

**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA
V ENCUENTRO DE INGENIEROS DE SUELOS Y ESTRUCTURAS- 2009**

FACTORES DE SEGURIDAD....POR QUÉ TANTOS?

ALVARO J. GONZALEZ G.

Ingeniero Civil U.N., M.Sc., DIC

Gerente- Análisis Geotécnicos Colombianos AGC Ltda.

Profesor Asociado-Facultad de Ingeniería- Universidad Nacional - Bogotá, Colombia

Presidente- Sociedad Colombiana de Geotecnia

ajgon@cablenet.co

RESUMEN

En la práctica general de la Ingeniería y en todos sus Códigos se emplean Factores de Seguridad F_s que tienen como objetivo final, no siempre explícito, tanto evitar la falla de los elementos diseñados y construídos, como tender a su optimización.

Sin embargo los Factores de Seguridad, a pesar de ser adimensionales, no son unívocos, tienen incertidumbres y entonces, dependiendo del problema y de la variable de control escogida, pueden surgir diferentes valores del Factor de Seguridad F_s , los cuales debe asegurarse que sean coherentes y que realmente aseguren la intención de seguridad y optimización de las obras.

Se presentan los conceptos de Factor de Seguridad Básico y de Factor de Seguridad Indirecto y, por medio de un ejemplo se demuestra que los dos pueden ser muy diferentes y que, para tener el mismo nivel de seguridad, deberían establecerse relaciones entre estos dos Factores.

1.0 FACTOR DE INGENIERÍA O DE SEGURIDAD

1.1 EL CONCEPTO

El concepto de Factor de Seguridad nace de la necesidad tanto de proveer seguridad a las obras y elementos diseñados y construídos, como de optimizar los mismos. (González, 1974, 1992, 1999, 2006)

En un sistema de ingeniería (obra) S de vida proyectada T , y compuesto de diferentes componentes C_i , el Ingeniero estudia la componente C_k , que influye más en el comportamiento de S para unas condiciones dadas. Para ésto escoge un parámetro X que cree va a representar más fielmente el comportamiento de C_k para este caso dado, y procede a evaluar valores numéricos de X . Considera sus posibilidades de control y medida de X , y también reconoce que X tiene ya un valor existente en el terreno y/o que está restringido bien sea por los procedimientos constructivos disponibles o por reglamentaciones existentes.

Con una simplificación el Ingeniero está interesado en cuatro valores particulares de X para $t < T$:

- X_f = valor de X asociado con la falla de C_k y/o de S
- X_{act} = valor de X actuante o que va a actuar en la obra = X_a
- X_{opt} = valor óptimo de X (para obtener economía)
- X_o = valor existente o limitante de X .

El Ingeniero se da cuenta que sus análisis y estimativos numéricos son el fruto de una gran simplificación y que no corresponden totalmente al comportamiento presente y tal vez menos al

futuro de Ck y por consiguiente de S. Pero a pesar de todas las incertidumbres y limitaciones debe llegar al valor:

Xd = valor de X que será realmente usado para que Ck y S cumplan su propósito.

El llegar a este valor Xd es el producto del ciclo de ingeniería y será traducido en mayor o menor grado en una acción física generalmente irreversible, aunque no inmodificable.

En Ingeniería Civil, en general, Xf y Xopt se asocian con valores extremos de X que usualmente son máximos, mientras que Xact = Xa, puede provenir de acciones externas como cargas o descargas. Entonces para obtener Xd el ingeniero quisiera tener alguna función que relacionara Xf, Xact, Xopt y Xo, pero aún luego de las simplificaciones previas esto puede ser imposible, por consiguiente hay que poner énfasis en los requisitos y condiciones básicas.

$$X_d < X_f \quad (1)$$

$$X_d \geq X_a \quad (2)$$

$$X_d \equiv X_{\text{óptima}} \quad (3)$$

Asumiendo que $X_o < X_f$, que Xd se toma $X_d = X_a$ y si, como es usualmente el caso, $X_{\text{opt}} > X_f$, la condición de decisión ingenieril se reduce a:

$$X_d = X_a < X_f \quad (4)$$

En este punto, con el fin de eliminar la desigualdad, se apela a la función más elemental y se define Xd como una fracción de Xf.

$$X_a = X_f / F_x \quad (0 < (1/F_x) < 1) \quad (5a)$$

o lo mismo $F_x = X_f / X_a \quad (F_x > 1) \quad (5b)$

Ya se ha simplificado el máximo, pero aún queda por determinar el valor de Fx o sea el factor de Ingeniería, necesario para enlazar la información y la acción física, propósito de la ingeniería. Como este factor se refiere usualmente a una falla y como falla está íntimamente asociada con la seguridad, como ya se vió, el factor de ingeniería usualmente se denomina **Factor de Seguridad**, término que fue introducido tal vez por primera vez por Rankine (1858). Al definir valores de factores de seguridad, el ingeniero, por necesidad propia se ha autorestringido englobando en una sola cifra todas sus incertidumbres, los posibles errores, el verdadero margen de seguridad; y esta cifra adimensional, explícitamente y en forma final, debe permitir que sus obras se comporten óptimamente.

1.2 COMPONENTES DEL FACTOR DE SEGURIDAD

El factor de seguridad Fs para el parámetro x se puede entonces definir como:

$$F_{sx} = X_f / X_a \quad (F_{sx} > 1) \quad (6)$$

Pero Xf ha sido estimada con base en simplificaciones y bajo incertidumbres y entonces el valor de Xa que defina el Ingeniero, por razones similares, va a ser diferente del que realmente tenga en el terreno. Se aprecia entonces que lo que se necesita realmente es que (con subíndices v indicando valores verdaderos):

$$(F_{sx})_v = (X_f)_v / (X_a)_v > 1.0 \quad (7)$$

Si, en general $X_{\text{ópt}} > X_f$, entonces $(F_{sx})_v$ debe estar lo mas cerca de 1.0 aunque nunca llegue a este valor. En el caso de que $X_{\text{ópt}} < X_f$, entonces se adopta, $X_a = X_{\text{ópt}}$. y se estima que tan lejos se está de una condición de falla Xf. Luego se compara Xd con Xa para verificar $X_d \geq X_a$ o simplemente se adopta, desde un comienzo, $X_d = X_a$

En general, la información es muy imprecisa y limitada y en consecuencia se puede decir que:

$$X_f = I_f \cdot X_{fv} \quad (8)$$

$$X_a = I_a \cdot X_{av} \quad (9)$$

en donde I_f e I_a son factores de información ($I_r, I_a > 0$) y entonces:

$$F_{sx} = (I_f/I_a) \cdot (F_{sx})_v = I_x \cdot (F_{sx})_v \quad (10)$$

en donde I_x = índice para información perfecta

Los componentes de I_x pueden agruparse en (Freudenthal, 1945):

Ignorancia Subjetiva	= f_i
Incertidumbre Objetiva	= f_o

La Ignorancia Subjetiva (f_i) puede provenir principalmente de: (1) la insuficiente generalidad de las relaciones usadas, (2) la inapropiada utilización de modelos, (3) la no pertinencia de aplicación de métodos, etc y es la componente más difícil de evaluar.

Mientras que la Incertidumbre Objetiva (f_o) puede residir en: (1) aleatoriedad natural de propiedades, (2) variaciones espaciales y temporales de las mismas, (3) insuficiencia de series de datos apropiados, etc

Pero en todo caso se puede decir que:

$$I_x = f_i \cdot f_o \quad (11)$$

y en general $I_x = \prod (f_{ix}) \quad (12)$

Se aprecia, de la relación (10) $F_{sx} = I_x \cdot (F_{sx})_v$, que:

a) Cuando $F_x > 1$, no necesariamente debe suceder que $(F_x)_v$ sea o no mayor o menor que 1.0.

b) Pero cuando una falla ocurre:

$$(F_{sx})_v = 1 \quad \text{y} \quad F_{sx} = I_x \quad (13)$$

y entonces es posible una evaluación del estado de conocimiento. De ahí la importancia del análisis de las fallas de las obras y, en lo posible, de hacer pruebas de carga a las mismas, que son las oportunidades de calibración de F_x .

c) El parámetro X_f debe ser pertinente al fenómeno en estudio y esto no lo puede cubrir F_x . Se debe entender el comportamiento del componente C y de la obra S y que el factor X_f sea el que realmente controla este comportamiento. Se puede tener $(F_{sx})_v > 1$, pero si el fenómeno de falla lo controla otro parámetro Z_f , y éste no ha sido analizado adecuadamente, con estudiar, evaluar, analizar y controlar X_f no se va a evitar la falla.

d) Si X_f es pertinente, dependiendo de las condiciones, la obra S aun puede fallar de diferentes maneras y quedaría por definir el Modo de Falla. Entonces puede haber tantos valores de F_{sx} y de I_x como modos de falla se puedan presentar

e) X_f también puede variar con el tiempo y en consecuencia, si F_{sx} , como es lo común, se adopta como fijo, I_x y $(F_{sx})_v$ también van a variar temporalmente.

1.3 FACTOR DE SEGURIDAD EN INGENIERIA CIVIL

En Ingeniería Civil normalmente la variable X_f se asocia a la Resistencia R y la variables X_d y X_a a la Demanda D o sea a niveles de carga. Además R y D se expresan en las mismas unidades.

Entonces $F_s = R / D \quad (14)$

1.4 ALGUNAS PROPIEDADES DEL FACTOR DE SEGURIDAD F_s

1.4.1 Dimensiones

Dado que R y D están dados en las mismas unidades, necesariamente **F_s es adimensional**.

1.4.2 Certidumbre

Como se ha expresado en 1.2, aunque se use un valor predeterminado de F_s , el valor de F_s **realmente tiene muchas incertidumbres** en relación al valor real **F_s** .

1.4.3 Límites

Dado que R y D son positivos, el factor de seguridad tiene que ser positivo **$F_s > 0.0$** . Además, dependiendo del problema o del material que se trate, tiene otros límites, dados por los límites físicos de R y D.

