

LIBRO: PRY. PROYECTO
TEMA: CAR. Carreteras
PARTE: 8. PROYECTO DE CIMENTACIONES
TÍTULO: 01. Cimentaciones Superficiales
CAPÍTULO: 003. *Determinación de la Capacidad de Carga del Subsuelo o Roca y Revisión del Estado Límite de Falla de Cimentaciones Superficiales*

A. CONTENIDO

Esta Norma contiene los criterios generales para la determinación de la capacidad de carga última o de la capacidad de carga admisible del subsuelo o roca y, en su caso, la revisión del estado límite de falla de las cimentaciones superficiales, a que se refiere la Norma N·PRY·CAR·8·01·001, *Ejecución de Proyectos de Cimentaciones Superficiales*.

B. DEFINICIONES

B.1. CAPACIDAD DE CARGA ÚLTIMA

Es la presión máxima que puede transmitirse al subsuelo a través del cimiento sin provocar la falla por resistencia al esfuerzo cortante del subsuelo.

B.2. CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE

Es la capacidad de carga última reducida por un factor de seguridad.

B.3. ESTADO LÍMITE DE FALLA

Es la condición del agotamiento total de la capacidad de carga del sistema de cimentación, o bien, que aun cuando no se llegue al agotamiento de la capacidad de carga, se presenten daños irreversibles que afecten dicha resistencia ante acciones futuras.

C. REFERENCIAS

Esta Norma se complementa con las siguientes:

NORMAS Y MANUAL	DESIGNACIÓN
Combinaciones de Cargas	N·PRY·CAR·6·01·006
Ejecución de Proyectos de Cimentaciones Superficiales	N·PRY·CAR·8·01·001
Selección del Tipo de Cimentación Superficial ..	N·PRY·CAR·8·01·002
Determinación del Estado Límite de Servicio para Cimentaciones Superficiales	N·PRY·CAR·8·01·004
Análisis y Diseño Estructural de Cimentaciones Superficiales	N·PRY·CAR·8·01·005
Determinación de la Capacidad de Carga del Subsuelo o Roca y Revisión del Estado Límite de Falla de Cimentaciones Superficiales	M·PRY·CAR·8·01·003

D. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO

D.1. Los requisitos de seguridad que las cimentaciones superficiales cumplirán se refieren principalmente a la revisión de dos tipos de fallas:

D.1.1. La falla de los materiales del subsuelo bajo la cimentación superficial, cuando se alcanza la máxima carga que estos pueden resistir, la cual se define como la capacidad de carga última (q_{ult}).

D.1.2. La falla de los elementos estructurales de la propia cimentación superficial.

- D.2.** La falla estructural de la cimentación se determinará de acuerdo con lo indicado en la Norma N-PRY-CAR-8-01-005, *Análisis y Diseño Estructural de Cimentaciones Superficiales*.
- D.3.** Para efectos del diseño geotécnico, se revisará la seguridad de la cimentación superficial comparando los esfuerzos que transmitirá al subsuelo de apoyo, con la capacidad de carga última de éste, empleando cualquiera de los dos criterios alternativos siguientes:
- D.3.1.** Criterio de diseño con cargas de servicio, también conocido como de esfuerzos admisibles.
- D.3.2.** Criterio de diseño con factores de carga, que corresponde a la revisión del llamado estado límite de falla de la cimentación superficial.
- D.4.** Como parte de las acciones y aspectos a considerar en el análisis geotécnico de las cimentaciones superficiales están:
- El levantamiento por efecto de empujes y fuerzas de filtración del agua freática,
 - el volteo o posible pérdida de contacto,
 - el deslizamiento de la base, y
 - el procedimiento constructivo de la cimentación.
- Asimismo, se tomará en cuenta la posible ocurrencia de eventos extremos como los mencionados en el Párrafo E.1.3.8. de esta Norma.

