INTI
Instituto Nacional
de Tecnología Industrial

Recomendación CIRSOC 106 y Comentarios

CIRSOC

Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales
de Seguridad para las Obras Civiles del Sistema INTI

Dimensionamiento del Coeficiente de Seguridad

Julio 1982

INTI
Instituto Nacional
de Tecnología Industrial

Recomendación CIRSOC 106
y Comentarios

CIRSOC

Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales
de Seguridad para las Obras Civiles del Sistema INTI

Dimensionamiento del Coeficiente de Seguridad

Julio 1982

APROBADO POR RESOLUCIONES DEL
MOySP N° 977/83 y 621/84
SSOP N° 59/90 y SSOP N°3/91

INTI CIRSOC

E-mail: cirsoc@mecon.gov.ar
cirsoc@inti.gob.ar

Internet: www.inti.gob.ar/cirsoc

Primer Director Técnico († 1980): Ing. Luis María Machado

Directora Técnica: Inga. Marta S. Parmigiani

Coordinadora Área Acciones: Inga. Alicia M. Aragno

Área Estructuras de Hormigón: Ing. Daniel A. Ortega

Área Administración, Finanzas y Promoción: Mónica B. Krotz

Área Venta de Publicaciones: Néstor D. Corti

Editado por INTI
INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL
Av. Leandro N. Alem 1067 – 7° piso – Buenos Aires. Tel. 4515-5000

ORGANISMOS PROMOTORES

Ministerio de Obras y Servicios Públicos
Instituto Nacional de Tecnología Industrial
Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Buenos Aires
Secretaría de Estado de Desarrollo Urbano y Vivienda
Empresa Obras Sanitarias de la Nación
Municipalidad de la Ciudad de Buenos Aires
Comisión Nacional de Energía Atómica
Empresa del Estado Agua y Energía Eléctrica
Dirección Nacional de Vialidad
HIDRONOR SA

MIEMBRO ADHERENTE

Consejo Interprovincial de Ministros de Obras Públicas

ASESORES QUE INTERVINIERON EN LA REDACCIÓN DEL REGLAMENTO CIRSOC 106

Coordinador: Ing. Hilario Fernández Long

Asesor: Ing. Arturo J. Bignoli

– INDICE –

CAPITULO 1. GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCION

El coeficiente de seguridad que se utilice para el proyecto de una estructura debe ser función de la confiabilidad que se requiera de ésta y depende del cuidado y de la precisión con que se realicen tanto el proyecto como la construcción, así como del conocimiento que se tenga de las acciones que la solicitarán.
No pudiendo establecerse "a priori" y en forma general un valor del coeficiente de seguridad, éste deberá ser calculado por el proyectista de acuerdo con esta Recomendación, antes de comenzar el proyecto de la estructura.

1.2. CAMPO DE VALIDEZ

Esta Recomendación se podrá aplicar en el proyecto de estructuras resistentes, de cualquier material en los que se considere necesario una mejor evaluación del coeficiente de seguridad.

CAPITULO 2. DEFINICIONES

2.1. COEFICIENTE DE SEGURIDAD

Se llamará coeficiente de seguridad a alguno de los valores indicados en los artículos 2.1.1. a 2.1.3.

2.1.1. Coeficiente de seguridad central

El coeficiente de seguridad central se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$\gamma_0 = \frac{\overline{R}}{\overline{S}}$$

siendo:

γ_0 el coeficiente de seguridad central;

$\overline{R}$ el valor medio de la resistencia de una sección o de un elemento estructural;

$\overline{S}$ el valor medio de la solicitación de la misma sección o del mismo elemento estructural.

También podrán ser $\overline{R}$ y $\overline{S}$ los valores medios de las tensiones última y actual, respectivamente, calculadas en una sección.

2.1.2. Coeficiente de seguridad característico

El coeficiente de seguridad característico se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$\gamma_K = \frac{R_K}{S_K}$$

siendo:

γ_K el coeficiente de seguridad característico;

R_K y S_K los valores característicos de la resistencia y de la solicitación respectivamente, de una sección o de un elemento estructural, dados por:

$$R_K \cong \overline{R} \cdot e^{-1,645\,\delta_R} \cong \overline{R}\left(1 - k_R \cdot \delta_R\right)$$

y

$$S_K \cong \overline{S} \cdot e^{1,645\,\delta_S} \cong \overline{S}\left(1 + k_S \cdot \delta_S\right)$$

con:

$\overline{R}$ y $\overline{S}$ los valores medios de la resistencia y de la solicitación, respectivamente, de una sección o de un elemento estructural;

k_R y k_S los coeficientes, que tomando los valores característicos R_K y S_K al percentil **5%** valen $k_R = k_S = 1{,}65$;

δ_R y δ_S los coeficientes de variación de R y S obtenidos:

a) estadísticamente con $\delta_R = \frac{\sigma_R}{\overline{R}}$ y $\delta_S = \frac{\sigma_S}{\overline{S}}$, siendo σ_R y σ_S los desvíos típicos de R y S;

b) de la Tabla 3 (Capítulo 4) para las condiciones propias del proyecto y construcción que correspondan.

por lo tanto:

$$\gamma_K \cong \gamma_0 \cdot e^{-1{,}645\,(\delta_R + \delta_S)} \cong \gamma_0 \, \frac{1 - k_R \cdot \delta_R}{1 + k_S \cdot \delta_S}$$