1.4.4 Control de Deformaciones

El Factor de Seguridad permite controlar indirectamente las deformaciones, dado que normalmente las relaciones esfuerzo-deformación son directamente proporcionales (Figura 01)

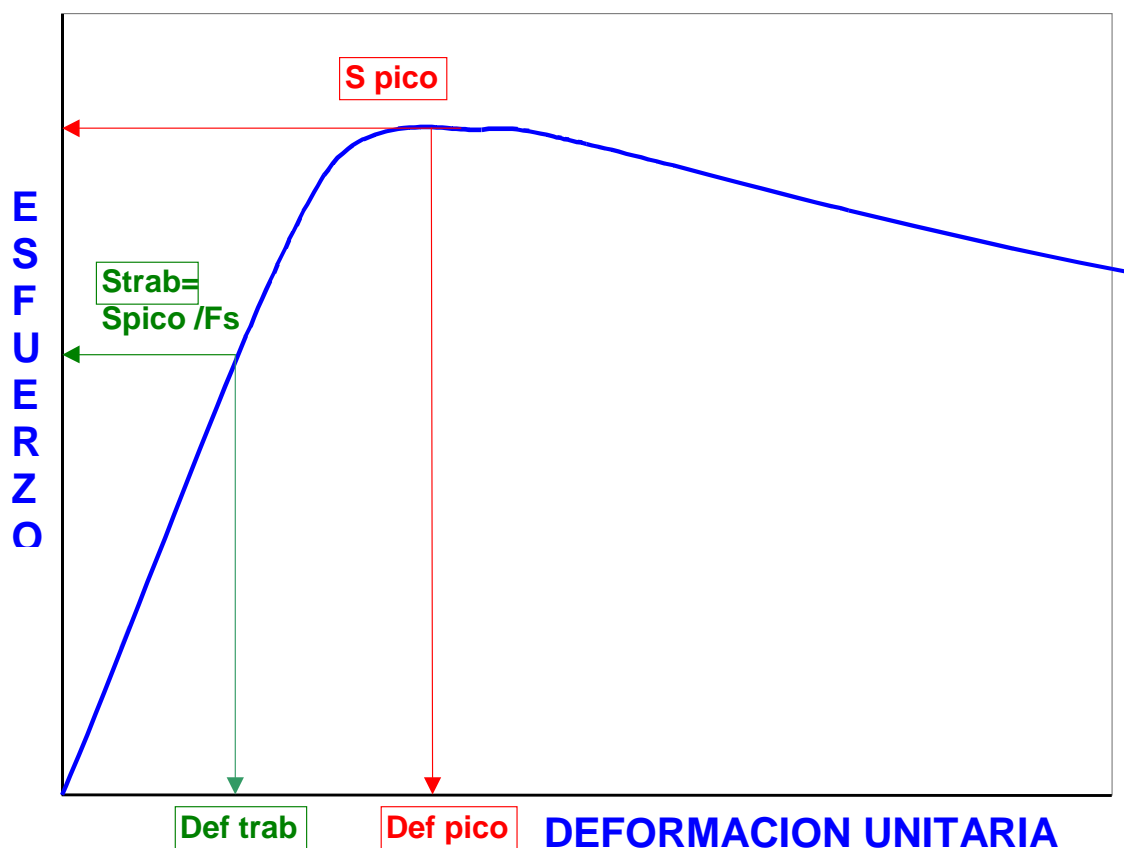


Figura 01- Control de Deformaciones con el Factor de Seguridad

1.4.5 Estimación de Probabilidades de Falla (p.ej. Harr, 1987; Sánchez, 2005)

Hay una relación inversa entre el Factor de Seguridad F_s y la Probabilidad de Falla P_f , la cual permite estimar estas últimas (Figura 02), dado que:

$$P_f = P (R < D) = P (F_s < 1) \quad (15)$$

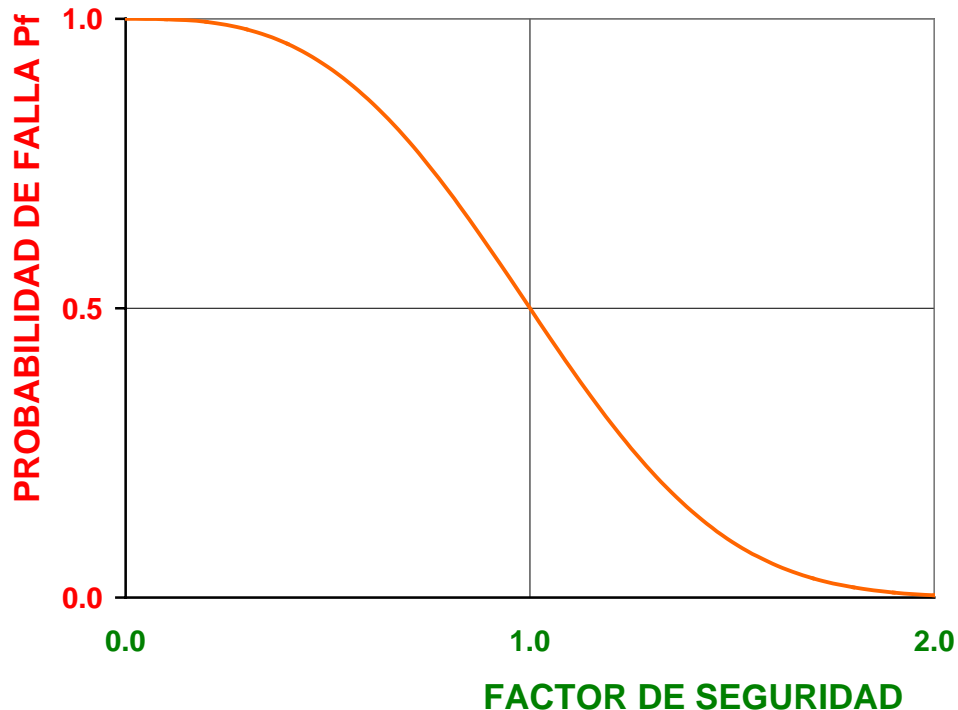


Figura 02- Relación entre Factor de Seguridad F_s y Probabilidad de Falla P_f

En esta relación, que no es la distribución estadística de F_s , hay siempre dos puntos conocidos:

Si $F_s = 0.0$ $R = 0$ y la falla es cierta $P_f = 1.0 = 100\%$

Si $F_s = 1.0$ $R = D$ y hay tanta probabilidad que haya falla como que no: $P_f = 0.5 = 50\%$

1.4.6 Unicidad

El Factor de Seguridad **no es único ni unívoco**. A pesar de ser adimensional, no es el mismo aplicado a diferentes parámetros P . Tampoco los niveles de seguridad son necesariamente iguales para iguales factores de seguridad aplicados a diferentes parámetros y que describan el mismo problema o fenómeno.

ESTE ES EL TEMA PRINCIPAL DE ESTE ARTÍCULO

2.0 FACTORES DE SEGURIDAD BASICOS E INDIRECTOS EN GEOTECNIA

2.1 FACTORES DE SEGURIDAD BÁSICOS E INDIRECTOS

Si el parámetro X_f es la variable independiente principal de otros parámetros dependientes Y_{fi} :

$$Y_{f1}, Y_{f2}, Y_{f3}, \dots, Y_{fi} = f (X_f) \quad (16)$$

Entonces, en general, y dependiendo de las funciones $f()$,

$$F_{yi} = Y_{fi} / Y_{di} \neq F_x = X_f / X_d \quad (17)$$

En consecuencia, los factores F_{yi} y F_x son diferentes y si X_f es el parámetro básico del cual depende realmente la condición de falla, entonces:

$$F_x = X_f / X_d = \text{Factor de seguridad básico o directo}$$

$$F_{yi} = Y_{fi} / Y_{di} = \text{Factores de seguridad dependientes o indirectos}$$

2.2 FACTOR DE SEGURIDAD BASICO EN GEOTECNIA

Desde el punto de vista de ingeniería, los materiales sólidos, pueden agruparse en: metálicos, polímeros y cerámicos, siendo respectivamente el acero, la madera y el concreto algunos ejemplos comunes. Los materiales metálicos tienen muy alta resistencia a la tracción y a la compresión, los polímeros algo menos, pero los materiales cerámicos, muy abundantes y económicos, dentro de los cuales se encuentran los materiales térreos, suelos y rocas, se caracterizan por su alta resistencia a la compresión pero muy baja resistencia a la tracción. Es ésta la razón de los materiales reforzados (concreto reforzado, gaviones, tierra reforzada, etc)

Por otro lado todos los materiales sólidos se rompen o fallan debido únicamente a dos tipos de esfuerzo: de tracción σ_t y cortante τ , y todos los modos de falla comunes (compresión, flexión, torsión, etc) pueden explicarse solamente con éstos dos tipos de esfuerzo (Figura 03)

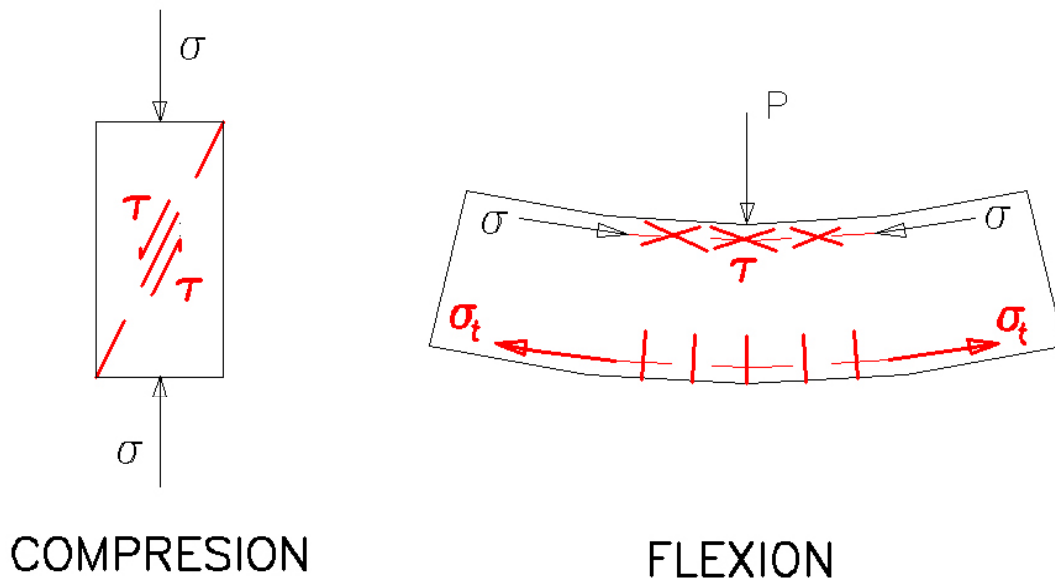


Figura 03- Roturas de Sólidos por Cortante y Tracción

Entonces, dado que los materiales térreos tienen baja resistencia a tracción, el parámetro responsable de la rotura o falla es el ESFUERZO CORTANTE y en consecuencia, en Geotecnia, el FACTOR DE SEGURIDAD BASICO F_{SB} viene definido como la relación entre esfuerzo cortante último resistente o esfuerzo cortante a la falla τ_F y el esfuerzo cortante actuante τ_A

$$F_{SB} = \tau_F / \tau_A \quad (18)$$

Adicionalmente, en Ingeniería Geotécnica el esfuerzo cortante a la falla τ_F se expresa usualmente con el Criterio de Mohr-Coulomb, en términos de esfuerzos efectivos:

$$\tau_F = c' + \sigma' \tan \phi' \quad (19)$$

en la cual τ_F = esfuerzo cortante a la falla
 c' = intercepto efectivo de cohesión
 ϕ' = ángulo de fricción efectivo
 σ' = esfuerzo normal efectivo
 $\sigma' = \sigma - u_F$ (20)

y σ = esfuerzo normal total
 u_F = presión de fluidos o presión de poros
 = u_W = presión de líquido (agua) para materiales saturados
 = u_A = presión de gas (aire) para materiales secos

Entonces, el esfuerzo cortante actuante τ_A , igual al esfuerzo cortante de trabajo o de diseño τ_D está dado por:

$$\tau_A = \tau_D = (c' + \sigma' \tan \phi') / F_{SB} \quad (21)$$

Es conveniente observar que F_{SB} afecta por igual a c' y a $\tan \phi'$, variables que usualmente no son independientes entre sí, y que no es totalmente lícito colocar factores diferentes para cada uno de ellos (c' y $\tan \phi'$)