E. DETERMINACIÓN DEL ESTADO LÍMITE DE FALLA DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES EN SUBSUELOS

E.1. CAPACIDAD DE CARGA ÚLTIMA DEL SUBSUELO

El cálculo de la capacidad de carga última (q_{ult}) de una cimentación superficial apoyada sobre subsuelos, previamente seleccionada de acuerdo con lo indicado en la Norma N-PRY-CAR-8-01-002, *Selección del Tipo de Cimentación Superficial*, considera las siguientes hipótesis:

- E.1.1.** Cimientos de base circular, cuadrada o rectangular de longitud (L) no mayor a cinco (5) veces su ancho (B).
- E.1.2.** Cargas axiales simétricas y subsuelo sensiblemente homogéneo que se comporta como un sólido indeformable antes de la falla, y que fluye plásticamente a carga constante después de ésta.

Considerando los dos Incisos anteriores, el cálculo de la capacidad de carga última (q_{ult}) del subsuelo se realiza con la siguiente expresión propuesta por Terzaghi:

$$q_{ult} = cN_c + \gamma_1 D_f N_q + 0,5\gamma_2 B N_\gamma$$

Donde:

- q_{ult} = Capacidad de carga última, (kPa)
 c = Cohesión del subsuelo, (kPa)
 γ_1 = Peso volumétrico efectivo del subsuelo por encima del nivel de desplante, (kN/m³)
 γ_2 = Peso volumétrico efectivo del subsuelo por debajo del nivel de desplante, (kN/m³)
 D_f = Profundidad de desplante mínima previsible, (m)
 B = Ancho o diámetro del cimiento, (m)
 N_c, N_q, N_γ = Factores de capacidad de carga, (adimensionales), en función del ángulo de fricción interna (ϕ), que se obtienen del Manual M-PRY-CAR-8-01-003, *Determinación de la Capacidad de Carga del Subsuelo o Roca y Revisión del Estado Límite de Falla de Cimentaciones Superficiales*

Los valores de resistencia al esfuerzo cortante, cohesión del subsuelo (c) y ángulo de fricción interna (ϕ), se determinarán mediante pruebas de laboratorio que representen las condiciones de aplicación de la carga de la cimentación superficial; o indirectamente, cuando no sea posible obtener muestras inalteradas, mediante correlaciones con pruebas de campo que pueden comprender desde pruebas de penetración hasta pruebas presiométricas. En caso de no contar con elementos suficientes para determinar (c) y (ϕ), se considerará al subsuelo como totalmente cohesivo ($c \neq 0, \phi = 0$) o totalmente friccionante

($c = 0, \phi \neq 0$) y el parámetro de resistencia correspondiente se estimará usando correlaciones aceptables en el diseño geotécnico.

E.1.3. Factores que afectan la capacidad de carga del subsuelo

Tomando en cuenta los diversos factores y condiciones que afectan la capacidad de carga del subsuelo, la ecuación para el cálculo de la capacidad de carga última (q_{ult}) se afecta por factores modificadores de forma (f), de inclinación de la carga (i) y de la base (b); la expresión modificada es la siguiente:

$$q_{ult} = cN_c f_c b_c i_c + \gamma_1 D_f N_q f_q b_q i_q + 0,5\gamma_2 BN_\gamma f_\gamma b_\gamma i_\gamma$$

Donde:

q_{ult} = Capacidad de carga última, (kPa)

c = Cohesión del subsuelo, (kPa)

γ_1 = Peso volumétrico efectivo del subsuelo por encima del nivel de desplante, (kN/m³)

γ_2 = Peso volumétrico efectivo del subsuelo por debajo del nivel de desplante, (kN/m³)

D_f = Profundidad de desplante mínima previsible, (m)

B = Ancho del cimiento, (m)

N_c, N_q, N_γ = Factores de capacidad de carga, (adimensionales), en función del ángulo de fricción interna (ϕ), que se obtienen del Manual M-PRY-CAR-8-01-003, *Determinación de la Capacidad de Carga del Subsuelo o Roca y Revisión del Estado Límite de Falla de Cimentaciones Superficiales*

f_c, f_q y f_γ = Factores modificadores de forma, (adimensionales), que se obtienen del Manual M-PRY-CAR-8-01-003, *Determinación de la Capacidad de Carga del Subsuelo o Roca y Revisión del Estado Límite de Falla de Cimentaciones Superficiales*

b_c, b_q y b_γ = Factores modificadores de inclinación de la base, (adimensionales), que se calculan como se indica en el Manual M-PRY-CAR-8-01-003, *Determinación de la Capacidad de Carga del Subsuelo o Roca y Revisión del Estado Límite de Falla de Cimentaciones Superficiales*

i_c, i_q y i_γ = Factores modificadores de inclinación de la carga, (adimensionales), que se calculan como se indica en el Manual M-PRY-CAR-8-01-003, *Determinación de la Capacidad de Carga del Subsuelo o Roca y Revisión del Estado Límite de Falla de Cimentaciones Superficiales*