2.1.3. Coeficiente de seguridad de cálculo

El coeficiente de seguridad de cálculo se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$\gamma^* = \frac{R^*}{S^*}$$

siendo:

γ^* el coeficiente de seguridad de cálculo;

R^* y S^* los valores de cálculo de la resistencia y de la solicitación respectivamente, de una sección o de un elemento estructural, dados por:

$$R^* = \frac{R_K}{\gamma_m}$$

y

$$S^* = \gamma_S \cdot S_K$$

con:

$\boldsymbol{R_K}$ y $\boldsymbol{S_K}$	los valores característicos de la resistencia y de la solicitación, respectivamente, de una sección o de un elemento estructural;
γ_m y γ_S	los factores de minoración **R** y de mayoración de **S**, respectivamente, que pueden deducirse de lo indicado en cada Reglamento particular.

y por lo tanto:

$$\gamma^* = \frac{\gamma_K}{\gamma_m \cdot \gamma_S} \cong \frac{\gamma_0}{\gamma_m \cdot \gamma_S} \cdot e^{-1,645\,(\delta_R + \delta_S)} \cong \gamma_0 \cdot \frac{1 - k_R \cdot \delta_R}{1 + k_S \cdot \delta_S} \cdot \frac{1}{\gamma_m \cdot \gamma_S}$$

2.2. INDICE DE SEGURIDAD

Se llamará índice de seguridad β al valor

$$\beta = \frac{\ell_n\, \gamma_0}{\sqrt{\delta_R^{\,2} + \delta_S^{\,2}}}$$

siendo:

β	el índice de seguridad;
γ_0	el coeficiente de seguridad central;
δ_R y δ_S	los coeficientes de variación de **R** y **S**.

CAPITULO 3. DETERMINACION DEL INDICE DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA

3.1. INDICE DE SEGURIDAD β

Se obtendrán los valores del índice de seguridad β de la Tabla 1 según la importancia de los daños a personas y cosas.

3.2. PROBABILIDAD DE FALLA P_f

El valor de la probabilidad de falla "tolerable" P_f tendrá una cota superior en:

$$P_f \leq \frac{10^{-5} \cdot T}{n}$$

siendo:

- T la vida útil de la estructura (según Tabla 2 en función del tipo de estructura);
- n la cantidad media de personas en peligro;
- 10^{-5} la probabilidad de daño tolerada por persona y por año.

Si la P_f así calculada fuese inferior a la de la Tabla 1 correspondiente al β elegido, se obtendrá con ella un nuevo β mayor, utilizando una tabla de probabilidades normales, adoptándose este último.

Para el cálculo de β también podrá usarse la expresión aproximada:

$$P_f \cong 460\, e^{-4,3\,\beta}$$

de donde:

$$\beta = \frac{2,663 - \log P_f}{1,867}$$

Si $P_f = a \cdot 10^{-b}$

$$\beta = \frac{b + 2,663 - \log a}{1,867}$$

siendo:

- P_f la probabilidad de falla tolerable;
- β el índice de seguridad.

Tabla 1. Valores del índice de seguridad β y de la probabilidad de falla P_f .

		Consecuencias económicas					
		sin gravedad (daños locales)		graves (estructura fuera de servicio, reparable)		muy graves (ruina irreparable de la estructura)	
		β	P_f	β	P_f	β	P_f
ESTADOS LIMITE ULTIMOS mín γ_K = 1,75 *	Cantidad media de personas puestas en peligro						
	pequeña (< 0,1)	3,10	10^{-3}	3,71	10^{-4}	4,25	10^{-5}
	media	3,71	10^{-4}	4,25	10^{-5}	4,75	10^{-6}
	grande (> 10)	4,25	10^{-5}	4,75	10^{-6}	5,20	10^{-7}
ESTADOS LIMITE DE UTILIZACION mín γ_K = 1 *	Importancia estructural del estado límite	$\beta_{mín}$					
	pequeña	2,32	10^{-2}	—	—	—	—
	mediana	3,10	10^{-3}	—	—	—	—
	grande	3,71	10^{-4}	—	—	—	—

***** ver Recomendación CIRSOC 105–1982 "Superposición de acciones (Combinación de estados de cargas)".

Tabla 2. Valores de *T*.

Tipo de la estructura	Vida útil requerida
Temporaria	5 años
Normal	50 años
Monumental	500 años

CAPITULO 4. VALORES DE LOS COEFICIENTES DE VARIACION DE "R" Y "S"

4.1. ADOPCION DE LOS VALORES DE δ_R Y δ_S

Los valores de δ_R y δ_S, según las características supuestas por el proyectista para la obra y adoptadas para el proyecto, se obtendrán con las expresiones siguientes:

$$\delta_R{}^2 = \delta_M{}^2 + \delta_E{}^2 + \delta_D{}^2$$

y

$$\delta_S{}^2 = \delta_C{}^2 + \delta_A{}^2$$

siendo:

δ_R y δ_S los coeficientes de variación de ***R*** y ***S***, respectivamente;

δ_M el coeficiente que depende de las condiciones propias del material;

δ_E el coeficiente que depende de las condiciones de la ejecución de la estructura;

δ_D el coeficiente que depende de los modelos empleados en el cálculo de la resistencia;

δ_C el coeficiente que depende de las particularidades de las cargas;

δ_A el coeficiente que depende de los modelos empleados en el cálculo de las solicitaciones (análisis estructural).