Para el caso especial de materiales cohesivos saturados y sin fisuración, se presenta un comportamiento aparente de Mohr-Coulomb en términos de esfuerzos totales, en el cual

c = intercepto de cohesión total = s_U
 ϕ = ángulo de fricción total = $\phi_U = 0.0$

y entonces $\tau_F = s_U$ = resistencia no drenada

$$\tau_A = \tau_D = s_U / F_{SB} \quad (22)$$

La resistencia no drenada s_U , como es un comportamiento aparente de materiales cohesivos saturados y no fisurados, se debería usar sólo para casos de análisis en carga vertical (cimentaciones). En taludes, aun cuando puede resultar en valores de F_s similares a los de esfuerzos efectivos, las superficies potenciales de falla son incorrectas y en problemas de empujes o de descargas, las soluciones son a todas luces incorrectas (González, 1991)

2.3 FACTORES DE SEGURIDAD INDIRECTOS EN GEOTECNIA

Aunque el factor de seguridad básico es el ya mencionado de relación de esfuerzos cortantes, en la práctica general se presentan toda suerte de factores indirectos, entre los cuales se pueden mencionar los siguientes;

a) En taludes:

$$\begin{aligned} F_{sh} &= H_{\text{máx}} / H && \text{para } \beta = \text{constante} \\ F_{sb} &= \beta \text{ máx} / \beta && \text{para } H = \text{constante} \end{aligned}$$

En los cuales H = altura de talud; β = ángulo de inclinación del talud

b) En estructuras de contención

Para volteo $F_{sv} = M_{resistente} / M_{actuante}$

En este caso no intervienen los esfuerzos cortantes, sino lo que se desea realmente es evitar tracciones en la interfaz cimiento/suelo, para lo cual, racionalmente, lo que se debe usar es el concepto de núcleo de esfuerzos en función de la excentricidad e y la dimensión en el sentido que actúan los momentos B , comunmente así:

$$\begin{aligned} e/B &< 1/6 \text{ para condiciones estáticas} \\ e/B &< 1/4 \text{ para condiciones pseudoestáticas} \end{aligned}$$

c) En cimentaciones

En cimientos superficiales y en capacidad de punta de pilotes, para la capacidad portante q en términos de esfuerzo normal y Q en términos de fuerza.

normalmente usado como $F_{sq} = q_{ult} / q_{trab} = Q_{ult} / Q_{trab}$
 $F_{sq} > 2.0$ a 3.0

Dado que F_{sq} es de los Factores Indirectos más comunes y por ser un tema adecuado para este Encuentro se tratará en detalle para un ejemplo de cimiento superficial.

3.0 FACTORES DE SEGURIDAD INDIRECTOS DE CAPACIDAD PORTANTE EN CIMIENTOS SUPERFICIALES

Se tratará, COMO EJEMPLO, sólo el caso de un cimiento simple con ancho B , longitud L y profundidad D , con las siguientes características:

- a) Cimientos superficiales: $D/B < 1$
- b) Cimientos corridos: $B/L \Rightarrow 0$
- c) Suelo homogéneo, isotrópico, seco y horizontal con peso unitario γ
- d) Criterio de falla de Mohr-Coulomb $\tau = c' + \sigma' \tan \phi'$
- e) Carga vertical concéntrica (no hay momentos ni carga horizontal)
- f) No se emplea corrección por compresibilidad del suelo

Para este caso la capacidad portante límite de falla q_{ult} está dada por (p.ej. Vesic,1975):

$$q_{ult} = q N_q + \gamma B / 2 N_\gamma + c' N_c \quad (23)$$

con $q = \gamma D \quad (25)$

$$N_q = [\tan^2(\pi/4 + \phi'/2)] \exp(\pi \tan \phi') = K_p \exp(\pi \tan \phi') \quad (26)$$

$$N_\gamma = 2 (N_q - 1) \tan \phi' \quad (\text{González, 1987}) \quad (27)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi' \quad (28)$$

Como puede apreciarse claramente, q_{ult} es una función altamente no lineal de $\tan \phi'$ y por consiguiente F_{sq} tiene que ser necesariamente diferente de F_{SB}

En rigor, la que debe evaluarse es la capacidad portante última neta q_{ultn} dada por:

$$q_{ultn} = q_{ultn} - q = q (N_q - 1) + \gamma B / 2 N_\gamma + c' N_c \quad (29)$$

reemplazando las ecuaciones (25) a (28) en la ecuación (29) se tiene:

$$q_{ultn} = q_{ultn} - q = \gamma D Nc \tan \phi' + \gamma B Nc \tan^2 \phi' + c' Nc \quad (30)$$

y dividiendo toda la ecuación por γB , se obtiene la ecuación adimensional (González, 1987):

$$(q_{ultn} / \gamma B) = Nc [Nd \tan \phi' + \tan^2 \phi' + Nb] \quad (31)$$

en la cual $Nc = Nc$ de ecuación 28
 $Nd = D / B$
 $Nb = c' / \gamma B$

Entonces $F_{sq} = q_{ultn} / q_{trabn} \quad (32)$

en la cual q_{ultn} se calcula con $\tau_F = c' + \sigma' \tan \phi'$ (Ec. 19)

q_{trabn} se calcula con $\tau_D = (c' + \sigma' \tan \phi') / F_{SB}$ (Ec. 21)

Adoptando en la ecuación (21) un valor mínimo de F_{SB} de F_{SBM} :

$$F_{SBM} = 1.50$$

es posible obtener valores de F_{sq} mínimos F_{sqm} que sean compatibles con F_{SBM}

Se calculan valores de F_{sqm} para:

$$1^\circ \leq \phi' \leq 50^\circ$$

$$0 \leq Nd \leq 1.0$$

$$0 \leq Nb \leq 10, 0$$

los cuales se presentan en forma gráfica en el Apéndice (Figuras A1 a A12), dos de las cuales se presentan como Figura 04 (Figura A2- $Nd=D/B=0.2$) y Figura 05 (Figura A8- $Nb = c' / \gamma B = 0.5$) y de todas ellas puede deducirse:

- F_{sqm} puede tener valores entre 1.50 ($\phi' = 1^\circ$) y 9.34 ($\phi' = 50^\circ$, $Nd = 0.0$, $Nb = 0.0$), TODOS PARA EL MISMO VALOR DE F_{SBM} DE 1.5
- F_{sqm} aumenta exponencialmente con ϕ'
- F_{sqm} tiende a un solo valor a medida que se reduce ϕ'
- F_{sqm} se reduce a medida que aumentan $Nd= D/B$ y/o $Nb = c' / \gamma B$
- En este ejemplo, para $Nb > 1.0$ y $\phi' < 35^\circ$, el factor $Nd = D/B$ deja de tener gran influencia
- En consecuencia, no es posible el establecimiento de un solo valor de F_{sqm} que satisfaga en todos los casos el valor de F_{SBM}