E.1.3.1. Efecto de la deformabilidad del subsuelo

Cuando el subsuelo no es lo suficientemente compacto o consistente para comportarse como un sólido rígido e indeformable antes de alcanzar la falla, la capacidad de carga última se calculará de acuerdo con lo indicado en la Fracción E.1. de esta Norma, usando valores de resistencia al esfuerzo cortante (c) y (ϕ) reducidos que se determinarán de acuerdo con lo indicado en el Manual M-PRY-CAR-8-01-003, *Determinación de la Capacidad de Carga del Subsuelo o Roca y Revisión del Estado Límite de Falla de Cimentaciones Superficiales*.

E.1.3.2. Cargas excéntricas

Para determinar los factores de capacidad de carga y los modificadores (f), (i) y (b) que afectan la carga última de cimientos rectangulares sujetos a cargas excéntricas respecto a su centroide, se usarán dimensiones reducidas de esos cimientos (B' , L') para el cálculo. La reducción de las dimensiones se realizará de acuerdo con lo indicado en el Manual M-PRY-CAR-8-01-003, *Determinación de la Capacidad de Carga del Subsuelo o Roca y Revisión del Estado Límite de Falla de Cimentaciones Superficiales*.

E.1.3.3. Cargas inclinadas

Para el caso de cargas inclinadas, éstas se descompondrán en sus dos componentes, horizontal (P) y vertical (Q), considerando que el esfuerzo que transmite esta última determinará la capacidad de carga última (q_{ult}). La falla por deslizamiento se revisará, comparando la componente (P) con la máxima fuerza cortante resistente (P_{max}) que actúa en el plano de la

base del cimiento, calculada como se indica en el Manual M-PRY-CAR-8-01-003, *Determinación de la Capacidad de Carga del Subsuelo o Roca y Revisión del Estado Límite de Falla de Cimentaciones Superficiales*.

E.1.3.4. Superficie del terreno inclinada

Para cimentaciones superficiales localizadas sobre laderas y taludes, o sobre la corona de taludes, la capacidad de carga última (q_{ult}) se determinará de acuerdo con lo indicado en el Manual M-PRY-CAR-8-01-003, *Determinación de la Capacidad de Carga del Subsuelo o Roca y Revisión del Estado Límite de Falla de Cimentaciones Superficiales*, para los casos de subsuelos puramente cohesivos ($c \neq 0, \phi = 0$) o friccionantes ($c = 0, \phi \neq 0$). Además, se verificará la estabilidad del conjunto talud-cimiento, incluyendo las cargas que este último transmitirá.

E.1.3.5. Efecto del nivel freático

Para la evaluación de las propiedades mecánicas del subsuelo y de su masa volumétrica, se considerará la localización más desfavorable del nivel freático durante la vida útil de la estructura.

Cuando el nivel freático se localice abajo del desplante del cimiento a una profundidad menor que su ancho (B), el valor de la masa volumétrica efectiva del subsuelo (γ) se modificará de acuerdo con lo indicado en el Manual M-PRY-CAR-8-01-003, *Determinación de la Capacidad de Carga del Subsuelo o Roca y Revisión del Estado Límite de Falla de Cimentaciones Superficiales*.

E.1.3.6. Estructuras cercanas

Cuando la cimentación superficial se localice cerca de estructuras existentes, se tomará en cuenta la influencia de éstas sobre el comportamiento de la nueva cimentación y su efecto sobre las estructuras existentes.

