

**LIBRO:** PRY. PROYECTO

**TEMA:** CAR. Carreteras

**PARTE:** 8. PROYECTO DE CIMENTACIONES

**TÍTULO:** 01. Cimentaciones Superficiales

**CAPÍTULO:** 004. Revisión del Estado Límite de Servicio de Cimentaciones Superficiales

## **A. CONTENIDO**

Esta Norma contiene los criterios generales para la revisión del estado límite de servicio de las cimentaciones superficiales, a que se refieren las Normas N·PRY·CAR·8·01·001, *Ejecución de Proyectos de Cimentaciones Superficiales* y N·PRY·CAR·8·01·002, *Selección del Tipo de Cimentación Superficial y Dimensionamiento Preliminar*.

## **B. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN**

El estado límite de servicio es la condición extrema en la que la cimentación con la estructura que ésta soporta se asienta más de lo tolerable y deja de cumplir satisfactoriamente con el servicio o la función para la cual fue diseñada, produciendo desniveles, fisuras o agrietamientos que transmiten una sensación de inseguridad o pérdida de bienestar en los usuarios, debido a los movimientos del material de desplante.

La revisión del estado límite de servicio consiste en estimar los asentamientos de las cimentaciones superficiales en proyecto y revisar su seguridad verificando que no sean mayores que los asentamientos tolerables para cumplir satisfactoriamente con el servicio o función para la que fue diseñada la estructura.

Los asentamientos se clasifican en:

### **B.1. ASENTAMIENTOS TOTALES**

Los asentamientos totales del material de desplante de las cimentaciones son el resultado de acumular para cada uno de los estratos que subyacen a la cimentación los siguientes:

### B.1.1. Asentamientos inmediatos

Los asentamientos inmediatos se deben a la aplicación de la carga, como resultado de la deformación elástica del subsuelo sin cambio alguno en el contenido de agua.

### B.1.2. Asentamientos por consolidación del subsuelo

Los asentamientos por consolidación son consecuencia principalmente de la reducción del volumen del subsuelo debido a la expulsión de una parte de su agua a través de sus poros. Estos asentamientos se presentan en dos etapas, como asentamientos primarios que ocurren durante el tiempo en que se expulsa el agua y asentamientos secundarios como consecuencia del flujo viscoso que se activa después de que toda el agua drenable ha sido expulsada.

## B.2. ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES

Se presentan cuando se tienen diferentes asentamientos de un punto a otro de la cimentación, debido a que el asentamiento tiene un cambio de magnitud y de distribución de esfuerzos. La diferencia de asentamientos puede ser generada por la heterogeneidad del subsuelo o por una variación importante de la carga que transmite la estructura a la cimentación, la cual puede causar riesgo de inestabilidad en la cimentación.

## C. REFERENCIAS

Esta Norma se complementa con las siguientes:

| NORMAS Y MANUAL   | DESIGNACIÓN        |
|---|--------------------|
| Ejecución de Proyectos de Cimentaciones Superficiales .....                       | N.PRY.CAR.8-01-001 |
| Selección del Tipo de Cimentación Superficial y Dimensionamiento Preliminar ..... | N.PRY.CAR.8-01-002 |
| Revisión del Estado Límite de Servicio de Cimentaciones Superficiales .....       | M.PRY.CAR.8-01-004 |

## D. CONSIDERACIONES PARA LA REVISIÓN

Dependiendo del tipo de material de desplante, se determinarán:

- D.1. Los asentamientos totales de la cimentación propuesta y cuando así se requiera, los asentamientos diferenciales.
- D.2. En su caso, los asentamientos inmediatos en rocas.
- D.3. Se revisará la seguridad de las cimentaciones superficiales verificando que los asentamientos no rebasen las tolerancias para las condiciones más críticas que se presenten durante la construcción, inmediatamente después de que sea puesta en servicio la estructura, y a lo largo de su vida útil.