**FACTOR DE SEGURIDAD DE CAPACIDAD PORTANTE- EJEMPLO
PARA $F_{SBM}=1.5$; $N_d = D/B = 0.2$**

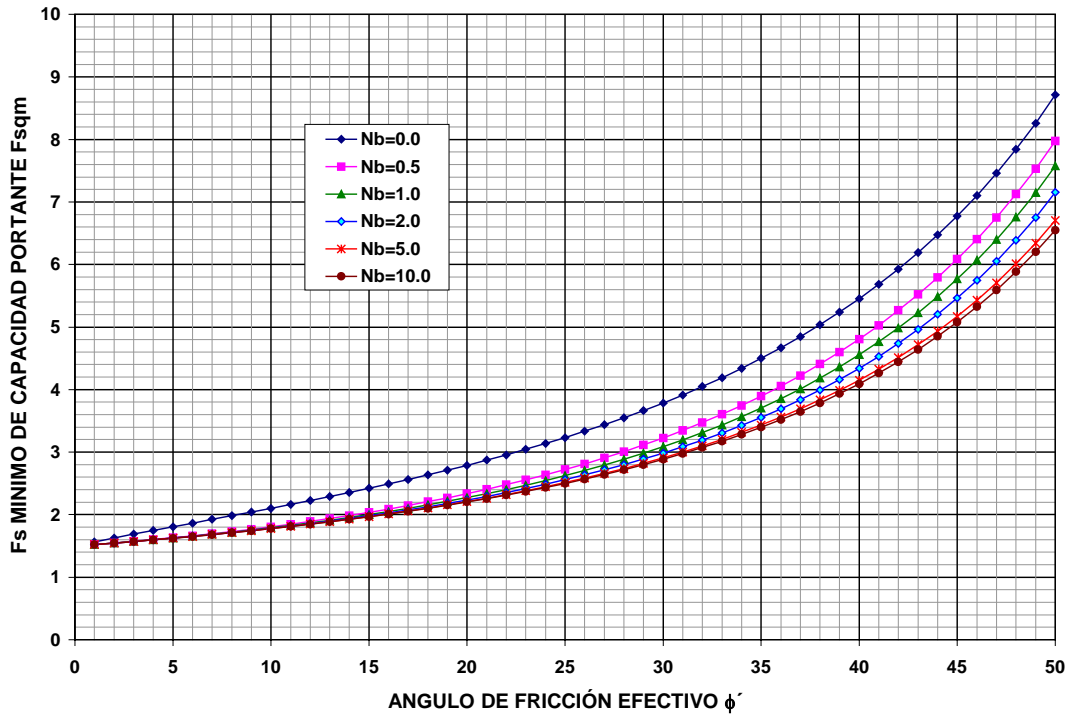


Figura 04- Valores de F_{sqm} para $N_d = D/B = 0.2$

**FACTOR DE SEGURIDAD DE CAPACIDAD PORTANTE- EJEMPLO
PARA $F_{SBM}=1.5$; $N_b = c'/\gamma B = 0.5$**

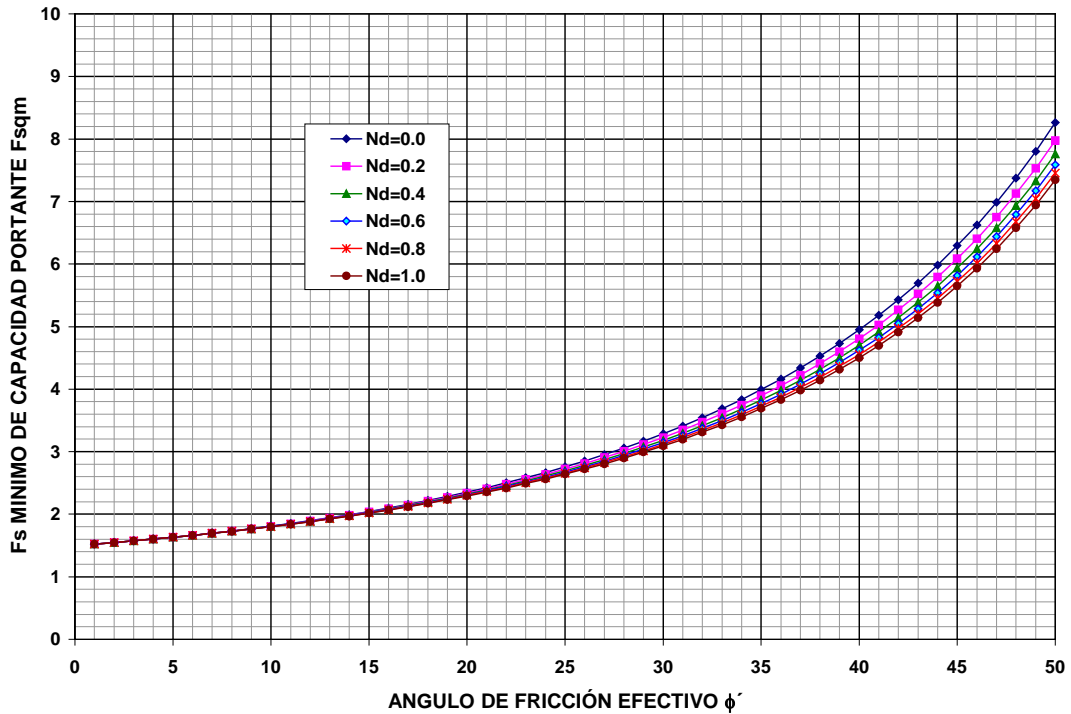


Figura 05- Valores de F_{sqm} para $N_b = c'/\gamma B = 0.5$

4.0 CONCLUSIONES

- A) El concepto de Factor de Seguridad F_s nace de la necesidad tanto de proveer seguridad a las obras y elementos diseñados y construídos, como de optimizar los mismos.
- B) El Factor de Seguridad F_s es adimensional y positivo; tiene incertidumbres y límites y permite tanto el control indirecto de deformaciones como la estimación de probabilidades de falla.
- C) El Factor de Seguridad F_s , a pesar de ser adimensional, no es unívoco ni universal. Puede haber numerosas definiciones del mismo, dependiendo del problema, el modo de falla y la variable que se use para su definición. Esta es la razón por la cual hay tantos F_s .
- D) En general, en Ingeniería Civil el Factor de Seguridad se define como la relación entre Resistencia R y Demanda D
- E) Para tener un nivel de seguridad homogéneo es indispensable definir un Factor de Seguridad Básico F_{SB} , calculado con la variable de la cual dependa realmente la falla o rotura del elemento al cual se aplica.
- F) Los materiales sólidos sólo pueden fallar o romperse por esfuerzos de tracción o de corte.
- G) En los materiales térreos, de baja resistencia a la tracción, el esfuerzo que realmente define la falla es el esfuerzo cortante.
- H) En consecuencia en Geotecnia, el Factor de Seguridad Básico F_{SB} se define como la relación entre esfuerzos cortantes últimos o resistentes ($R = \tau_F$) y los esfuerzos cortantes actuantes o de diseño ($D = \tau_A = \tau_D$).
- I) En Geotecnia, como en otras ramas de ingeniería, hay numerosos Factores de Seguridad Indirectos, los cuales deberían ser estrictamente compatibles con un Factor de Seguridad Básico F_{SB} uniforme.
- J) Se presenta un ejemplo de capacidad portante de un cimiento sencillo, en donde se demuestra que para un Factor de Seguridad Básico Mínimo F_{SBM} de 1.5, el Factor de Seguridad Indirecto Mínimo de Capacidad Portante F_{sqm} tiene una alta variabilidad para diferentes condiciones de resistencia del suelo y de profundidad del cimiento. SE ADVIERTE QUE ESTE ES SOLO UN EJEMPLO Y QUE LOS RESULTADOS SON SOLO APLICABLES A ESTE Y NO PUEDEN GENERALIZARSE.

5.0 RECOMENDACIÓN GENERAL

Dada la alta variabilidad demostrada de los Factores de Seguridad Indirectos y que no resultaría práctico ni económico hacer cálculos de relaciones entre $F_{sIndirecto}$ y F_{SB} para todos los casos, es recomendable entonces hacer los cálculos directamente con la Ecuación 21, u otra aplicable, de valores reducidos de resistencia de los materiales térreos

ALVARO J. GONZALEZ G.

Bogotá, Mayo de 2009

REFERENCIAS:

FREUDENTHAL, A.M. (1945)- *The Safety of Structures* - Proceedings ASCE- Vol.71 pp.1157-1191.

GONZALEZ G., A.J. (1974)- *Safety Factors: A Conceptual Review* - Tesis M.Sc.- Imperial College of Science and Technology, University of London, Londres, 1974

GONZALEZ, A.J. (1987)- *Capacidad Portante Crítica en Cimientos Superficiales* - Ingeniería e Investigación No. 14, pp. 3-9 - Fac. Ing. U.Nal, 1987- . también en III Simposio Colombiano de Geotecnia - SCG- Bogotá, 1978.

GONZALEZ, A.J. (1991)- *Comportamiento de Excavaciones y Métodos de Análisis*- Primer Encuentro de Ingenieros de Suelos y Estructuras –Escuela Colombiana de Ingeniería- Septiembre 4 a 6 de 1991

GONZALEZ G., A.J. (1992)- *Evaluación de Riesgo en Geotecnia* - IV Conferencia Gustavo Maldonado L. - VII Jornadas Geotécnicas - SCI - Bogotá, Octubre 1992.

GONZALEZ G., A.J. (1999)- *Riesgos en Obras de Infraestructura* - CPC - 2o. Seminario - Controles en los Procesos Constructivos de las Obras Civiles - Gobernación del Valle -PNUD - Junio, 1999- Vol. 1 - pp. 19-32

GONZALEZ G., A.J. (2006)- *El Uso de Factores de Carga y Resistencia (LRF) en Geotecnia* - Cuarto Encuentro de Ingenieros de Suelos y Estructuras –Escuela Colombiana de Ingeniería- Mayo de 2006

HARR, M.E. (1987)- *Reliability Based Design in Civil Engineering* - 290pp.- McGraw Hill

RANKINE, W.J.M. (1858)- *A Manual of Applied Mechanics*- 3rd. Ed.- Charles Griffin & Co., London, 1864

SANCHEZ S., M (2005)- *Introducción a la Confiabilidad y Evaluación de Riesgos* - Ediciones Uniandes- 467pp- Bogotá

VESIC, A. (1975)- *Bearing Capacity of Shallow Foundations*- Capítulo 3 - Foundation Engineering Handbook, Winterkorn & Fang, 1st Ed.- pp 121-147 - Van Nostrand, N.Y

**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA
V ENCUENTRO DE INGENIEROS DE SUELOS Y ESTRUCTURAS- 2009**

FACTORES DE SEGURIDAD....POR QUÉ TANTOS?

ALVARO J. GONZALEZ G.

Ingeniero Civil U.N., M.Sc., DIC

Gerente- Análisis Geotécnicos Colombianos AGC Ltda.

Profesor Asociado-Facultad de Ingeniería- Universidad Nacional - Bogotá, Colombia