E.1.3.7. Subsuelo heterogéneo

Cuando el subsuelo de apoyo de la cimentación superficial sea heterogéneo, se tendrán las siguientes consideraciones para los tres casos que se describen a continuación:

- a) Si el perfil del subsuelo no tiene cambios grandes o bruscos y la heterogeneidad se debe a condiciones naturales con variaciones acotables, o bien sigue un patrón definido que produzca una variación de la resistencia al esfuerzo cortante respecto de su profundidad, determinable mediante las exploraciones y ensayos de laboratorio, o mediante métodos de probabilidad y estadística basados en la media y desviación estándar, que definan los valores de resistencia al esfuerzo cortante del subsuelo que serán usados en la determinación de la capacidad de carga. También se podrán utilizar para el diseño de las cimentaciones superficiales, las condiciones del subsuelo más desfavorables encontradas.
- b) Si el perfil del subsuelo es estratificado y pueden definirse capas de espesor aproximadamente constante con diferente resistencia al esfuerzo cortante, el cálculo de la capacidad de carga última (q_{ult}) se realizará de acuerdo con lo indicado en el Manual M-PRY-CAR-8-01-003, *Determinación de la Capacidad de Carga del Subsuelo o Roca y Revisión del Estado Límite de Falla de Cimentaciones Superficiales*. Podrá emplearse otro método de análisis, siempre que se justifique debidamente su utilización para el diseño y sea aprobado por la Secretaría.
- c) Si el perfil del subsuelo es errático, existe variabilidad de materiales de diferente composición o tiene estratificaciones irregulares o con forma de bolsas o lentes de extensión limitada, que no guarden entre sí ninguna relación u orden aparente y presente zonas con características muy distintas, el área donde se desplantará la estructura se dividirá en secciones,

donde cada una presente características del subsuelo con menor variabilidad.

En cualquier caso, si no se cumple la hipótesis de homogeneidad que presupone la expresión general de Terzaghi a la que se refiere la Fracción E.1. de esta Norma, la estabilidad de la cimentación se revisará empleando un método de análisis límite, que considere mecanismos de falla compatibles con el perfil y las características del subsuelo.

Cuando las condiciones geométricas y estratigráficas de los subsuelos sean complejas, podrá recurrirse a modelaciones matemáticas, por ejemplo, se puede utilizar el método de elementos finitos para analizar la falla de cimentaciones superficiales.

E.1.3.8. Eventos extremos

Por su repercusión directa en la seguridad de las estructuras, siempre que su ocurrencia sea probable, se analizarán los efectos asociados a los eventos extremos como:

- a) La socavación general y local del fondo de cauces de ríos y canales durante avenidas extraordinarias o corrientes por mareas en puentes. El desplante de las cimentaciones superficiales se definirá lo suficientemente por debajo de la profundidad máxima probable de la socavación, y la capacidad de carga última (q_{ult}) del subsuelo se determinará a partir de este nivel, sin considerar la sobrecarga de los subsuelos removidos, de acuerdo con lo indicado en las expresiones de la Fracción E.1. de esta Norma según corresponda.
- b) El impacto de embarcaciones en puentes y la colisión de vehículos o ferrocarriles en pasos, según sea el caso.
- c) La licuación de depósitos de arenas finas sueltas y saturadas que se localicen a poca profundidad,

durante sismos mayores. El desplante de las cimentaciones superficiales se definirá lo suficientemente por debajo de la profundidad máxima probable de licuación. El peso y confinamiento lateral del subsuelo licuable no se tomarán en cuenta para el cálculo de la capacidad de carga última del subsuelo.

Para el análisis geotécnico con esos eventos extremos, se podrán aplicar las teorías de uso generalmente aceptadas para cimentaciones superficiales, siempre que estén debidamente justificadas y sean aprobadas por la Secretaría.

E.2. REVISIÓN DE LA SEGURIDAD DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES EN SUBSUELOS

Las cimentaciones superficiales se proyectarán para soportar, con un margen de seguridad contra una posible falla, para lo cual se considerarán todas las cargas vivas, muertas, accidentales, dinámicas y móviles, entre otras, que les transmitirán las estructuras, así como los empujes de agua o de tierra a los que puedan estar sometidas. Esto aplicará 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.

Una vez determinada la capacidad de carga última del subsuelo de apoyo (q_{ult}) a que se refiere la Fracción anterior, se comparará con los esfuerzos que la cimentación superficial les impondrá.