## E. REVISIÓN DEL ESTADO LÍMITE DE SERVICIO

### E.1. DETERMINACIÓN DE LOS ASENTAMIENTOS TOTALES Y DIFERENCIALES EN SUBSUELOS

Se determinarán los asentamientos totales y diferenciales de la cimentación propuesta en el subsuelo de acuerdo con lo siguiente:

#### E.1.1. Profundidad de cálculo

Para el cálculo de los asentamientos totales la profundidad a partir del nivel de desplante hasta la cual se calcularán los asentamientos será de al menos dos (2) veces el ancho o el diámetro de la cimentación para zapatas aisladas y de tres (3) veces el ancho para zapatas corridas y losas, considerando los espesores y las propiedades de consolidación de todos los estratos del subsuelo.

#### E.1.2. Asentamientos totales

Los asentamientos totales en subsuelos serán el resultado de acumular para cada uno de los estratos, los siguientes:

##### E.1.2.1. Asentamientos inmediatos

Los asentamientos inmediatos serán determinados mediante la aplicación de la Teoría Elástica, considerando el modelo que más se apegue a la distribución de la carga, de acuerdo con lo indicado en el Manual M-PRY-CAR-8-01-004, *Revisión del Estado Límite de Servicio de Cimentaciones Superficiales*.

### E.1.2.2. Asentamientos por consolidación del subsuelo

#### a) Asentamientos primarios

En arcillas o limos de baja o alta plasticidad, total o parcialmente saturados, los asentamientos por consolidación del subsuelo bajo los incrementos de esfuerzos que transmiten las cimentaciones superficiales y las cargas de las estructuras, se calcularán de acuerdo con lo indicado en el Manual M-PRY-CAR-8-01-004, *Revisión del Estado Límite de Servicio de Cimentaciones Superficiales*, usando los parámetros obtenidos de pruebas de consolidación unidimensional en laboratorio, realizadas en muestras inalteradas representativas.

#### b) Asentamientos secundarios

En subsuelos con alto contenido de materia orgánica y arcillas suaves, que pueden presentar asentamientos secundarios, estos se calcularán de acuerdo con lo indicado en el Manual M-PRY-CAR-8-01-004, *Revisión del Estado Límite de Servicio de Cimentaciones Superficiales*, empleando las curvas tiempo-deformación resultantes de las pruebas de consolidación unidimensional realizadas en muestras inalteradas representativas.

### E.1.3. Asentamientos diferenciales

Los asentamientos diferenciales se determinarán calculando los asentamientos totales a que se refiere el Inciso E.1.2. de esta Norma, para distintos puntos dentro y fuera del área cargada por la cimentación superficial, haciendo intervenir la rigidez de ésta y en el caso de puentes y estructuras similares, para los distintos apoyos que lo conforman incluyendo sus terraplenes de acceso.

**E.1.4.** Cuando sea el caso, se considerarán también otros factores que puedan incidir en los asentamientos de las cimentaciones superficiales, como sobrecargas de terraplenes, empujes laterales de tierras, hundimientos regionales y efectos dinámicos de sismos o viento.

## **E.2. DETERMINACIÓN DE LOS ASENTAMIENTOS INMEDIATOS EN ROCAS**

- E.2.1.** Se calcularán los asentamientos inmediatos en rocas para el caso de zapatas aisladas o zapatas corridas, de acuerdo con lo indicado en el Manual M-PRY-CAR-8-01-004, *Revisión del Estado Límite de Servicio de Cimentaciones Superficiales*.
- E.2.2.** Para la determinación de los asentamientos inmediatos en rocas, se tomará en cuenta la alteración, fracturamiento y oquedades que afecten al macizo rocoso, para evaluar la deformación y, en su caso, limitar la magnitud de la descarga.