Los valores de δ_M , δ_E , δ_D , δ_C y δ_A se indican en la Tabla 3 para estructuras de Hormigón Armado y Pretensado, Tabla 4 para Acero normal, Tabla 5 para Acero liviano y Tabla 6 para Madera y Mampostería.

4.2. CONFIRMACION DE LOS VALORES ADOPTADOS

Si al ejecutar la obra el constructor previera o proyectara condiciones de ejecución diferentes a las supuestas por el proyectista, deberá calcular los nuevos valores de δ_R y δ_S , en función de los coeficientes δ_M , δ_E , δ_D , δ_C y δ_A que realmente corresponden al caso, con el fin de determinar el nuevo coeficiente de seguridad con el que deberá volver a dimensionar la estructura (ver artículo 5.4.).

Tabla 3. **Valores de los coeficientes δ_M , δ_E , δ_D , δ_C y δ_A para estructuras de Hormigón Armado y Pretensado.**

Elaboración del material	δ_M	condiciones pobres 0,20	condiciones razonables 0,10	condiciones cuidadas 0,10
Ejecución de la obra	δ_E	descuidada 0,25	media 0,12	muy cuidada 0,10
Dimensionado de secciones o elementos	δ_D	empírico 0,20	simplificado 0,10	cuidadoso-exacto 0,05
Cargas	δ_C	muy variables y/o poco analizadas 0,30	aproximadamente constantes. Bien analizadas 0,15	casi constantes determinadas especialmente 0,05
Análisis estructural	δ_A	empírico o aproximado 0,25	mediante teoría simplificada 0,15	mediante teoría muy afinada 0,05

Tabla 4. **Valores de los coeficientes δ_M , δ_E , δ_D , δ_C y δ_A para estructuras de acero normal.**

Elaboración del material	δ_M	condiciones pobres —	condiciones razonables 0,075	condiciones cuidadas 0,05
Ejecución de la obra	δ_E	descuidada 0,25	media 0,12	muy cuidada 0,05
Dimensionado de secciones o elementos	δ_D	empírico —	simplificado 0,10	cuidadoso-exacto 0,05
Cargas	δ_C	muy variables y/o poco analizadas 0,30	aproximadamente constantes. Bien analizadas 0,10	casi constantes determinadas especialmente 0,05
Análisis estructural	δ_A	empírico o aproximado —	mediante teoría simplificada 0,12	mediante teoría muy afinada 0,05

Tabla 5. **Valores de los coeficientes δ_M , δ_E , δ_D , δ_C y δ_A para estructuras de acero liviano.**

Elaboración del material	δ_M	condiciones pobres ———	condiciones razonables 0,075
Ejecución de la obra	δ_E	descuidada 0,25	media 0,12
Dimensionado de secciones o ele-mentos	δ_D	empírico ———	simplificado 0,10
Cargas	δ_C	muy variables y/o poco ana-lizadas 0,30	aproximadamente constantes. Bien analizadas 0,10
Análisis estruc-tural	δ_A	empírico o aproximado 0,25	mediante teoría simplificada 0,15

Tabla 6. **Valores de los coeficientes δ_M , δ_E , δ_D , δ_C y δ_A para estructuras de madera y mampostería.**

Elaboración del material	δ_M	condiciones pobres 0,20	condiciones razonables 0,15
Ejecución de la obra	δ_E	descuidada 0,25	media 0,20
Dimensionado de secciones o ele-mentos	δ_D	empírico 0,20	simplificado 0,15
Cargas	δ_C	muy variables y/o poco ana-lizadas 0,30	aproximadamente constantes. Bien analizadas 0,15
Análisis estruc-tural	δ_A	empírico o aproximado 0,25	mediante teoría simplificada 0,15

CAPITULO 5. CALCULO DEL COEFICIENTE DE SEGURIDAD

5.1. INTRODUCCION

Con los valores de β, δ_R y δ_S determinados de acuerdo con los capítulos anteriores se calculará, según el coeficiente de seguridad adoptado por el Reglamento particular que se aplique:

$$\gamma_0 = e^{\beta\left(\delta_R{}^2 + \delta_S{}^2\right)^{1/2}}$$

$$\gamma_K \cong \gamma_0 \cdot e^{-1{,}645\,(\delta_R + \delta_S)} \cong \frac{1 - k_R \cdot \delta_R}{1 + k_S \cdot \delta_S} \cdot \gamma_0$$

$$\gamma^* \cong \frac{\gamma_0}{\gamma_m \cdot \gamma_S} \cdot e^{-1{,}645\,(\delta_R + \delta_S)} \cong \frac{1 - k_R \cdot \delta_R}{1 + k_S \cdot \delta_S} \cdot \frac{\gamma_0}{\gamma_m \cdot \gamma_S}$$

siendo:

γ_0	el coeficiente de seguridad central;
γ_K	el coeficiente de seguridad característico;
γ^*	el coeficiente de seguridad de cálculo;
β	el índice de seguridad;
δ_R y δ_S	los coeficientes de variación de ***R*** y ***S***;
k_R y k_S	los coeficientes indicados en el artículo 2.1.2.;
γ_m y γ_S	los factores de minoración de ***R*** y de mayoración de ***S***, respectivamente.