La revisión de la seguridad se puede realizar por el criterio de cargas de servicio o por el criterio de factores de carga. Para cualquiera de los dos criterios, los valores de esfuerzos admisibles o de resistencia del subsuelo resultantes, serán revisados antes de ser usados en el diseño definitivo, para verificar que cumplen con los requerimientos de asentamientos o deformaciones de la estructura, establecidos en la Norma N·PRY·CAR·8·01·004, *Determinación del Estado Límite de Servicio para Cimentaciones Superficiales*; de no ser así, prevalecerán los valores de esfuerzos que permitan cumplir con dichos requerimientos.

E.2.1. Criterio de diseño con cargas de servicio

Para este criterio de diseño, también conocido como de esfuerzos admisibles, la revisión se efectuará al comparar las cargas que trasmite la obra que se proyecta en sus diferentes combinaciones con la capacidad de carga admisible (q_{ad}) que se obtiene al dividir la capacidad de carga última del subsuelo entre un factor de seguridad mayor de uno (1), como se indica en las expresiones siguientes:

$$q_{ad} = \frac{q_{ult}}{FS} \quad y \quad \frac{\sum Q}{A} < q_{ad}$$

Donde:

q_{ad} = Capacidad de carga admisible, (kPa)

q_{ult} = Capacidad de carga última, (kPa)

FS = Factor de seguridad, (adimensional), obtenido de la Tabla 1 de esta Norma

$\sum Q$ = Suma de cargas aplicadas en la combinación que se analiza, (kN)

A = Área de la cimentación superficial, (m²)

Para el diseño con el criterio de cargas de servicio se tomará en cuenta que:

E.2.1.1. En el caso de puentes y estructuras similares, los esfuerzos admisibles del subsuelo serán mayores que los producidos por las cargas de servicio de la estructura, para las diferentes combinaciones de cargas que se indican en la Norma N-PRY-CAR-6-01-006, *Combinaciones de Cargas*. Cuando se trate de edificaciones, las combinaciones de carga serán las que indiquen la normatividad de cada localidad.

E.2.1.2. La selección del valor del factor de seguridad que se usará dependerá de aspectos como: las características del subsuelo; el tipo, destino y vida útil de la estructura; y las posibles consecuencias de la falla. Los valores de factor de seguridad mínimos para cimentaciones superficiales de estructuras permanentes serán los indicados en la Tabla 1 de esta Norma.

**PRY. PROYECTO
CAR. CARRETERAS**

N-PRY-CAR-8-01-003/18

- E.2.1.3.** Para estructuras provisionales, los factores anteriores pueden ser reducidos hasta en un veinticinco (25) por ciento.
- E.2.1.4.** En puentes, podrá incrementarse la capacidad de carga admisible para algunas combinaciones de cargas, de acuerdo con lo indicado en la Norma N-PRY-CAR-6-01-006, *Combinaciones de Cargas*. En particular, ante combinaciones de carga que incluyan solicitaciones por sismo, el incremento puede ser de treinta y tres (33) por ciento.
- E.2.1.5.** En ningún caso el factor de seguridad podrá ser menor de dos (2).
- E.2.1.6.** Para el análisis de la falla por deslizamiento de cimientos superficiales sujetos a cargas inclinadas, el factor de seguridad será de uno coma cinco (1,5).

TABLA 1.- Factores de seguridad mínimos

Categoría	Estructuras típicas	Características	Exploración y ensaye	
			Detallados	Limitados
A	Puentes de FF.CC. Bodegas y silos Muros de contención hidráulicos	La carga máxima de diseño puede ocurrir con frecuencia. Consecuencias de la falla desastrosas	3,3	4,0
B	Puentes vehiculares y peatonales Edificios públicos e industriales Muros de contención	La carga máxima de diseño puede ocurrir ocasionalmente. Consecuencias de la falla serias	3,0	3,5
C	Edificios de oficinas	Es improbable que ocurra la carga máxima de diseño	3,0	3,3

E.2.2. Criterio de diseño con factores de cargas

Mediante este criterio, las incertidumbres asociadas a las diferentes variables que intervienen en la revisión de la seguridad de la cimentación superficial, se manejarán por separado introduciendo factores de seguridad parciales.