Presidente- Sociedad Colombiana de Geotecnia

ajgon@cable.net.co

APENDICE - EJEMPLO

**VARIACION DEL FACTOR INDIRECTO DE SEGURIDAD DE CAPACIDAD
PORTANTE F_{sqm} PARA DIFERENTES CONDICIONES**

Y QUE SEA EQUIVALENTE A UN FACTOR DE SEGURIDAD BASICO

$$F_{SBM} = 1.50$$

FACTOR DE SEGURIDAD DE CAPACIDAD PORTANTE- EJEMPLO
PARA $F_{SBM}=1.5$; $N_d = D/B = 0.0$

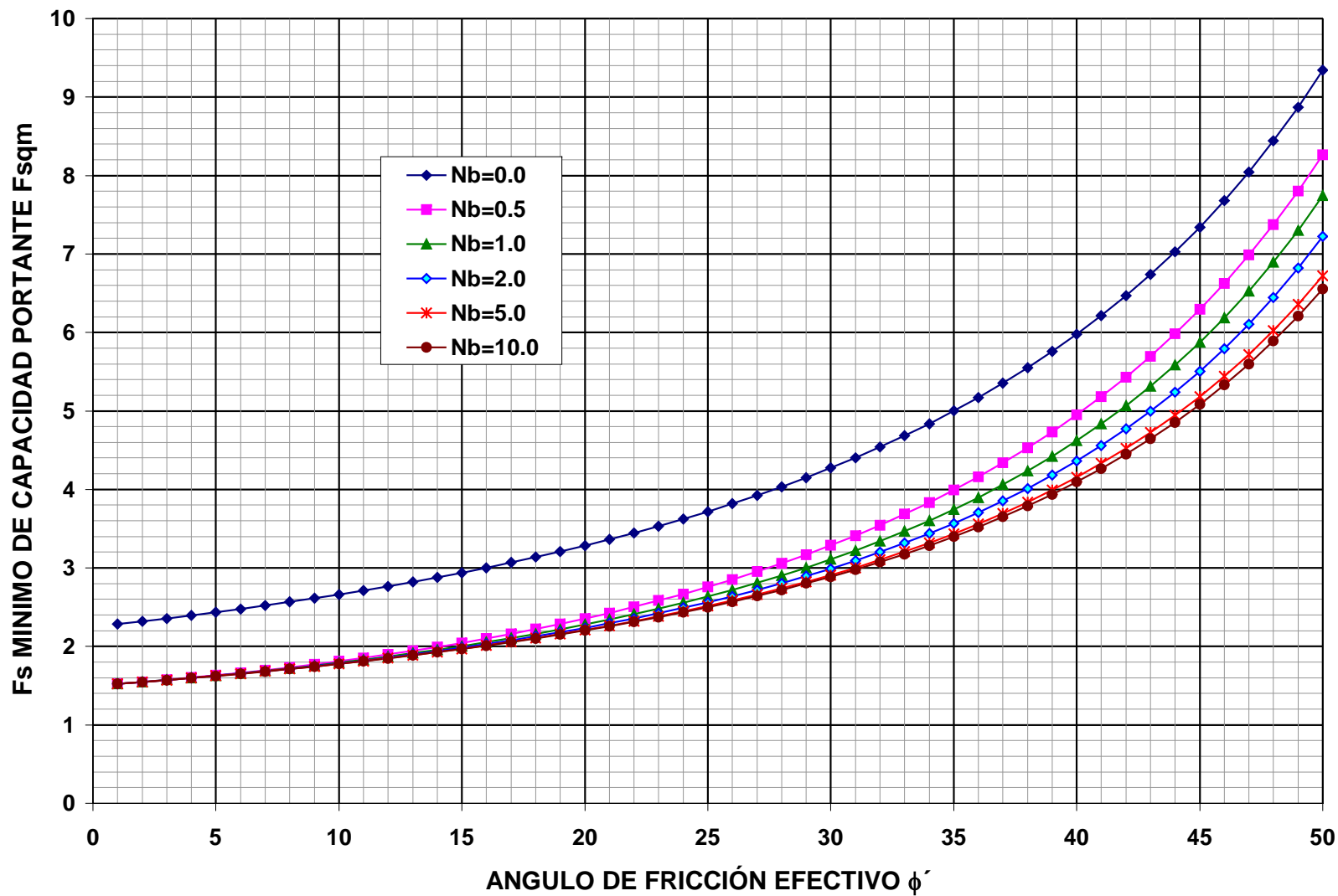


FIGURA A1- VALORES DE F_{sqm} PARA $N_d = D/B = 0.0$

FACTOR DE SEGURIDAD DE CAPACIDAD PORTANTE- EJEMPLO
PARA $F_{SBM}=1.5$; $N_d = D/B = 0.2$

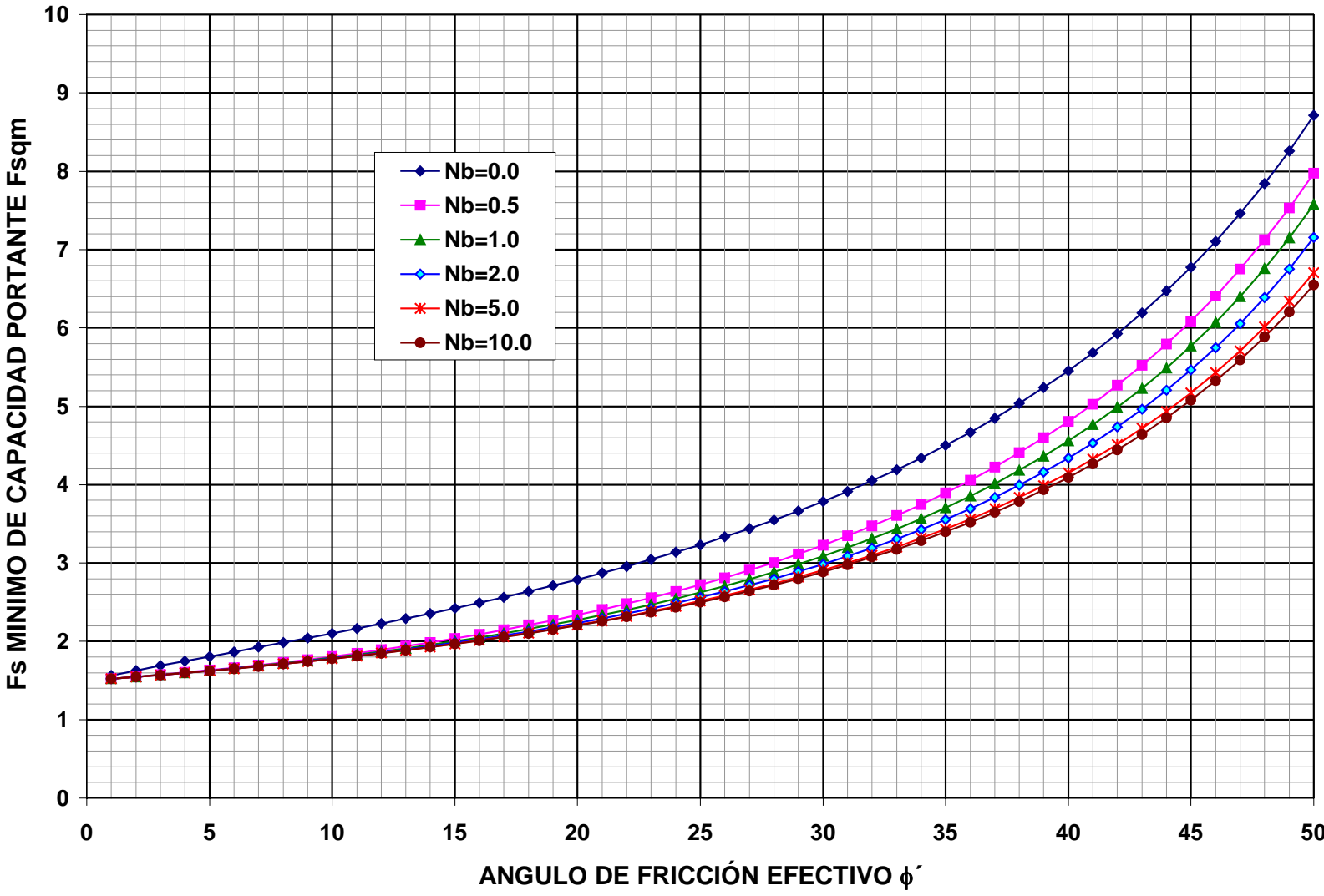


FIGURA A2- VALORES DE F_{sqm} PARA $N_d = D/B = 0.2$

