

LA SEGURIDAD DE LOS TIRANTES ANCLADOS AL TERRENO MEDIANTE INYECCIONES

Fernando Muzás Labad

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Profesor Titular de Mecánica del Suelo ETSAM.

RESUMEN

Recientemente se ha publicado en España el documento titulado "Recomendaciones para el proyecto, construcción y control de anclajes al terreno H.P.8-96". Este documento es de utilidad indudable ya que ha venido a llenar una laguna, en nuestro país, en este campo de actividad. En dicho documento se hace una propuesta de coeficientes de seguridad siguiendo, en líneas generales, unos criterios similares a los utilizados en las Normas de Hormigón Armado y Pretensado. Esta propuesta merece algún comentario y análisis ya que los valores sugeridos para reducir las características resistentes de los materiales y para mayorar las acciones, conducen a unos coeficientes globales de seguridad que parecen bajos, pues resultan inferiores a los que habitualmente se utilizan en el diseño de estructuras de hormigón. En el presente artículo se hace un análisis de todo el tema, señalando las diferencias entre las características del terreno y del hormigón, para concluir con la propuesta de algunas modificaciones al respecto.

ABSTRACT

The document "Recommendations for design, construction and control of ground anchors H.P.8-96" published recently in Spain is useful as it fills a gap in this field. The document proposes safety coefficients broadly similar to those for prestressed and reinforced concrete, but this calls for some commentary since the values proposed to reduce the resistance characteristics of the materials and to increase efforts lead to global safety coefficients that seem low as they fall below the levels normally used in the design of concrete structures. This article examines the whole subject, pointing out the differences between the characteristics of the ground and those of concrete, and proposing some modifications.

Se admiten
comentarios a este
artículo, que deberán
ser remitidos a la
Redacción de la ROP
antes del 30 de
septiembre de 1997.

Recibido en ROP:
febrero de 1997

INTRODUCCIÓN

Recientemente la Asociación Técnica Española de Pretensado, en colaboración con el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos y el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, ha elaborado el documento denominado "RECOMENDACIONES PARA EL PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y CONTROL DE ANCLAJES AL TERRENO H.P.8-96" cuya utilidad es indudable, ya que ha venido a llenar una laguna en este campo de actividad ampliamente extendido hoy día.

Estos elementos, que quizá sería mejor denominar tirantes anclados al terreno, se utilizan para mejorar las condiciones de estabilidad de estructuras o masas de terreno, mediante una armadura de elevado límite elástico que, trabajando a tracción, se encarga de transmitir una carga aplicada en superficie al interior del terreno, a través de lo que se denomina "zona de anclaje", o también "bulbo de anclaje", cuando el enlace de la armadura con el terreno se efectúa con inyecciones de lechada a presión.

La resistencia al deslizamiento del bulbo inyectado es un problema bastante complejo por la forma en que se transfieren las cargas al terreno, pero normalmente se considera una resistencia media que, si bien varía de un terreno a otro, depende en gran manera de la presión con la que se lleve a cabo la inyección de la lechada. Esta resistencia depende también de cómo, según las distintas patentes, se efectúa la transmisión de la carga al terreno, cosa que puede hacerse desde el comienzo del bulbo o bien desde el fondo del mismo, con lo cual el bulbo está sometido a tracción, en el primer caso, mientras que en el segundo el bulbo queda trabajando a compresión. A todo ello se añade la circunstancia de que dicha resistencia media no debe considerarse constante, pues parece que disminuye conforme crece la longitud del bulbo.

En las Recomendaciones H.P.8-96 se hace una propuesta de coeficientes de seguridad, siguiendo en líneas generales unos criterios similares a los utilizados en las Normas de Hormigón Armado y Pretensado, que merecen algún comentario ya que los valores propuestos conducen a unos coeficientes globales de seguridad para la resistencia al deslizamiento del bulbo dentro del terreno que parecen bajos, pues resultan inferiores a los que habitualmente se utilizan en las estructuras de hormigón. En

el presente artículo se hace un análisis de todo el tema, para concluir con la propuesta de algunas modificaciones al respecto.