La revisión se efectuará al comparar la capacidad de carga última del subsuelo afectada por un factor de resistencia menor de uno (1), con las acciones de diseño multiplicadas por sus respectivos factores, para diferentes combinaciones de cargas probables, aplicando la siguiente expresión:

$$\frac{\sum Q}{A} F_c < q_{ult} F_R$$

Donde:

ΣQ = Suma de cargas aplicadas en la combinación que se analiza, (kN)

A = Área de la cimentación superficial, (m²)

F_c = Factor de carga, (adimensional), determinado como se indica en los Párrafos E.2.2.1. y E.2.2.2. de este Inciso

q_{ult} = Capacidad de carga última, (kPa)

F_r = Factor de resistencia, (adimensional), determinado como se indica en la Tabla 2 de esta Norma y en el Párrafo E.2.2.3. de este Inciso

Para el diseño de cimentaciones superficiales con el criterio de factores de cargas se tomará en cuenta que:

E.2.2.1. Para puentes, se considerarán los factores de carga que se indican en la Norma N-PRY-CAR-6-01-006, *Combinaciones de Cargas*.

E.2.2.2. Cuando se trate de edificaciones, se utilizará un factor de carga de uno coma cuatro (1,4) para las combinaciones de acciones permanentes y acciones variables, y de uno

**PRY. PROYECTO
CAR. CARRETERAS**

N-PRY-CAR-8-01-003/18

como uno (1,1) para las combinaciones de acciones permanentes, vivas, eventuales y accidentales.

- E.2.2.3.** Para el análisis de la falla por deslizamiento de cimientos superficiales sujetos a cargas inclinadas, el cálculo se realizará de acuerdo con lo indicado en la Norma N-PRY-CAR-6-01-006, *Combinaciones de Cargas* y se usará un factor de resistencia de cero coma ocho (0,8).

TABLA 2.- Factores de resistencia

Material	Condiciones	Factor de resistencia
Subsuelo friccionante	Ángulo de fricción interna (ϕ) correspondiente a la compacidad del material	0,35
	Ángulo de fricción interna (ϕ) estimado de correlaciones de la compacidad y resistencia a la penetración estándar del material	0,40
	Ángulo de fricción interna (ϕ) determinado mediante ensayos triaxiales o de corte directo drenados de muestras inalteradas o reconstruidas a la densidad relativa del material en el campo	0,45
Subsuelo cohesivo	Cohesión del subsuelo (c) estimada de correlaciones con la resistencia a la penetración estándar del material	0,30
	Cohesión del subsuelo (c) determinada en pruebas triaxiales o de corte directo no drenadas de muestras inalteradas del material.	0,40
	Cohesión del subsuelo (c) determinada mediante pruebas de campo	0,40
Otros	Zapatillas sobre roca	0,45
	Pruebas de carga con placa	0,55

F. DETERMINACIÓN DEL ESTADO LÍMITE DE FALLA DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES EN ROCAS

F.1. CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE DE ROCAS

La capacidad de carga admisible (q_{ad}) de una cimentación superficial apoyada sobre roca, dependerá de los asentamientos asociados con los defectos de ésta, tales como zonas de alteración o disolución, fracturas y grietas, entre otros, y no por la resistencia de la materia rocosa intacta. Los métodos de diseño para las cimentaciones superficiales en roca tomarán en cuenta dichas condiciones, para ser aplicados a cada caso y sitio particular.

Como parte de la determinación de la capacidad de carga admisible, se verificará el espesor y continuidad horizontal de los derrames de basaltos, riolitas o andesitas; asimismo, en granitos que afloren en cauces de corrientes de agua con tirantes y velocidades importantes, mediante estudios geofísicos, a fin de descartar cimentaciones sobre bloques de roca empacados en materiales potencialmente removibles por flujos de agua.

Las cimentaciones superficiales en roca se diseñarán de manera que la resultante de la presión de contacto en su base se localice a una distancia del centroide del área menor que cero coma doscientos veinticinco (0,225) veces el ancho (B) de la cimentación. En caso de no cumplirse con esta condición, se podrán aumentar las dimensiones de la cimentación y usar lastre permanente para desplazar la resultante, hasta cumplir dicha condición; o anclar la cimentación mediante anclajes o pernos que penetren en la roca.