FACTOR DE SEGURIDAD DE CAPACIDAD PORTANTE- EJEMPLO
PARA $F_{SBM}=1.5$; $N_d = D/B = 0.4$

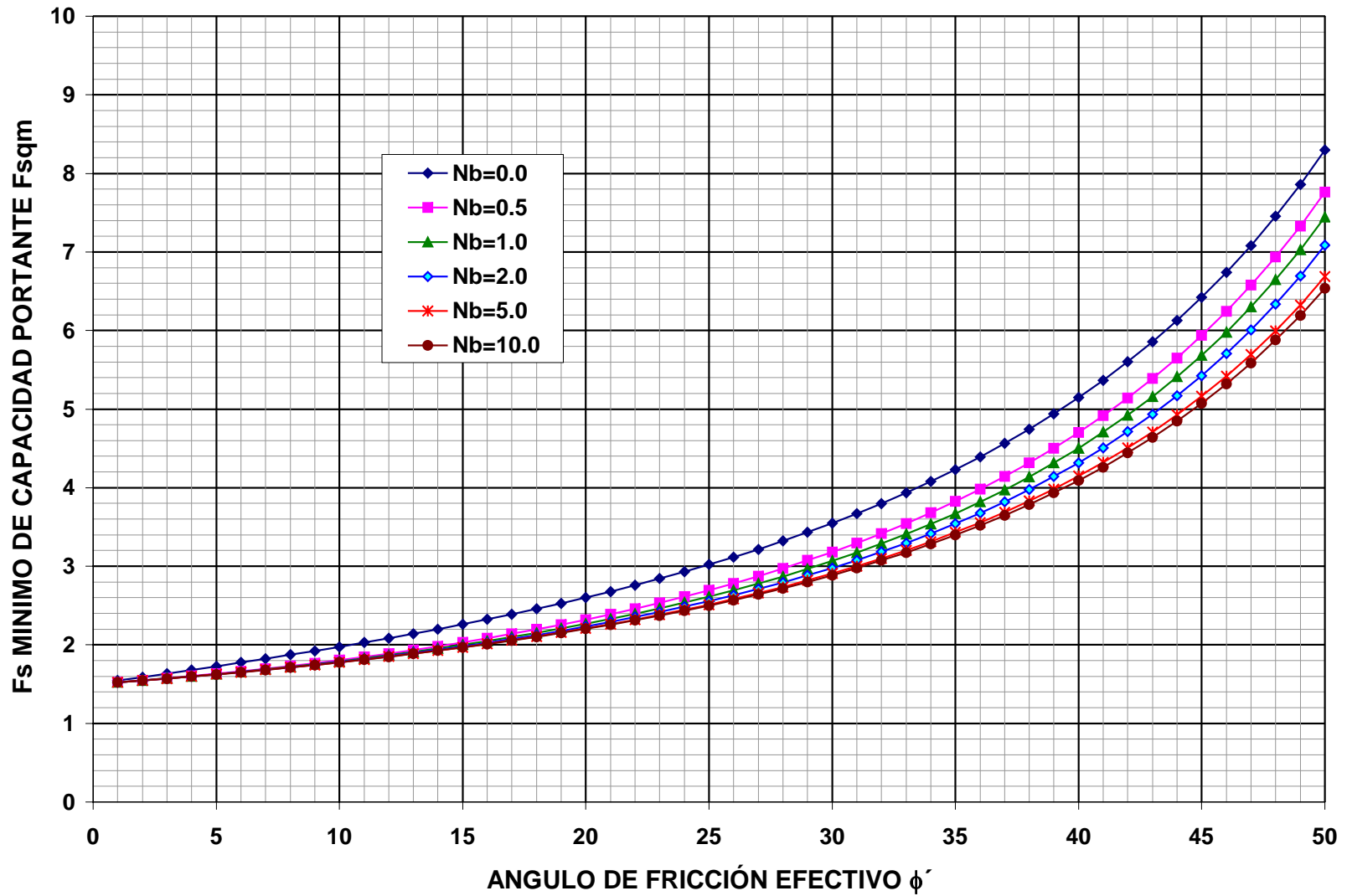


FIGURA A3- VALORES DE Fsqm PARA $N_d = D/B = 0.4$

FACTOR DE SEGURIDAD DE CAPACIDAD PORTANTE- EJEMPLO
PARA $F_{SBM}=1.5$; $N_d = D/B = 0.6$

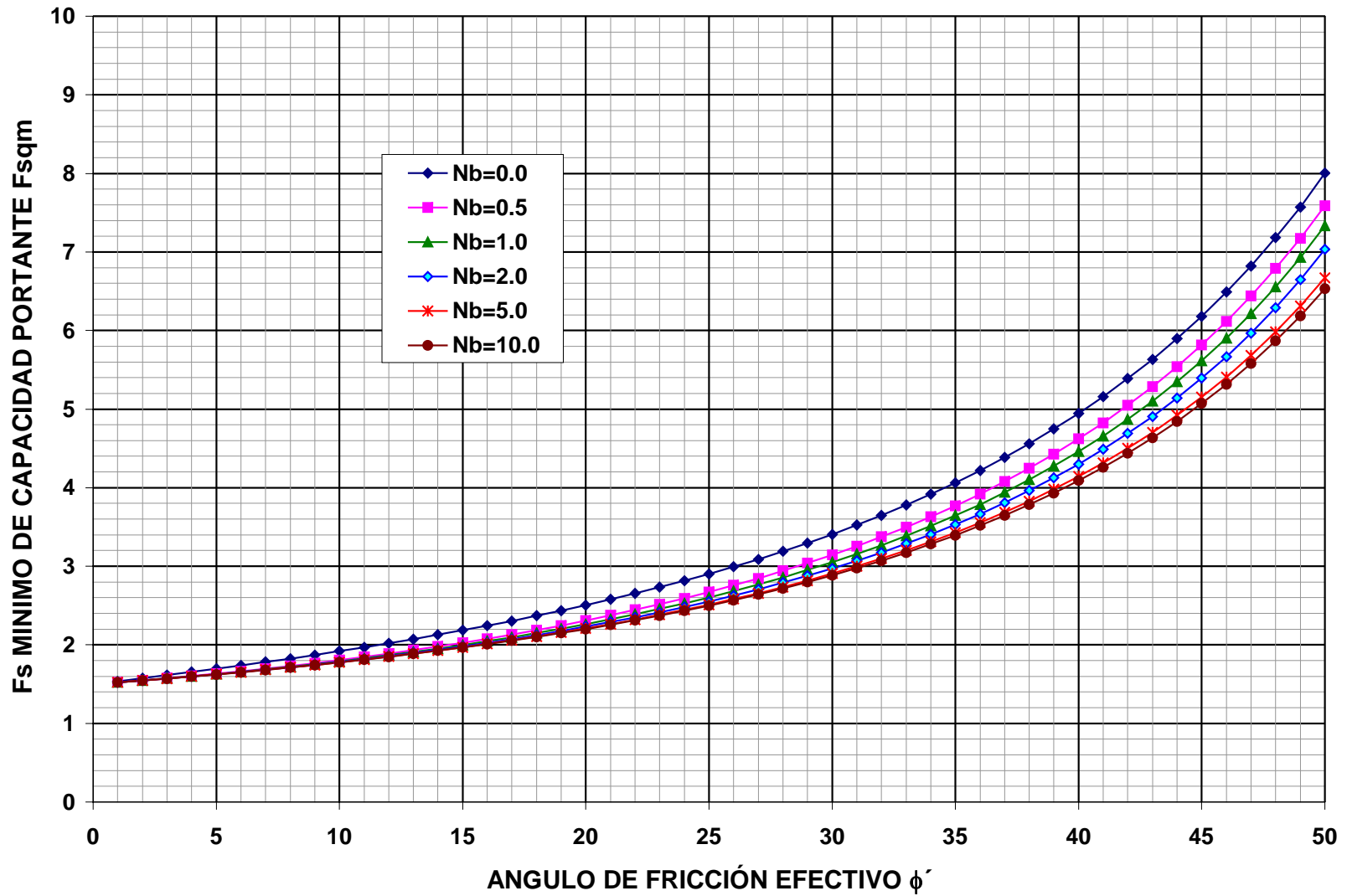


FIGURA A4- VALORES DE F_{sqm} PARA $N_d = D/B = 0.6$

FACTOR DE SEGURIDAD DE CAPACIDAD PORTANTE- EJEMPLO
PARA $F_{SBM}=1.5$; $N_d = D/B = 0.8$

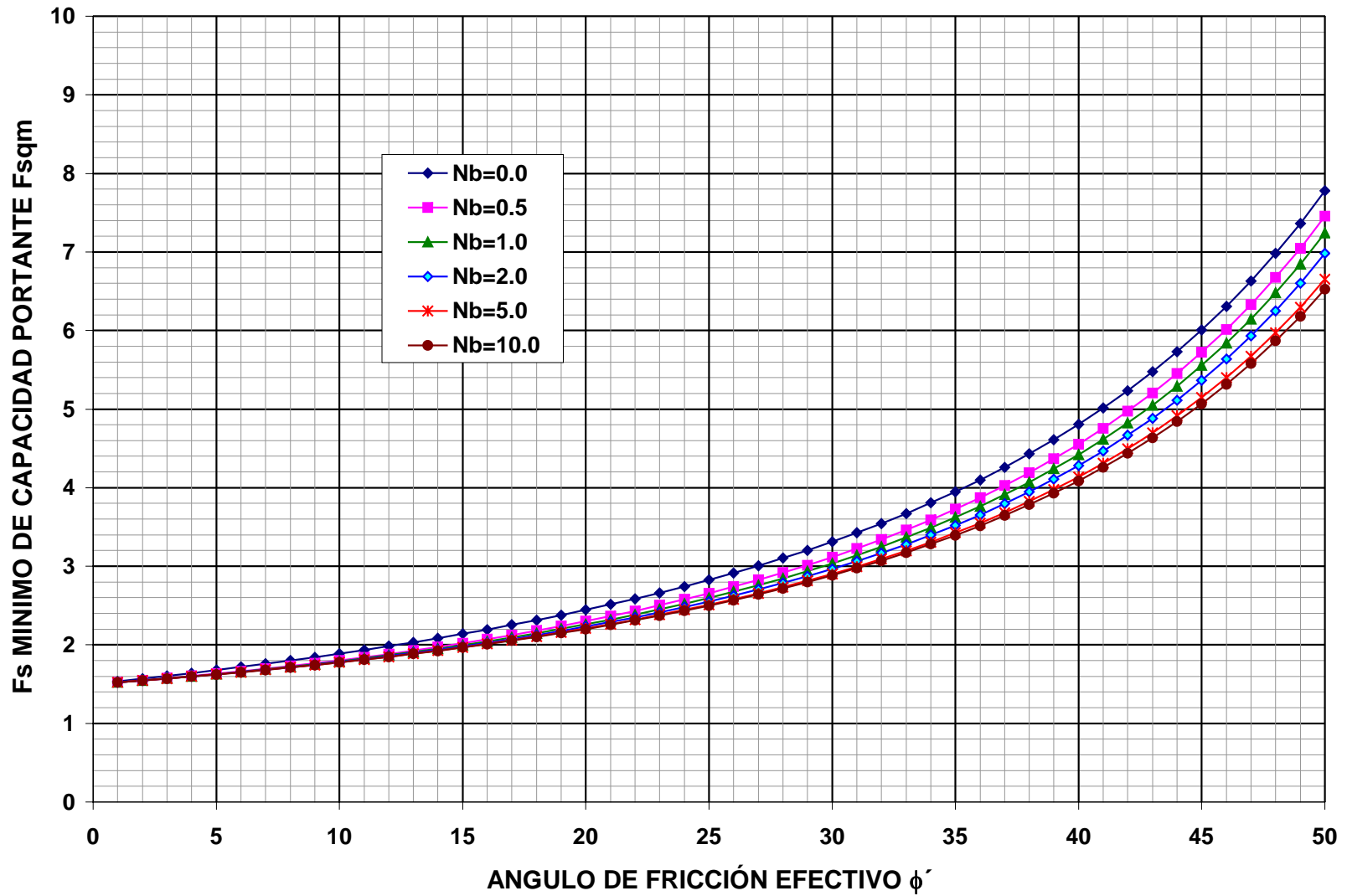


FIGURA A5- VALORES DE $F_{s_{qm}}$ PARA $N_d = D/B = 0.8$

FACTOR DE SEGURIDAD DE CAPACIDAD PORTANTE- EJEMPLO
PARA $F_{SBM}=1.5$; $N_d = D/B = 1.0$