2. LA SEGURIDAD EN LA INSTRUCCIÓN DE HORMIGÓN

En la Instrucción de Hormigón, como es bien sabido el coeficiente de seguridad se establece a partir de los siguientes parámetros:

- ▼ Coeficiente de minoración de la resistencia del acero
- ▼ Coeficiente de minoración de la resistencia del hormigón
- ▼ Coeficiente de mayoración de las acciones

Los coeficientes con los que se minora la resistencia de los materiales son distintos para el acero y el hormigón debido a la circunstancia de que cuando se efectúan ensayos para determinar sus características mecánicas, los resultados obtenidos tienen distinto grado de dispersión en cada tipo de material, pero con los valores adoptados se trata de conseguir en ambos casos un grado de confianza del 95 %. Los coeficientes de minoración se hacen depender del nivel de control a establecer en

CUADRO 1

COEFICIENTES DE SEGURIDAD DEL HORMIGÓN EN LA E.H.
(Acero con nivel de control intenso; se excluye el control reducido para la ejecución)

COEFICIENTE			VALOR DEL COEFICIENTE	
MINORACIÓN DEL ACERO γ_s			1,10	
MINORACIÓN DEL HORMIGÓN γ_c	Nivel de control	Intenso	1,40	
		Medio	1,50	
		Reducido	1,70	
MAYORACIÓN DE CARGAS γ_f	Nivel de riesgo		Control normal	Control intenso
	Daños mínimos		1,50	1,40
	Daños medios		1,60	1,50
		Daños máximos	1,80	1,70

COEFICIENTES GLOBALES DE SEGURIDAD SEGÚN LA E.H.

COEFICIENTE GLOBAL		C. EJEC. INTENSO			C. EJEC. NORMAL		
		Niveles de Riesgo			Niveles de Riesgo		
		Min.	Med.	Máx.	Min.	Med.	Máx.
ACERO ($\gamma_s \times \gamma_f$)		1,54	1,65	1,87	1,65	1,76	1,98
HORMIGÓN ($\gamma_c \times \gamma_f / 0,85$)	C. Intenso	2,31	2,47	2,80	2,47	2,64	2,96
	C. Medio	2,47	2,65	3,00	2,65	2,82	3,18
	C. Reducido	2,80	3,00	3,40	3,00	3,20	3,60

CUADRO 2

COEFICIENTES DE SEGURIDAD DE LAS RECOMENDACIONES H.P.8-96

COEFICIENTE	A. TEMPORALES			A. PERMANENTES		
	Niveles de Riesgo			Niveles de Riesgo		
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
MAYORACIÓN DE CARGA γ_i	1,4	1,5	1,8	1,6	1,8	2,0
MINORACIÓN TERRENO γ_t	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5
COEFTE. GLOBAL BULBO	1,82	1,95	2,52	2,24	2,70	3,00
COEFTE. GLOBAL ACERO	1,21	1,65	1,98	1,76	1,98	2,20

para éste último se consideran otros coeficientes correctores, ya que en el diagrama parábola-rectángulo se adopta un valor igual a 0,85 de la resistencia de cálculo del hormigón, sin contar que en ocasiones se adoptan otros valores menores.

3. PROPUESTA DE LAS RECOMENDACIONES H.P.8-96

obra, ya que la dispersión, lógicamente, ha de ser distintinta según los casos.

El coeficiente de mayoración de las acciones se hace depender del nivel de riesgo que tenga la estructura, pero también del nivel de control de ejecución en obra.

En el Cuadro 1, se hace un resumen de estos coeficientes, contemplando únicamente para el acero un nivel de control intenso, pues en los tirantes se utiliza el mismo acero que en las estructuras de hormigón pretensado bien controlado, y excluyendo para el coeficiente de mayoración de las acciones el nivel de control reducido, por considerar que es lo más apropiado para efectuar la comparación con una obra de tirantes anclados al terreno.