La condición de proyecto será la de dimensionar de modo tal que se cumpla, según cual sea el coeficiente de seguridad adoptado, para toda sección y/o elemento de la estructura:

$$\overline{R} \geq \gamma_0 \cdot \overline{S}$$

$$R_K \geq \gamma_K \cdot S_K$$

$$R^* \geq \gamma^* \cdot S^*$$

siendo:

- $\overline{R}$ el valor medio de la resistencia de una sección o de un elemento estructural;
- R_K el valor característico de la resistencia de una sección o de un elemento estructural;
- R^* el valor de cálculo de la resistencia de una sección o de un elemento estructural;
- γ_0 el coeficiente de seguridad central;
- γ_K el coeficiente de seguridad característico;
- γ^* el coeficiente de seguridad de cálculo;
- $\overline{S}$ el valor medio de la solicitación de la misma sección o de un elemento estructural;
- S_K el valor característico de la solicitación de la misma sección o de un elemento estructural;
- S^* el valor de cálculo de la solicitación de la misma sección o de un elemento estructural.

En casos mixtos, por ejemplo si se quisiera que: $R^* \geq \gamma_i \cdot S_K$ ó $R_K \geq \gamma_j \cdot S^*$ deberá calcularse el γ correspondiente, a partir de γ_0 y expresiones análogas a las de γ_K y γ^* que es fácil deducir.
Es indispensable utilizar el mismo tipo de γ que adopta el Reglamento particular que se aplique y para los mismos estados límite.

5.2. VALORES MINIMOS DE γ

Cualquiera sea el valor de γ calculado, el que dé el Reglamento particular que se aplique deberá considerarse como un mínimo.
Es decir, que si el Reglamento particular que se usa establece un γ_0 ó γ_K ó γ^* inferior al dado por las expresiones del artículo 4.1., se adoptará el mayor de los dos valores.

5.3. VALORES MAXIMOS DE γ

Se establece que todo valor de γ_0 superior a **6,5** no podrá utilizarse debiendo mejorarse las condiciones de proyecto o de ejecución en forma tal que los δ_R y δ_S disminuyan y con ellos el γ_0.
Los valores máximos de γ_K y γ^* son los que resultan de aplicar las siguientes expresiones:

$$\text{máx. } \gamma_K \cong 6,50 \cdot \frac{1 - k_R \cdot \delta_R}{1 + k_S \cdot \delta_S} \cong 6,50 \cdot e^{-1,645\,(\delta_R + \delta_S)}$$

$$\text{máx. } \gamma^* \cong 6,50 \cdot \frac{1 - k_R \cdot \delta_R}{1 + k_S \cdot \delta_S} \cdot \frac{1}{\gamma_m \cdot \gamma_S} \cong 6,50 \cdot \frac{1}{\gamma_m \cdot \gamma_S} \cdot e^{-1,645\,(\delta_R + \delta_S)}$$

siendo:

γ_K	el coeficiente de seguridad característico;
γ^*	el coeficiente de seguridad de cálculo;
δ_R y δ_S	los coeficientes de variación de $\boldsymbol{R}$ y $\boldsymbol{S}$;
$\boldsymbol{k_R}$ y $\boldsymbol{k_S}$	los coeficientes indicados en el artículo 2.1.2.;
γ_m y γ_S	los factores de minoración de $\boldsymbol{R}$ y de mayoración de $\boldsymbol{S}$, respectivamente.

5.4. CONFIRMACION DE LOS VALORES ADOPTADOS

Si al ejecutar la obra el Constructor previera o proyectara condiciones de ejecución diferentes a las supuestas por el proyectista, deberá redimensionar el coeficiente de seguridad con los nuevos valores de δ_R y δ_S obtenidos de acuerdo con el Capítulo 4. Con este nuevo valor del coeficiente de seguridad deberá recalcular la estructura.

5.5. VARIANTE AL CÁLCULO DE γ

No es necesario calcular γ de acuerdo con esta Recomendación, si se adoptan los siguientes valores:

5.5.1. Para el Reglamento CIRSOC 201–1984 "Proyecto, cálculo y ejecución de estructuras de Hormigón Armado y Pretensado".

a) $\gamma = 2{,}70$ tanto para rotura por acero dúctil como para rotura por hormigón (frágil)

b) $\gamma = 1{,}75$ para rotura por acero y $\gamma = 2{,}10$ para rotura por hormigón siempre que la estructura analizada cumpla las condiciones de la Tabla 1, sin exceder el valor tope de $\beta = 3{,}71$.

5.5.2. Para el Reglamento CIRSOC 301–1982 "Proyecto, cálculo y ejecución de estructuras de Acero para edificios", los valores de γ que se establecen en la Tabla 6 de dicho Reglamento.