## **E.3. REVISIÓN DE LA SEGURIDAD**

Se revisará la seguridad de la cimentación superficial evaluando las condiciones más críticas que puedan presentarse durante la construcción e inmediatamente después de que sea puesta en servicio la estructura y a lo largo de la vida útil de ésta, de acuerdo con lo siguiente:

- E.3.1.** Las cimentaciones superficiales, de acuerdo con su tipo y la estructura que soportarán, se proyectarán para cumplir con las tolerancias de los asentamientos totales y diferenciales, que se indican en los Incisos E.3.3. y E.3.4. de esta Norma, así como soportar las cargas que les transmitirá la estructura y otros efectos externos que pudieran presentarse.
- E.3.2.** Una vez determinada la magnitud de los asentamientos, se verificará que se cumpla con las tolerancias, de acuerdo con la función y el tipo de estructura, su vida útil remanente y las consecuencias que tendrían asentamientos inaceptables en el comportamiento de la estructura y de obras inducidas próximas a ella. Cuando no se cumpla con las tolerancias, la cimentación superficial será revisada en sus dimensiones, rigidez y esfuerzos que transmite, para satisfacer las tolerancias y se propondrán los cambios en el diseño que sean necesarios.

### **E.3.3. Límites máximos tolerables de la distorsión angular ( $\delta'/l$ )**

- E.3.3.1.** Se calculará la distorsión angular ( $\delta'/l$ ), usando la siguiente expresión:

$$\text{Distorsión Angular } (\delta'/l) = \frac{\delta'}{l}$$

Donde:

$\delta'$  =Asentamiento diferencial entre zapatas adyacentes o entre dos puntos de la cimentación, (m)

$l$  =Distancia centro a centro entre zapatas adyacentes o de los puntos de la cimentación, (m)

**E.3.3.2.** Los límites máximos tolerables de la distorsión angular ( $\delta'/l$ ) para puentes y estructuras similares, así como para edificaciones, serán los indicados en la Tabla 1 de esta Norma.

**TABLA 1.- Límites máximos tolerables para la distorsión angular ( $\delta'/l$ )**

| Tipo de estructura                             | Elementos   | Límite adimensional          |
|--|---|------------------------------|
| Puentes y estructuras similares <sup>[1]</sup> | Con traves simplemente apoyadas   | 0,005                        |
|  | Con traves continuas  | 0,004                        |
| Edificaciones                                  | Marcos de acero de hasta cuatro pisos   | 0,006                        |
|  | Marcos de concreto de hasta cuatro pisos  | 0,004                        |
|  | Estructuras de acero de una o dos plantas, armaduras para cubierta, almacenes con muros flexibles                                 | 0,006 a 0,008                |
|  | Estructuras de acero de una o dos plantas, con muros de carga de ladrillo recocido y estructuras ligeras                          | 0,002                        |
|  | Estructuras con acabado interior o exterior sensibles, como yeso, piedra ornamental, teja, entre otros                            | 0,001 a 0,002 <sup>[2]</sup> |
|  | Estructuras con acabado interior o exterior relativamente insensible, como mampostería en seco o paneles móviles                  | 0,002 a 0,003                |
|  | Estructuras rígidas de concreto pesado de varias plantas, sobre losa de cimentación estructurada con espesor aproximado de 1,20 m | 0,005                        |
| Tuberías de concreto con juntas                | 0,015   |                              |

[1] Estas tolerancias de distorsión angular no son aplicables a puentes y estructuras similares basadas en marcos rígidos. Estas estructuras serán diseñadas para los asentamientos diferenciales previstos con base en los resultados de análisis especiales

[2] Se tolerarán valores mayores en la medida en que la deformación ocurra antes de colocar los acabados o estos se encuentren desligados de los muros

**E.3.3.3.** Los desplazamientos horizontales tolerables de las cimentaciones de puentes y estructuras similares considerarán los efectos potenciales de los movimientos

horizontales y verticales combinados. Cuando la ocurrencia simultánea de estos dos movimientos sea posible, los movimientos horizontales serán de hasta dos coma cinco (2,5) centímetros. Cuando se prevea que los desplazamientos verticales serán pequeños, los movimientos horizontales serán de hasta tres coma ocho (3,8) centímetros. Cuando los movimientos estimados o reales excedan los límites indicados en este Párrafo, se considerarán análisis especiales y se tomarán medidas durante el diseño para limitarlos.