Como complemento del Cuadro de Coeficientes de Seguridad se determinan los Coeficientes Globales de Seguridad que resultan para el acero y el hormigón, teniendo en cuenta que

A continuación se hace un resumen de los coeficientes de seguridad recogidos en las RECOMENDACIONES H.P.8-96, en las cuales se siguen unos criterios similares a los anteriores, contemplando los siguientes parámetros:

- ▼ Coeficiente de minoración de la resistencia del acero
- ▼ Coeficiente de minoración de la resistencia del terreno al deslizamiento
- ▼ Coeficiente de mayoración de las acciones

Como coeficiente de minoración del acero se adopta un valor $\gamma_s = 1,1$ mientras que para los coeficientes de minoración de la resistencia del terreno, así como para la mayoración de acciones se tienen en cuenta tres niveles de riesgo y dos situaciones de obra según se trate de tirantes de carácter provisional o de carácter permanente.

Este último criterio puede considerarse similar, aunque con las evidentes diferencias, a la distinción que en la Norma de Hormigón se hace en función del nivel de control de la obra, pero ha desaparecido cualquier variación en los coeficientes que tenga en cuenta la dispersión en las propiedades del terreno, equivalente a la dispersión en la resistencia del hormigón, de acuerdo con el nivel de control de su fabricación.

El resumen de los coeficientes parciales y de los coeficientes globales que se obtienen es el reflejado en el Cuadro 2.

A continuación (Cuadro 3) se efectúa la comparación entre estos coeficientes globales de seguridad y los obtenidos para el acero y el hormigón con la E.H. poniendo en paralelo los tres niveles de

CUADRO 3

COMPARACIÓN DE COEFICIENTES GLOBALES DE SEGURIDAD DEL ACERO

CRITERIO	VALORES DE COMPARACIÓN					
	V1	V2	V3	V4	V5	V6
NORMA DE HORMIGÓN	1,54	1,65	1,87	1,65	1,76	1,98
RECOMENDAC. H.P.8-96	1,21	1,65	1,98	1,76	1,98	2,20

COMPARACIÓN DE COEFICIENTES GLOBALES DE SEGURIDAD DEL HORMIGÓN Y DEL TERRENO

MATERIAL		VALORES DE COMPARACIÓN					
		V1	V2	V3	V4	V5	V6
HORMIGÓN (EH)	C. Intenso	2,31	2,47	2,80	2,47	2,64	2,96
	C. Medio	2,47	2,65	3,00	2,65	2,82	3,18
	C. Reducido	2,80	3,00	3,40	3,00	3,20	3,60
TERRENO (H.P.8-96)		1,82	1,95	2,52	2,24	2,70	3,00

riesgo de los anclajes temporales y permanentes y los tres niveles de riesgo de la ejecución de obras de hormigón con nivel de control intenso y normal respectivamente, dado que los primeros son inferiores a los segundos.

Se observa cómo en el acero los resultados son similares, si bien el menor valor de las Recomendaciones (1,21), correspondiente a anclajes temporales utilizados en obras con mínimo nivel de riesgo, puede considerarse un poco bajo.

Respecto al coeficiente global de la resistencia del terreno, puede verse que los resultados son inferiores a los obtenidos para el hormigón, incluso con control de fabricación intenso, no existiendo ninguna justificación para ello, sino todo lo contrario, ya que las características de un terreno natural no pueden tener mayor fiabilidad que las de un hormigón elaborado de acuerdo con unas estrictas normas de fabricación.

4. COEFICIENTES DE SEGURIDAD QUE SE PROPONEN

Cuando el autor elaboró el Capítulo 13 Anclajes, para la obra Geotecnia y Cimientos III, coordinada y dirigida por el Profesor D. José Antonio Jiménez Salas, ya existía en las Normas Suizas una propuesta de coeficientes de seguridad similar a la ahora recogida en las Recomendaciones H.P.8-96, que a su vez era también parecida a otro intento elaborado por el autor y que no se creyó oportuno incorporar en el texto del libro en razón a la sencillez de aplicación de los coeficientes, según se justifica a continuación.