5.5.3. Para la Recomendación CIRSOC 303–1991 "Estructuras livianas de acero", $\gamma = 1{,}6$.

COMENTARIOS A LA RECOMENDACION CIRSOC 106 SOBRE DIMENSIONAMIENTO DEL COEFICIENTE DE SEGURIDAD

1. GENERALIDADES

Los Reglamentos particulares CIRSOC – ediciones vigentes entre 1982 y 1997 – aplicables a las estructuras de hormigón armado y pretensado y de acero definen el coeficiente de seguridad (que llamaremos γ) para una sección o para una tensión (∗) como un factor mayor que la unidad que incrementando la solicitación debe cumplir la relación:

$$\boldsymbol{R} \geq \gamma \cdot \boldsymbol{S} \quad \text{ó} \quad \boldsymbol{R}/\boldsymbol{S} \geq \gamma$$

siendo:

- ***R*** el valor de la resistencia en una sección o de la tensión de rotura o de fluencia según corresponda;
- ***S*** el valor de la solicitación en la misma sección o de la tensión que da el cálculo estructural;
- γ el coeficiente de seguridad.

En esta desigualdad ***R*** y ***S*** deben ser valores diferentes de una misma magnitud y γ un coeficiente mayor que uno que cubre ignorancias e incertidumbres en dichos valores. Los valores de γ dados por los Reglamentos son adoptados independientemente de la evaluación cuantitativa de dichas ignorancias e incertidumbres.

Si consideramos valores medios de ***R*** y ***S*** obtendremos el "coeficiente de seguridad central"

$$\gamma_0 = \frac{\overline{\boldsymbol{R}}}{\overline{\boldsymbol{S}}}$$

(∗) En rigor, en un planteo más general ***R*** podría ser la resistencia de la estructura, lo que traería aparejada la consideración de sus "modos" de colapso. Este planteo más general permitiría un mayor y mejor aprovechamiento de la capacidad de las estructuras para soportar cargas, la que en general se agota con el colapso de varias secciones o elementos, lo que no es considerado en los Reglamentos CIRSOC particulares – ediciones vigentes entre 1982 y 1997.

siendo:

$\overline{R}$ el valor medio de R;
$\overline{S}$ el valor medio de S;
γ_0 el coeficiente de seguridad central.

Si en cambio se consideran valores característicos de R y S obtendremos el coeficiente de seguridad característico

$$\gamma_K = \frac{R_K}{S_K}$$

siendo:

γ_K el coeficiente de seguridad característico;
R_K el valor característico de R, dado por:

$$R_K \cong \overline{R}\left(1 - 1{,}645\ \delta_R\right) \quad \text{y para LN} \quad R_K \cong \overline{R} \cdot e^{-1{,}645\ \delta_R}$$

S_K el valor característico de S, dado por:

$$S_K \cong \overline{S}\left(1 + 1{,}645\ \delta_S\right) \quad \text{y para LN} \quad S_K \cong \overline{S} \cdot e^{1{,}645\ \delta_S}$$

con:

$\overline{R}$ y $\overline{S}$ los valores medios de R y S, respectivamente;
δ_R y δ_S los coeficientes de variación de R y S, respectivamente.

Aún cabe la posibilidad de tomar para R y/o S valores de cálculo que resultan de minorar las resistencias y mayorar las solicitaciones características, teniéndose un nuevo valor del coeficiente de seguridad:

$$\gamma^* = \frac{R^*}{S^*}$$

siendo:

γ^* el coeficiente de seguridad de cálculo;
R^* el valor de cálculo de R, dado por:

$$R^* = \frac{R_K}{\gamma_m}$$

S^* el valor de cálculo de S, dado por:

$$S^* = \gamma_S \cdot S_K$$

con:

R_K y S_K los valores característicos de R y S, respectivamente;

γ_m y γ_S los coeficientes de minoración de R y mayoración de S, respectivamente.

Evidentemente para un mismo problema será siempre:

$$\gamma_0 > \gamma_K > \gamma^*$$

siendo:

γ_0 el coeficiente de seguridad central;

γ_K el coeficiente de seguridad característico;

γ^* el coeficiente de seguridad de cálculo.

Como es sabido el planteo probabilista de la seguridad nos permite obtener el valor de un límite de seguridad β en función de la probabilidad de falla P_f o de la confiabilidad $P_S = 1 - P_f$.

Se obtiene:

$$\beta = \frac{\ell_n \gamma_0}{\sqrt{\delta_R^2 + \delta_S^2}}$$

siendo:

β el índice de seguridad;

γ_0 el coeficiente de seguridad central;

δ_R y δ_S los coeficientes de variación de R y S.

y de aquí:

$$\gamma_0 = e^{\beta \left(\delta_R^2 + \delta_S^2\right)^{1/2}}$$

$$\gamma_K = \frac{R_K}{S_K} \cong \gamma_0 \cdot e^{-1,645\,(\delta_S + \delta_R)} \cong \gamma_0 \cdot \frac{1 - k_R\ \delta_R}{1 + k_S\ \delta_S} = \frac{1 - k_R\ \delta_R}{1 + k_S\ \delta_S} \cdot e^{\beta \left(\delta_R^2 + \delta_S^2\right)^{1/2}}$$

$$\gamma^* = \frac{R^*}{S^*} \cong \frac{\gamma_0}{\gamma_m\,\gamma_S} \cdot e^{-1,645\,(\delta_R + \delta_S)} \cong \gamma_K \cdot \frac{1}{\gamma_m\,\gamma_S} = \gamma_0\,\frac{1-k_R\,\delta_R}{1+k_S\,\delta_S} \cdot \frac{1}{\gamma_m\,\gamma_S} = \frac{1-k_R\,\delta_R}{1+k_S\,\delta_S} \cdot e^{\beta\left(\delta_R{}^2 + \delta_S{}^2\right)^{1/2}} \cdot \frac{1}{\gamma_m\,\gamma_S}$$

siendo:

γ_0	el coeficiente de seguridad central;
β	el índice de seguridad;
δ_R y δ_S	los coeficientes de variación de ***R*** y ***S***;
γ_K	el coeficiente de seguridad característico;
R_K y S_K	los valores característicos de ***R*** y ***S***;
k_R y k_S	los coeficientes indicados en el artículo 2.1.2.;
R^* y S^*	los valores de cálculo de ***R*** y ***S***;
γ_m y γ_S	los coeficientes de minoración de ***R*** y mayoración de ***S***, respectivamente.

Los valores de k_R y k_S si se toman al percentil ***5%*** como es usual, resultan tener un valor igual a ***1,645***.
Resulta pues, que los diferentes coeficientes de seguridad son funciones de β , δ_R y δ_S , o sea de la P_f "tolerada" y de los coeficientes de variación de ***R*** y ***S***.
Una expresión aproximada de γ_0 , linealizando el exponente de "***e***":

$$\gamma_0 \cong e^{\alpha_{RS}\,\beta\,(\delta_R + \delta_S)}$$

permite obtener:

$$\overline{R} \geq \gamma_0\,\overline{S} \qquad\qquad \overline{R} \geq e^{\alpha_{RS}\,\beta\,\delta_R}\;e^{\alpha_{RS}\,\beta\,\delta_S}\;\overline{S}$$

$$\overline{R}\,e^{-\alpha_{RS}\,\beta\,\delta_R} \geq \overline{S}\,e^{\alpha_{RS}\,\beta\,\delta_S}$$

$$\overline{R}\,\phi \geq \overline{S}\,\theta \qquad \therefore \qquad \gamma_0 = \frac{\theta}{\phi} = \frac{e^{\alpha_{RS}\,\beta\,\delta_S}}{e^{-\alpha_{RS}\,\beta\,\delta_R}}$$

siendo:

γ_0	el coeficiente de seguridad central;
β	el índice de seguridad;
α_{RS}	el factor de linealización;
δ_R y δ_S	los coeficientes de variación de ***R*** y ***S***;
$\overline{R}$ y $\overline{S}$	los valores medios de ***R*** y ***S***.

A: $\phi = e^{-\alpha_{RS}\,\beta\,\delta_R}$ y a $\theta = e^{\alpha_{RS}\,\beta\,\delta_S}$ suele llamárseles, respectivamente, coeficientes de minoración de resistencia y de mayoración de solicitación.
Análogamente puede obtenerse:

$$\gamma_K = \frac{\theta_K}{\phi_K} = \frac{e^{\alpha_{RS}\,\beta\,\delta_S}}{e^{-\alpha_{RS}\,\beta\,\delta_R}} \cdot \frac{1 - k_R\,\delta_R}{1 + k_S\,\delta_S}$$

$$\theta_K = \frac{e^{\alpha_{RS}\,\beta\,\delta_S}}{1 + k_S\,\delta_S} \qquad \phi_K = \frac{e^{-\alpha_{RS}\,\beta\,\delta_R}}{1 - k_R\,\delta_R}$$

$$\gamma^* = \frac{\theta^*}{\phi^*} = \frac{e^{\alpha_{RS}\,\beta\,\delta_S}}{e^{-\alpha_{RS}\,\beta\,\delta_R}} \cdot \frac{1 - k_R\,\delta_R}{1 + k_S\,\delta_S} \cdot \frac{1}{\gamma_m\,\gamma_S}$$

$$\theta^* = \frac{e^{\alpha_{RS}\,\beta\,\delta_S}}{(1 + k_S\,\delta_S)\,\gamma_S} \qquad \phi^* = \frac{e^{-\alpha_{RS}\,\beta\,\delta_R}}{(1 - k_R\,\delta_R)}\,\gamma_m$$

siendo:

γ_K	el coeficiente de seguridad característico;
α_{RS}	el factor de linealización;
β	el índice de seguridad;
δ_R y δ_S	los coeficientes de variación de R y S;
k_R y k_S	los coeficientes indicados en el artículo 2.1.2.;
γ_m y γ_S	los coeficientes de minoración de R y mayoración de S;
γ^*	el coeficiente de seguridad de cálculo;
ϕ_K	el coeficiente de minoración de R_K;
θ_K	el coeficiente de mayoración de S_K;
ϕ^*	el coeficiente de minoración de R^*;
θ^*	el coeficiente de mayoración de S^*.