**E.3.4. Límites máximos tolerables para asentamientos e inclinaciones**

**E.3.4.1.** En puentes y estructuras similares los asentamientos diferenciales entre la superestructura y los terraplenes de acceso, serán de hasta dos coma cinco (2,5) centímetros.

**E.3.4.2.** Para edificaciones, los límites máximos tolerables de asentamientos e inclinaciones serán los indicados en la Tabla 2 de esta Norma. Además, se revisará que los movimientos y deformaciones no causen daños a la propia estructura, sus instalaciones, acabados y elementos no estructurales, a las construcciones y servicios públicos vecinos, así como a obras inducidas que pudieran resultar afectadas.

**TABLA 2.- Límites máximos tolerables de asentamientos e inclinaciones para edificaciones**

| Asentamiento o emersión<br>cm   |                                  |                            |              |
|---|----------------------------------|----------------------------|--------------|
| Asentamiento o emersión<br>(Valor medio en el área ocupada por la construcción) |                                  |                            | Límite<br>cm |
| Asentamiento  | Subsuelo firme                   | Construcciones aisladas    | 5            |
|   |                                  | Construcciones colindantes | 2,5          |
|   | Subsuelo de alta compresibilidad | Construcciones aisladas    | 30           |
|   |                                  | Construcciones colindantes | 15           |

*continúa ...*

**TABLA 2.- Límites máximos tolerables de asentamientos e inclinaciones para edificaciones (*continuación*)**

| Asentamiento o emersión<br>cm   |                                   |                                  |
|---|-----------------------------------|----------------------------------|
| Asentamiento o emersión<br>(Valor medio en el área ocupada por la construcción) |                                   | Límite<br>cm                     |
| Emersión  | Construcciones aisladas           | 30                               |
|   | Construcciones colindantes        | 15                               |
|   | Velocidad del componente diferido | 1 cm/semana                      |
| Inclinación media de la construcción, %   |                                   | $100/(100 + 3hc)$ <sup>[1]</sup> |

[1] *hc* es la altura de la construcción, (m)

## F. BIBLIOGRAFÍA

Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones, Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2017.

American Association of State Highway and Transportation Officials, Inc. (AASHTO), *Standard Specifications for Highway Bridges*, 17<sup>th</sup> Edition, Section 4, (2002).

American Association of State Highway and Transportation Officials, Inc. (AASHTO), *LRFD Bridge Design Specifications, Customary U.S. Units*, 7<sup>th</sup> Edition, with 2015 Interim Revisions.

Juárez Badillo E., Rico Rodríguez A., *Mecánica de Suelos Tomo II*, 2da Edición, Limusa, 2002.

Peck R. B., Hanson W. E., Thornburn T. H., *Ingeniería de Cimentaciones*, 2da. Edición, Limusa, 2004.

Bowles J. E., *Foundation Analysis and Design*, 5<sup>th</sup> Edition, Mc Graw-Hill Inc., 1996.

Zeevaert W. L., *Foundation Engineering for Difficult Subsoil Conditions*, 2<sup>nd</sup> Edition, Van Nostrand Reinhold, 1983.

Poulos H. G. and Davis E. H., *Elastic Solutions for Soil and Rock Mechanics*, John Wiley and Sons, Inc., New York, N.Y., 1974.

Tomlinson M. J., *Foundation Design and Construction*, Trillas, 2012.



# SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



## SCT

SECRETARÍA DE  
COMUNICACIONES  
Y TRANSPORTES

### SUBSECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA

Dirección General de Servicios Técnicos

Av. Coyoacán 1895

Col. Acacias

Ciudad de México, 03240

[www.gob.mx/sct](http://www.gob.mx/sct)



### INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

Blvd. Manuel Ávila Camacho 5

Toreo Parque Central, Torre A, piso 4,

Col. Lomas de Sotelo

Naucalpan

Estado de México, 53390

[www.gob.mx/imt](http://www.gob.mx/imt)

[normas@imt.mx](mailto:normas@imt.mx)