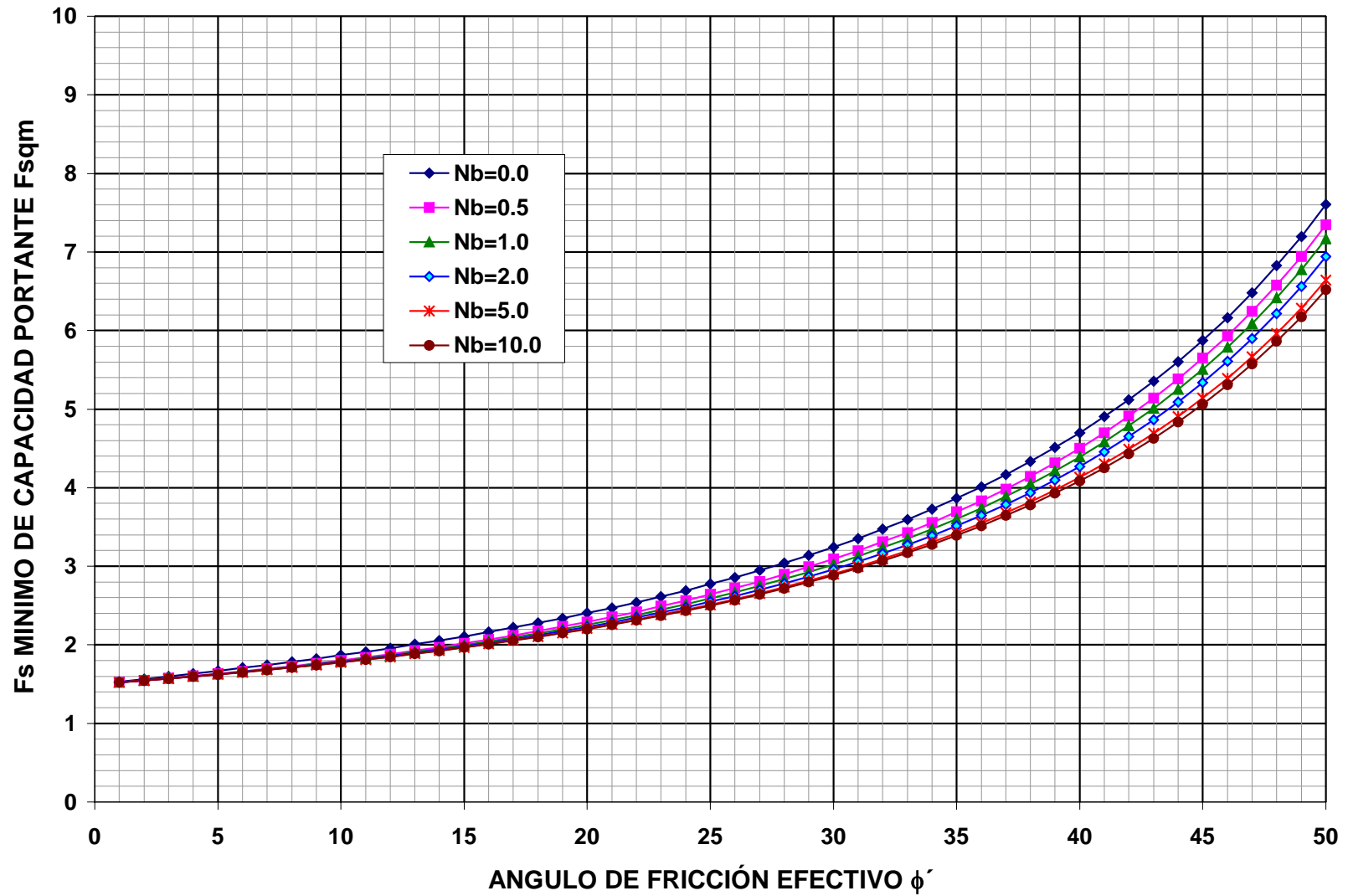


FIGURA A6- VALORES DE Fsqm PARA $N_d = D/B = 1.0$

**FACTOR DE SEGURIDAD DE CAPACIDAD PORTANTE- EJEMPLO
 PARA $F_{SBM}=1.5$; $N_b = c'/\gamma B = 0.0$**

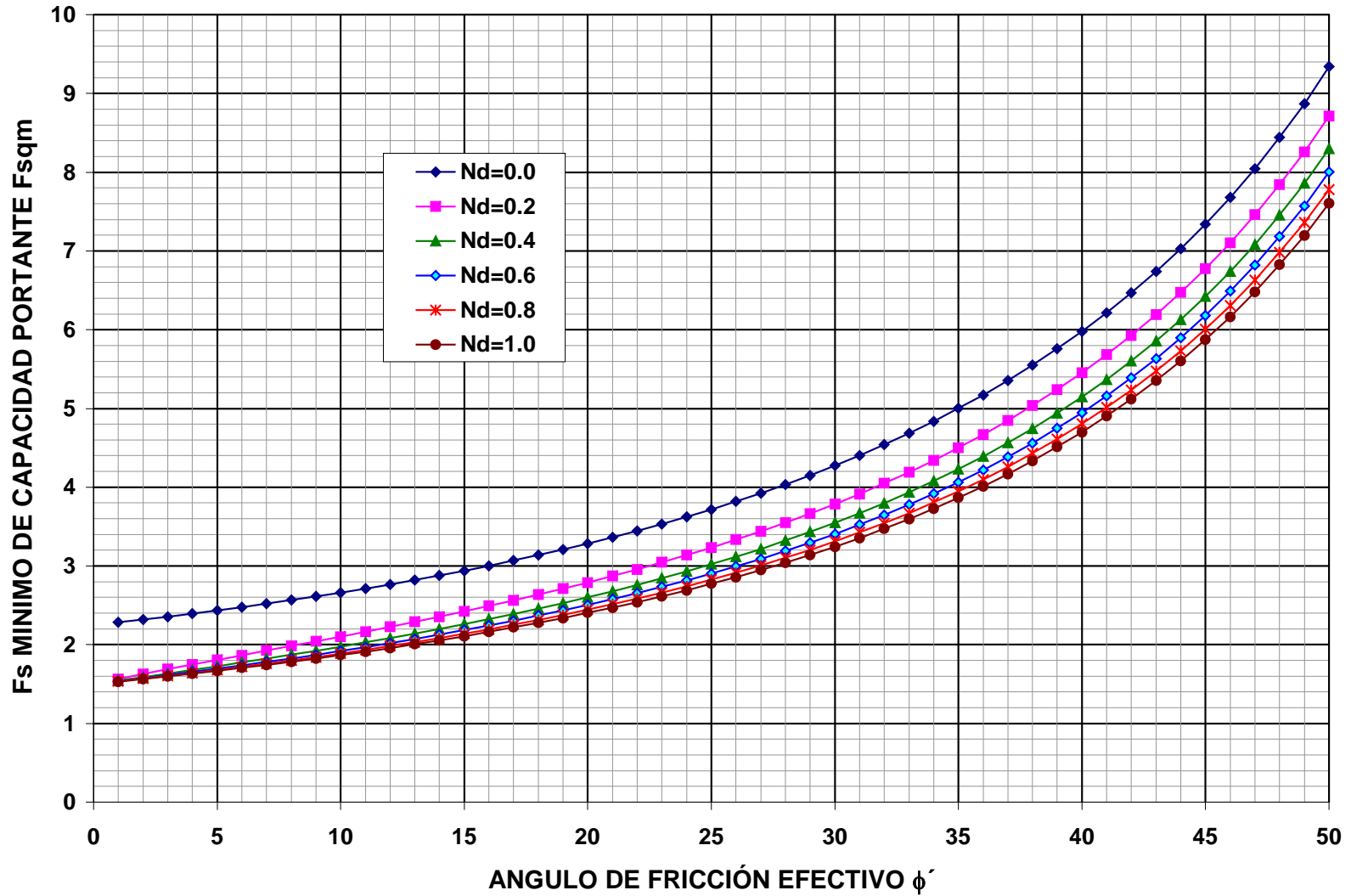


FIGURA A7- VALORES DE F_{sqm} PARA $N_b = c'/\gamma B = 0.0$

FACTOR DE SEGURIDAD DE CAPACIDAD PORTANTE- EJEMPLO
PARA $F_{SBM}=1.5$; $N_b = c'/\gamma B = 0.5$

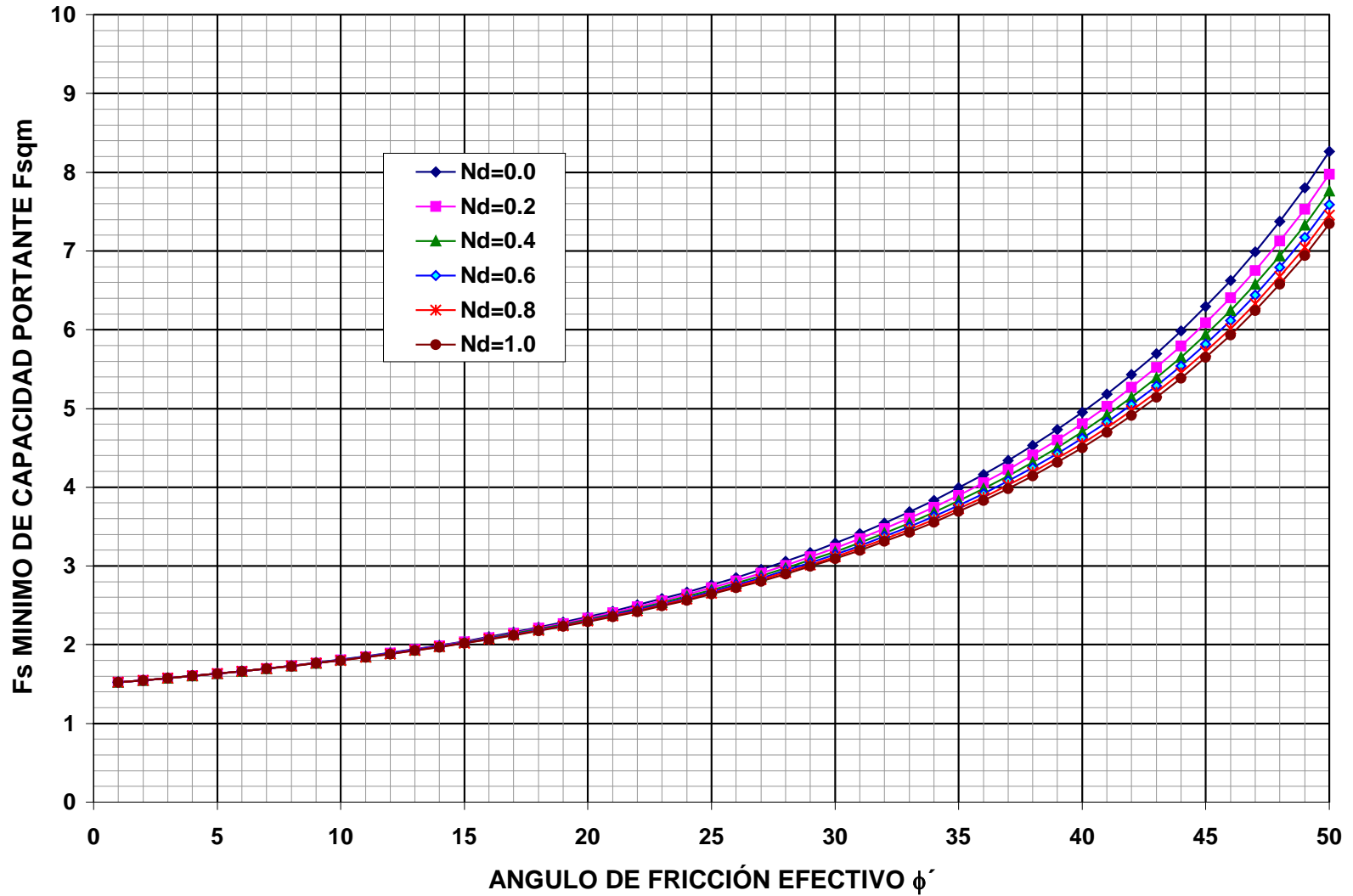


FIGURA A8- VALORES DE F_{sqm} PARA $N_b = c'/\gamma B = 0.5$

FACTOR DE SEGURIDAD DE CAPACIDAD PORTANTE- EJEMPLO
PARA $F_{SBM}=1.5$; $N_b = c' / \gamma B = 1.0$

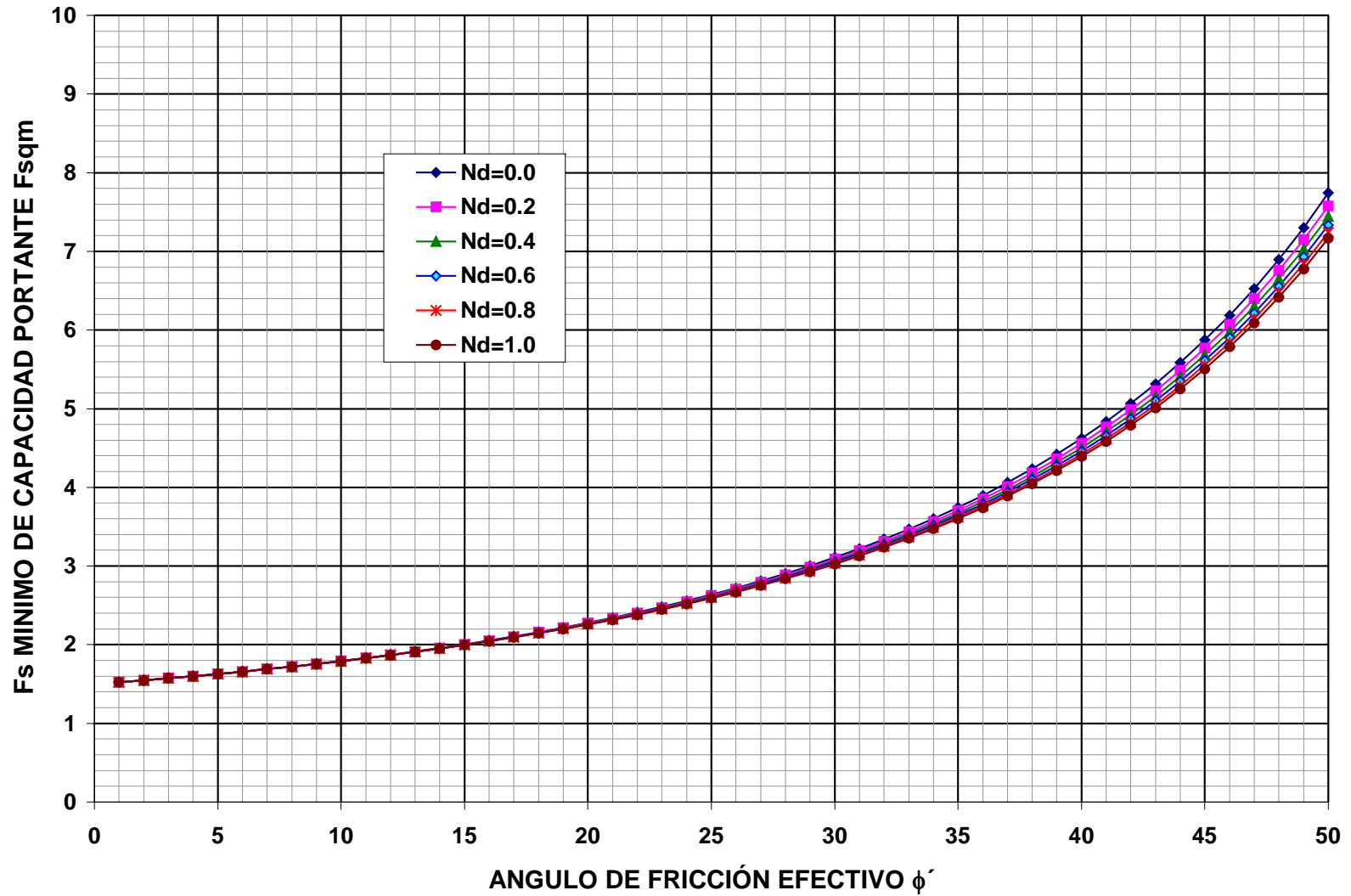