Si se tuviera como en el Reglamento Mejicano o el de la ACI (318/77) un coeficiente ϕ de minoración de resistencia y varios θ_i ($i = 1, \ldots, n$) de mayoración de solicitaciones, fijados con criterio probabilístico cualitativo, se pasaría a las expresiones con un γ único de la siguiente manera:

$$\phi\,R \geq \theta_1\,S_1 + \theta_2\,S_2 + \ldots\ldots + \theta_n\,S_n$$

$$R \geq \frac{\theta_1}{\phi}\,S_1 + \frac{\theta_2}{\phi}\,S_2 + \ldots\ldots + \frac{\theta_n}{\phi}\,S_n$$

$$R \geq \gamma_1\,S_1 + \gamma_2\,S_2 + \ldots\ldots + \gamma_n\,S_n$$

$$S = S_1 + S_2 + \ldots\ldots + S_n$$

$$\gamma_1\, S_1 + \gamma_2\, S_2 + \ldots\ldots. + \gamma_n\, S_n = \gamma\, S$$

$$\gamma = \gamma_1 \frac{S_1}{S} + \gamma_2 \frac{S_2}{S} + \ldots\ldots. + \gamma_n \frac{S_n}{S} = \gamma_1\, k_1 + \gamma_2\, k_2 + \ldots\ldots. + \gamma_n\, k_n$$

$$R \geq \gamma\, S = \left(\gamma_1\, k_1 + \gamma_2\, k_2 + \ldots\ldots. + \gamma_n\, k_n\right) S$$

$$\boxed{\gamma = \frac{\theta_1}{\phi}\, k_1 + \frac{\theta_2}{\phi}\, k_2 + \ldots\ldots. + \frac{\theta_n}{\phi}\, k_n}$$

y como

$$\theta\, S = \theta_1\, S_1 + \theta_2\, S_2 + \ldots\ldots. + \theta_n\, S_n$$

$$\theta = \theta_1 \frac{S_1}{S} + \theta_2 \frac{S_2}{S} + \ldots\ldots. + \theta_n \frac{S_n}{S}$$

$$\boxed{\theta = \theta_1\, k_1 + \theta_2\, k_2 + \ldots\ldots. + \theta_n\, k_n}$$

resulta:

$$\gamma = \frac{\theta}{\phi}$$

2. CALCULO DEL COEFICIENTE DE SEGURIDAD

Observando las expresiones que dan los valores de γ_0 , γ_K y γ^* se llega a la conclusión de que fijado un valor de la P_f "tolerable" (y por lo tanto del "índice de seguridad " β) y conocidos los coeficientes de variación de R y S puede determinarse el valor del "coeficiente de seguridad" que nos garantice un proyecto con la confiabilidad deseada.

Nótese que elegir un valor de γ sin conocer los valores de δ_R y δ_S , que serán medidas de la precisión y el cuidado con que se trabaje en la obra y en el proyecto, respectivamente, puede llevar a estructuras de diferente confiabilidad, la que no es expresada por dicho coeficiente de seguridad, pudiendo llegarse con facilidad a situaciones lindantes con la falla. Puede llegar a ocurrir inclusive que con determinados valores de δ_R y δ_S sea imposible lograr la confiabilidad deseada con valores económicamente aceptables de γ.

Conocidos por relevamientos en la realidad los valores usuales de δ_R y δ_S en determinado medio, puede llegar a deducirse el valor de β, y por lo tanto P_f que admite implícitamente un reglamento dictado para dicho medio, al fijar un valor de γ.
Adoptar los γ de un reglamento dictado para un medio tecnológicamente avanzado, en otro que lo es menos y en el que por tanto, resultarán valores de δ_R y δ_S mayores, implica lisa y llanamente aceptar una P_f mayor, o lo que es lo mismo, construir estructuras menos confiables, lo que implica riesgos mayores.
Como entre nosotros se suelen adoptar normas de países tecnológicamente más avanzados, estaríamos corriendo el riesgo recién anotado. Al adoptar estas normas, deberíamos en conciencia, dar a los coeficientes de seguridad por ellas establecidos, el carácter de mínimos, debiendo determinarse el valor del coeficiente que deberá ser adoptado en los cálculos, fijado P_f y obtenidos los valores de δ_R y δ_S correspondientes.
Esto último es lo que se propone en la Recomendación CIRSOC 106–1982 "Dimensionamiento del coeficiente de seguridad".
Para el caso de superposición de acciones, por aplicación reiterada del coeficiente de linealización se obtendría:

a) si:

$$S = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 \quad ; \quad k_i = \frac{\overline{S}_i}{\overline{S}} \quad (i = 1 ; .....; 4)$$

$$\delta_S = \alpha_1\, k_1\, \delta_{S1} + \alpha_1\, \alpha_2\, k_2\, \delta_{S2} + \alpha_1\, \alpha_2\, \alpha_3 \left(k_3\, \delta_{S3} + k_4\, \delta_{S4} \right)$$

$$\theta = e^{\beta\, [\alpha_1\, k_1\, \delta_{S1} + \alpha_1\, \alpha_2\, k_2\, \delta_{S2} + \alpha_1\, \alpha_2\, \alpha_3\, (k_3\, \delta_{S3} + k_4\, \delta_{S4})]\, \alpha_{RS}}$$

$$\theta = \eta_1\, \eta_2\, \eta_3\, \eta_4 \quad \text{con} \quad \eta_1 = e^{\beta\, \alpha_1\, k_1\, \delta_{S1}\, \alpha_{RS}} \text{ ; etc.}$$

En que los η_i ($i = 1$; …; n) son los coeficientes de mayoración de cada S_i ($i = 1$;...; n), en este caso calculados probabilísticamente.