Conviene recordar los motivos por los que en su día se adoptaron los coeficientes de mayoración de las acciones y de minoración de las resistencias de los materiales, algunos de los cuales ya se han indicado anteriormente.

El coeficiente de mayoración de las acciones, que depende de los riesgos y del control de ejecución de la obra, tiene su mayor interés cuando se trata de combinar distintas hipótesis de carga, pero no lo tiene tanto, en general, en el caso de los tirantes anclados al terreno, ya que normalmente el valor del esfuerzo necesario se deduce de una determinada hipótesis de cálculo y no por distintas combinaciones de carga.

Los coeficientes de minoración de la resistencia del acero y del hormigón ya se ha indicado que,

aun teniendo valores diferentes, corresponden a un grado de confianza del 95%. Es evidente que el terreno, aunque pueda tener un tratamiento similar al hormigón, difiere bastante de éste ya que no se trata de un producto obtenido en un proceso de fabricación y que sus propiedades pueden tener un grado de dispersión distinto, según la naturaleza del material de que se trate.

Como consecuencia de ello, para el caso de los anclajes inyectados en el terreno parece oportuno considerar unos coeficientes similares tal como se propone en el cuadro 4, pero sustituyendo los tres niveles de control en la fabricación del hormigón por tres tipos de terreno, en función del mayor o menor grado de dispersión que pueden presentar sus propiedades mecánicas:

- ▼ Terreno "A", con grado de dispersión bajo
- ▼ Terreno "B", con grado de dispersión medio
- ▼ Terreno "C", con grado de dispersión alto

En el texto del Capítulo 13 Anclajes, de la obra anteriormente citada, se incluyeron en su día unos COEFICIENTES SIMPLIFICADOS que respondían a los siguientes criterios:

1. CARGA LÍMITE DEL ACERO

$$T_L = \text{Sección de Acero} \times \text{Límite Elástico}$$

CUADRO 4

PROPUESTA DE COEFICIENTES DE SEGURIDAD				
COEFICIENTE		VALOR DEL COEFICIENTE		
MINORACIÓN DEL ACERO γ_i		1,10		
MINORACIÓN DEL TERRENO γ_t	Terreno "A"	1,60		
	Terreno "B"	1,80		
	Terreno "C"	2,00		
MAYORACIÓN DE CARFAS γ_f	Nivel de riesgo	Anclajes permanentes	Anclajes provisionales	
	Daños mínimos	1,50	1,20	
	Daños medios	1,60	1,30	
	Daños máximos	1,80	1,50	
TERRENO	DESCRIPCIÓN			
"A"	Rocas			
	Suelos granulares de compacidad alta ($N \geq 40$)			
"B"	Suelos coherentes con índice de fluidez ($I_f \leq 0,2$)			
	Suelos granulares de compacidad media ($40 > N \geq 20$)			
"C"	Suelos coherentes con índice de fluidez ($0,2 < I_f \leq 0,4$)			
	Suelos granulares de compacidad baja ($20 > N \geq 10$)			
	Suelos coherentes con índice de fluidez ($0,4 < I_f \leq 0,6$)			

CUADRO 5

COEFICIENTES DE SEGURIDAD SIMPLIFICADOS

COEFICIENTE	VALOR DEL COEFICIENTE		
UTILIZACIÓN DEL ACERO α	Nivel de riesgo	Anclajes permanentes	Anclajes provisionales
	Daños mínimos	0,60	0,75
	Daños medios	0,55	0,70
	Daños máximos	0,50	0,60
MINORACIÓN DEL TERRENO β	Terreno "A"		1,40
	Terreno "B"		1,60
	Terreno "C"		1,80