FIGURA A9- VALORES DE F_{sqm} PARA $N_b = c' / \gamma B = 1.0$

**FACTOR DE SEGURIDAD DE CAPACIDAD PORTANTE- EJEMPLO
PARA $F_{SBM}=1.5$; $N_b = c'/\gamma B = 2.0$**

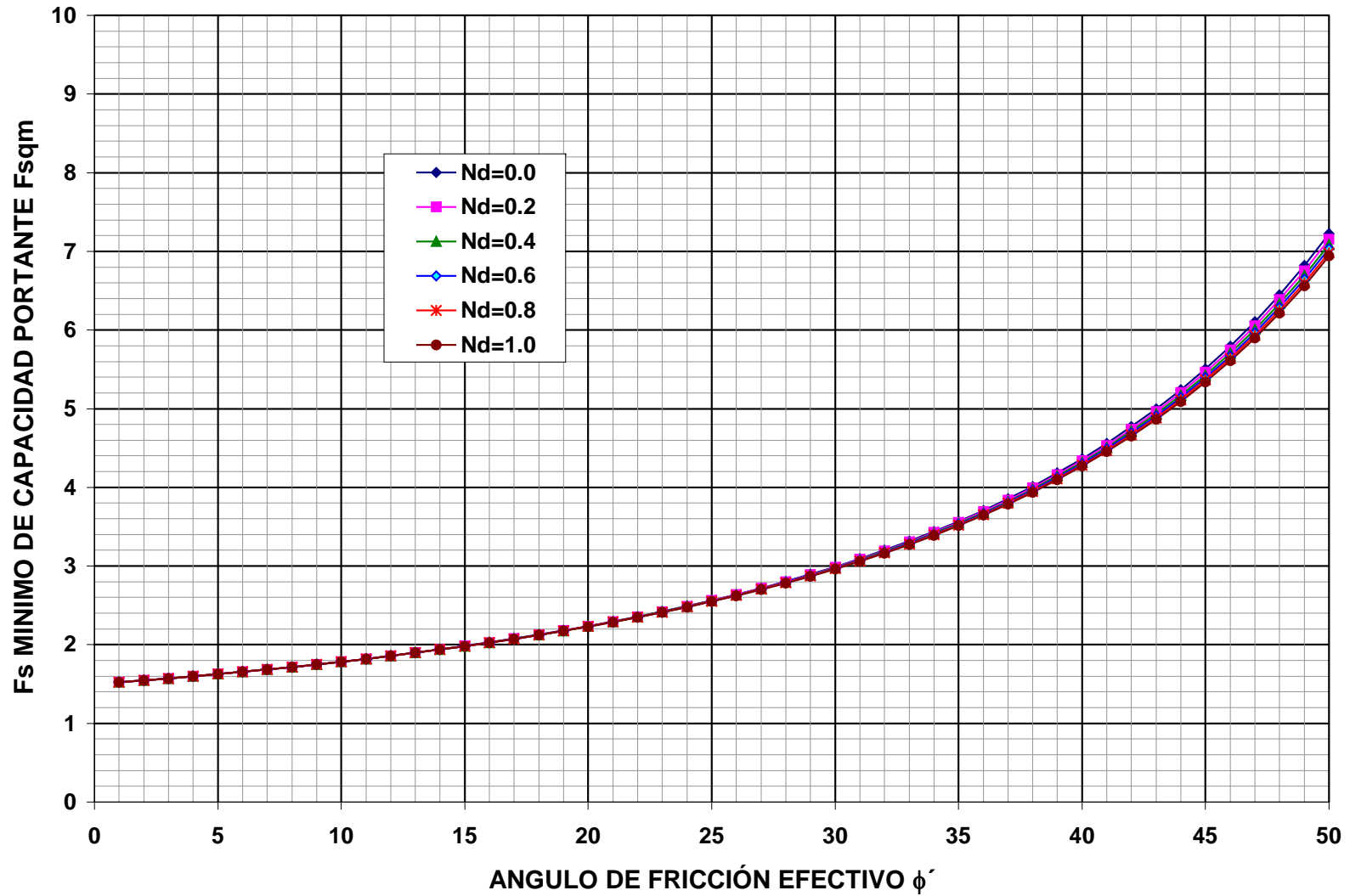


FIGURA A10- VALORES DE Fsqm PARA $N_b = c'/\gamma B = 2.0$

FACTOR DE SEGURIDAD DE CAPACIDAD PORTANTE- EJEMPLO
PARA $F_{SBM}=1.5$; $N_b = c'/\gamma B = 5.0$

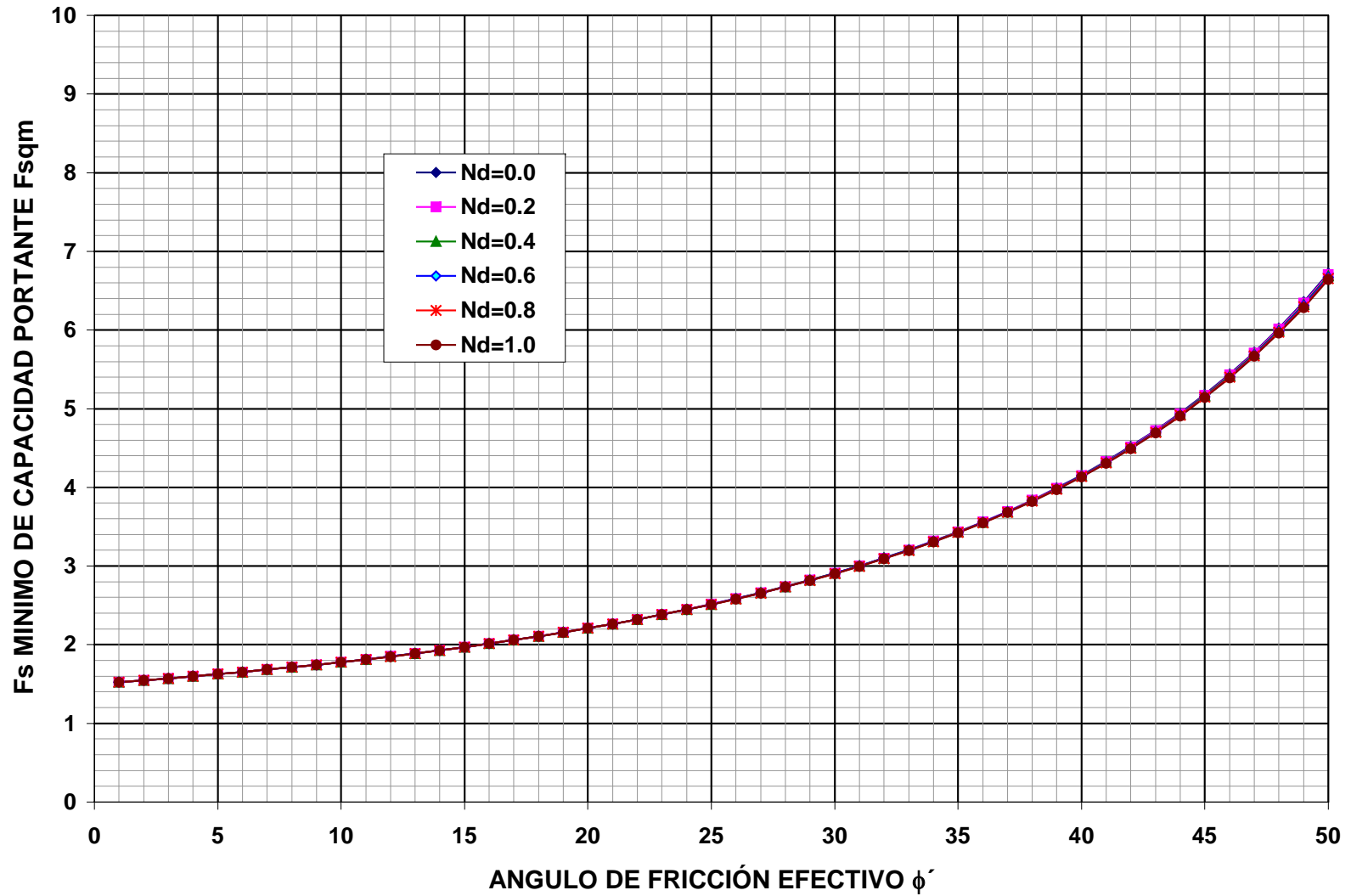


FIGURA A11- VALORES DE F_{sqm} PARA $N_b = c'/\gamma B = 5.0$

FACTOR DE SEGURIDAD DE CAPACIDAD PORTANTE- EJEMPLO
PARA $F_{SBM}=1.5$; $N_b = c'/\gamma B = 10.0$

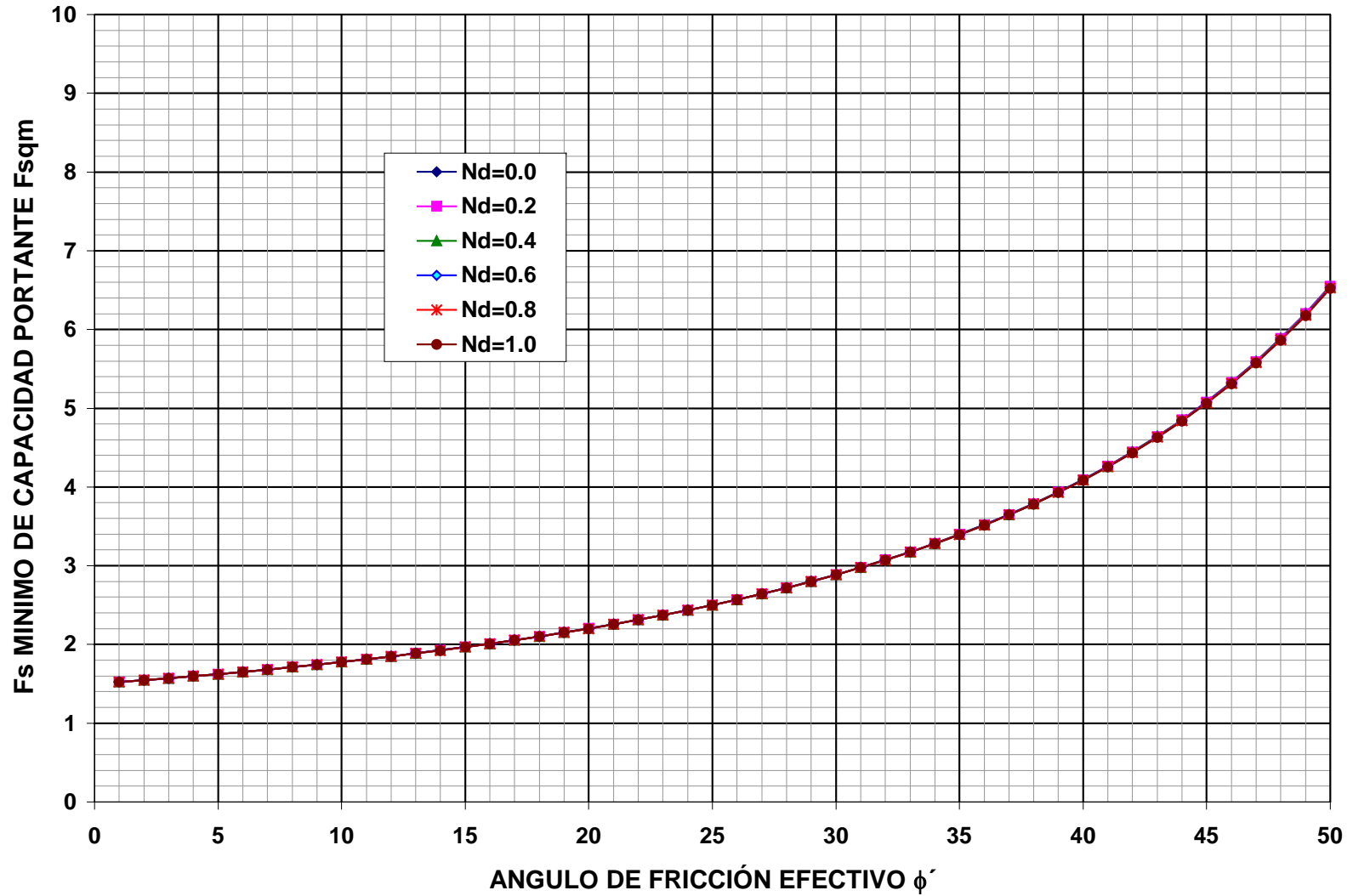


FIGURA A12- VALORES DE F_{sqm} PARA $N_b = c'/\gamma B = 10.0$