) establece criterios y recomendaciones para llevar a buen fin una instrumentación, así como detalles de la instalación y elección de sensores de acuerdo con los objetivos de la instrumentación. Sin embargo, siempre será pertinente que un experto en instrumentación diseñe la instrumentación ex profeso para cada caso particular. Los dispositivos mencionados en la tabla 8.6 se describen en CONAGUA (2012). Los levantamientos topográficos se efectuarán con equipos tradicionales o con equipos electro-ópticos (estación total) o incluso, los basados en sistemas satelitales de navegación global, si es demostrable que aportan similar precisión. Debe reconocerse que la instrumentación geotécnica no es ajena al desarrollo de los avances tecnológicos; a los transductores eléctricos basados en extensómetros (strain gages) y cuerda vibrante, se añaden ahora los de fibra óptica y los sistemas microelectromecánicos (SMEM). Podrá recurrirse a estos transductores de última generación, si se demuestra que poseen al menos la misma confiabilidad y precisión que los sensores tradicionales.*

8.9 Se deberá elaborar una base de datos de los resultados de la instrumentación que permita su fácil manejo e interpretación. La instrumentación a disponer en las edificaciones pertenecientes al Grupo A deberá incluir un sistema de monitoreo diseñado para medir ante condiciones dinámicas, que permita evaluar la integridad y el comportamiento de la estructura, durante y posteriormente a un sismo. En lo que respecta a las estructuras del Grupo B1, el estudio del comportamiento deberá basarse en las mediciones realizadas con la instrumentación. La evaluación del comportamiento de las estructuras del Grupo B2 deberá

ser sencilla, cualitativa y basada en la inspección. En los tres casos, se monitoreará ante condiciones estáticas, durante el procedimiento constructivo y a largo plazo. Se deberán indicar los niveles de alerta (umbrales) a partir de los cuales se encuentre en riesgo la estabilidad de la edificación y las acciones correspondientes requeridas.

*Comentario:*

*Las variables medidas en las diferentes zonas geotécnicas pueden tener un orden de magnitud diferente. Por ello, en el informe geotécnico, deberán plantearse las pautas para la implementación de la instrumentación, así como los valores que deberán registrarse durante la vida del proyecto, desde su construcción, a largo plazo y ante un sismo.*

**8.10** Será obligación del propietario o poseedor de la edificación, proporcionar copia de los resultados de estas mediciones, así como de los planos, memorias de cálculo y otros documentos sobre el diseño de la cimentación a la Administración cuando ésta lo solicite y a los diseñadores de inmuebles que se construyan en predios contiguos.

**8.11** Los niveles freáticos, las presiones intersticiales y las características químicas del agua subterránea, encontrados durante la ejecución se deben comparar, según proceda, con los supuestos en proyecto. Especialmente, se deberá verificar el efecto que tendrán la salinidad, principalmente el contenido de cloruros y sulfatos del agua, y la materia orgánica en las cimentaciones, en particular para la zona III. Para las estructuras del subgrupo B2, las comprobaciones se deberán basar, normalmente, en la experiencia previa adecuadamente documentada en la zona, o en evidencias indirectas. Para las estructuras del Grupo A y subgrupo B1 se deberán realizar mediciones directas de las condiciones del agua subterránea, a fin de establecer si afectan de manera significativa el método constructivo o el comportamiento de la estructura.

**8.12** Se deberán definir las características de flujo y distribución de presiones intersticiales del agua subterránea mediante piezómetros, los cuales deberán instalarse por lo menos un mes antes del comienzo de las operaciones constructivas.

**8.13** Si durante la construcción se produjeran cambios en las presiones intersticiales susceptibles de afectar el comportamiento de la estructura, se deberá realizar el seguimiento de estas presiones hasta el final de la construcción o hasta que las presiones de poro se hayan disipado hasta alcanzar valores seguros.

**8.14** Para estructuras cuya losa de cimentación esté abajo del nivel freático y por tanto sometida a subpresión, se deberá realizar un seguimiento de las presiones intersticiales hasta que el peso propio de la estructura sea suficiente para compensar la subpresión.

**8.15** Se deberá comprobar el efecto de las operaciones de construcción (incluyendo procesos tales como el abatimiento del nivel freático o las inyecciones) en el régimen de flujo del agua subterránea.

*Comentario:*

*Para evaluar los cambios en las condiciones piezométricas del subsuelo durante la construcción de la obra o durante eventos sísmicos, se usarán piezómetros de respuesta rápida.*

**8.16** El responsable del diseño geotécnico deberá proporcionar el cronograma del monitoreo en términos del número de anclas, ubicación, frecuencia y elaboración de informes. También deberá determinar la pérdida máxima de carga o, en su defecto, las máximas ganancias que podrán tolerarse en cualquier ancla durante su vida útil, tomando en cuenta el sistema completo de anclaje. Adicionalmente, deberá especificarse el sistema de medición para monitorear los movimientos del sistema de anclaje en su conjunto; estos desplazamientos deberán conocerse, para vincularlos al cambio de las cargas de tensado de las anclas, y deberán establecerse las acciones que indique el responsable geotécnico.

**8.17** Las observaciones de desplazamientos generales de la masa estabilizada, se deberán realizar en intervalos de 1 a 3 meses para las anclas temporales; para las permanentes, se deberán monitorear en intervalos no mayores a 2 años, dependiendo de los resultados. Cualquier cambio significativo deberá ser evaluado por el responsable geotécnico.

*Comentario:*

*Es conveniente considerar la pérdida de carga dependiente del tiempo y el posible movimiento de la estructura de anclaje.*

*Cuando se mida el aumento de carga de un ancla, el monitoreo continuará hasta que la carga se estabilice. Si la carga del ancla se acerca a la de diseño, el tendón se podrá relajar hasta alcanzar un 75% de la carga de diseño, para evitar sobrecargar el sistema de reacción. Se recomienda realizar el monitoreo de la fuerza, hasta que se estabilice.*