2. CARGA DE UTILIZACIÓN

$$T_U = \alpha \times T_L \quad (\alpha = \text{Coeficiente de utilización} = \\ 0,60 \text{ a } 0,75 \text{ para anclajes provisionales} \\ 0,50 \text{ a } 0,60 \text{ para anclajes permanentes})$$

3. RESISTENCIA DEL TERRENO EN LA ZONA DE ANCLAJE

$$T_T = \beta \times T_L \quad (\beta = \text{Coeficiente minoración} = 1,4 \text{ a } 1,8)$$

Estos coeficientes, de una manera más detallada podrían establecerse tal como se indica en el Cuadro 5

les ligeramente inferiores a los de las obras de hormigón con control de ejecución intenso. El criterio simplificado permite visualizar mejor las condiciones relativas de trabajo de la armadura y del bulbo resultando mucho más simple en la mayoría de los casos en los que, como ya se ha indicado, no se plantea una combinación de hipótesis de carga.

Finalmente existe otro aspecto, ya citado, que debería tenerse en cuenta en el proyecto y es el hecho de que la resistencia media del bulbo disminuye conforme aumenta la longitud del mismo. En este sentido, parece que a dicha resistencia

De manera similar a lo efectuado anteriormente, puede determinarse el coeficiente de seguridad global para el acero y la resistencia del terreno obteniendo los resultados reflejados en el Cuadro 6.

En los cuadros anteriores puede verse la buena concordancia entre ambas propuestas para adoptar el coeficiente de seguridad de los tirantes anclados al terreno e incluso con los valores determinados anteriormente para el hormigón, siendo los coeficientes globales de los anclajes tempora-

debería aplicarse un coeficiente reductor adicional, similar al que se propone en la siguiente fórmula en función de la longitud del bulbo L, expresada en metros:

$$K = 1,0 - 0,65 \cdot \exp\left(\frac{-4,0}{L - 4,0}\right)$$

Esta expresión, aplicable para $L > 4,0$ m, supone un coeficiente $K = 1,0$ para longitudes de bulbo iguales a 4,0 m disminuyendo hasta un valor $K = 0,666$ para $L = 10,0$ m y $K = 0,548$ para $L = 15,0$ m, longitud que puede considerarse como un valor máximo en la mayoría de los casos.

BIBLIOGRAFÍA

- Jiménez Salas, J.A. y Muzás, F.: Geotecnia y Cimientos III, Cap. 13 Anclajes. Edit. Rueda, 1980.
—ATEP: Recomendaciones para el proyecto, construcción y control de anclajes al terreno. H.P.8-96. ●

CUADRO 6

COEFICIENTES GLOBALES DE SEGURIDAD

Partiendo de los coeficientes γ_s , γ_t y γ_r

TIPO DE MATERIAL	ANCLAJES PROVISIONALES			ANCLAJES PERMANENTES		
	Daños Mínimos	Daños Medios	Daños Máximos	Daños Mínimos	Daños Medios	Daños Máximos
ACERO	1,32	1,43	1,65	1,65	1,76	1,98
TERRENO "A"	1,92	2,08	2,40	2,40	2,56	2,88
TERRENO "B"	2,16	2,34	2,70	2,70	2,88	3,24
TERRENO "C"	2,40	2,60	3,00	3,00	3,20	3,60

COEFICIENTES GLOBALES DE SEGURIDAD

Partiendo de los coeficientes α y β

TIPO DE MATERIAL	ANCLAJES PROVISIONALES			ANCLAJES PERMANENTES		
	Daños Mínimos	Daños Medios	Daños Máximos	Daños Mínimos	Daños Medios	Daños Máximos
ACERO	1,33	1,43	1,67	1,67	1,82	2,00
TERRENO "A"	1,87	2,00	2,33	2,33	2,55	2,80
TERRENO "B"	2,13	2,29	2,67	2,67	2,91	3,20
TERRENO "C"	2,40	2,57	3,00	3,00	3,27	3,60