F.1.1. Cimentaciones superficiales sobre rocas competentes

Cuando las rocas se encuentren prácticamente sanas y tengan discontinuidades cerradas o abiertas de no más de tres (3) milímetros, se determinará la capacidad de carga admisible (q_{ad}) con el método basado en la deformabilidad de la roca en función del índice de calidad de la roca (RQD por sus siglas en inglés, *Rock Quality Designation*), de acuerdo con lo indicado en el Manual M-PRY-CAR-8-01-003, *Determinación de la Capacidad de Carga del Subsuelo o*

Roca y Revisión del Estado Límite de Falla de Cimentaciones Superficiales.

F.1.2. Cimentaciones superficiales sobre rocas no competentes

Cuando la roca no cumpla con las condiciones indicadas en el Inciso anterior, a fin de determinar la capacidad de carga admisible, se requerirá un análisis más detallado, que tome en cuenta el tipo de roca, los efectos de sus alteraciones, la presencia y condición de las discontinuidades y cualquier otra condición geológica, como se indica en el Manual M-PRY-CAR-8-01-003, *Determinación de la Capacidad de Carga del Subsuelo o Roca y Revisión del Estado Límite de Falla de Cimentaciones Superficiales.*

En el caso de que el macizo rocoso se encuentre muy alterado y la calidad de la roca sea muy mala, el valor de la capacidad de carga última (q_{ult}) se determinará considerando una masa de subsuelo con características equivalentes al macizo rocoso en estudio, como se indica en la Fracción E.1. de esta Norma. En este caso, la capacidad de carga admisible (q_{ad}) será la capacidad de carga última (q_{ult}) dividida entre un factor de seguridad (FS) mayor de uno (1), de acuerdo con lo indicado en la Tabla 1 de esta Norma.

F.2. REVISIÓN DE LA SEGURIDAD DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES EN ROCAS

Cuando se emplee el criterio de diseño con factores de cargas, la capacidad de carga última (q_{ult}) de una roca competente o una no competente se multiplicará por un factor de resistencia. En el caso de la roca no competente, el factor de resistencia será menor de uno (1).

La revisión de la seguridad se efectuará al comparar la capacidad de carga última o admisible con las cargas que transmite la obra que se proyecta en sus diferentes combinaciones, como se indica en las siguientes expresiones:

$$\frac{\sum Q}{A} F_c < q_{ult} F_R \quad \text{ó} \quad \frac{\sum Q}{A} F_c < q_{ad} F_R$$

Donde:

ΣQ = Suma de cargas aplicadas en la combinación que se analiza, (kN)

A = Área de la cimentación superficial, (m²)

F_c = Factor de carga, (adimensional), determinado como se indica en los Párrafos E.2.2.1. y E.2.2.2. del Inciso E.2.2. de esta Norma

q_{ult} = Capacidad de carga última, (kPa), determinada como se indica en la Fracción F.1. de esta Norma

F_R = Factor de resistencia, (adimensional), obtenido de la Tabla 2 de esta Norma

q_{ad} = Capacidad de carga admisible, (kPa), determinada como se indica en la Fracción F.1. de esta Norma

G. BIBLIOGRAFÍA

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

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

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

Hoek E., *Strength of Jointed Rock Masses*, Twenty-third Rankine Lecture, Geotechnique, Vol. 23 No. 3, 1983.

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

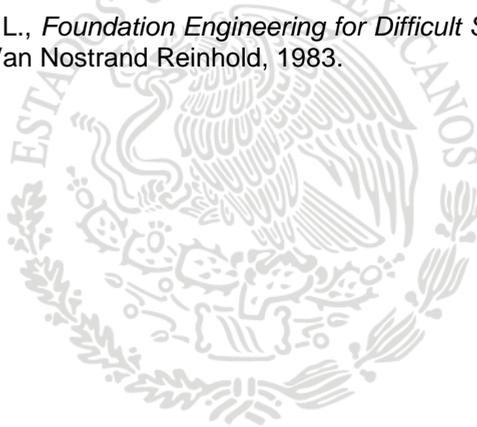
Meyerhof, G.G, and Hanna, A.M., *Ultimate Bearing Capacity of Foundations on Layered Soils Under Inclined Load*, Canadian Geotechnical Journal, 15, pp. 565-572, 1978.

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

Tomlinson M. J., *Cimentaciones: Diseño y Construcción*, 1ra. Edición, Editorial Trillas, 2008.

Vesic, A. S., *Bearing Capacity of Shallow Foundations*. Foundation Engineering Handbook, 1975.

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



SCT

SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES

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