b) si:

$$S = \psi_1\, S_1 + \psi_2\, S_2 + \psi_3\, S_3 + \psi_4\, S_4$$

$$\delta_S = \alpha_1\, k_1\, \psi_1\, \delta_{S1} + \alpha_1\, \alpha_2\, k_2\, \psi_2\, \delta_{S2} + \alpha_1\, \alpha_2\, \alpha_3 \left(k_3\, \psi_3\, \delta_{S3} + k_4\, \psi_4\, \delta_{S4} \right)$$

c) si se tratara de valores últimos $\gamma\, S = S_u = \gamma_1\, S_1 + \gamma_2\, S_2 + \gamma_3\, S_3 + \gamma_4\, S_4$ resultaría:

$$\delta_S = \alpha_1\, k_1\, \gamma_1\, \delta_{S1} + \alpha_1\, \alpha_2\, k_2\, \gamma_2\, \delta_{S2} + \alpha_1\, \alpha_2\, \alpha_3 \left(k_3\, \gamma_3\, \delta_{S3} + k_4\, \gamma_4\, \delta_{S4} \right)$$

La relación entre los γ_i ($i = 1$; …; 4) parciales fijados en forma probabilística cualitativa y el γ único resulta de :

$$\gamma_1\, S_1 + \gamma_2\, S_2 + \gamma_3\, S_3 + \gamma_4\, S_4 = \gamma\, S$$

con:

$$S = S_1 + S_2 + S_3 + S_4$$

$$\gamma = \gamma_1 \frac{S_1}{S} + \gamma_2 \frac{S_2}{S} + \gamma_3 \frac{S_3}{S} + \gamma_4 \frac{S_4}{S}$$

$$\gamma = \gamma_1\, k_1 + \gamma_2\, k_2 + \gamma_3\, k_3 + \gamma_4\, k_4$$

d) si se tratara de valores últimos de combinación, resultaría:

$$\delta_S = \alpha_1\, k_1\, \gamma_1\, \psi_1\, \delta_{S1} + \alpha_1\, \alpha_2\, k_2\, \gamma_2\, \psi_2\, \delta_{S2} + \alpha_1\, \alpha_2\, \alpha_3 \left(\gamma_3\, \psi_3\, k_3\, \delta_{S3} + \gamma_4\, \psi_4\, k_4\, \delta_{S4} \right)$$

Adoptando para los α_i el valor aproximado ***0,75*** y suponiendo $\delta_{Si} = 0{,}20$, $k_i = 0{,}26$, resultaría:

$$\alpha_1 = 0{,}75 \qquad \alpha_1\, \alpha_2 \cong 0{,}56 \qquad \alpha_1\, \alpha_2\, \alpha_3 \cong 0{,}42$$

y $\quad \delta_S = 0{,}75\, \delta_{S1}\, k_1 + 0{,}56\, \delta_{S2}\, k_2 + 0{,}42 \left(\delta_{S3}\, k_3 + \delta_{S4}\, k_4 \right)$

ó $\quad \delta_S = 0{,}187\, \delta_{S1} + 0{,}14\, \delta_{S2} + 0{,}105 \left(\delta_{S3} + \delta_{S4} \right)$

Aumentando la cantidad de solicitaciones superpuestas disminuyen sus contribuciones al δ_S de la solicitación resultante $\overline{S} = \overline{S}_1 + \overline{S}_2 + \overline{S}_3 + \overline{S}_4$.

3. VALORES DE LA PROBABILIDAD DE FALLA "TOLERABLE"

En el Boletín 124/125-F del CEB se proponen a título tentativo los valores de P_f (anexo I página 55) para los estados límite últimos y referidos a la vida útil de la estructura, que se transcriben en la Tabla 1 de la Recomendación CIRSOC 106–1982.
Fijando un riesgo personal de muerte aceptable, por año de 10^{-5} deberá ser en todo caso:

$$P_f \leq \frac{T \cdot 10^{-5}}{n}$$

siendo:

- ***T*** la vida útil de la construcción;
- ***n*** la cantidad media de personas en peligro.

Según el mismo boletín 124/125-F la vida útil que debe considerarse para diferentes tipos de construcciones es (anexo I página 70) la que se indica en la Tabla 2 de la Recomendación CIRSOC 106–1982.
Para los estados límite de utilización da como valores aceptables de P_f hasta 10^{-2} ($\beta = 2,32$). Se ha adoptado $\beta_{mín} = 2,32$.
En la bibliografía sobre el tema se han propuesto diferentes criterios para fijar P_f en un caso determinado.

4. VALORES DE δ_R y δ_S

Si se considera que todas las variables que intervienen en un proyecto estructural son aleatorias, para determinar δ_R y δ_S se requerirían datos estadísticos, de los que en general no se dispone, y cálculos probabilísticos que harían imposible su uso en la práctica. Por ello se acepta normalmente un modelo simplificado debido a Cornell en el que se toma:

$$R = a \cdot M \cdot E \cdot D \qquad S = c \cdot C \cdot A$$

con

$$\overline{M} = \overline{E} = \overline{D} = 1 \qquad \overline{C} = \overline{A} = 1$$

siendo:

- ***a*** y ***c*** las constantes deterministas;
- ***M*** representa las condiciones propias del material o los materiales;
- ***E*** ídem de la ejecución de la estructura;
- ***D*** ídem de los modelos empleados en el cálculo de ***R***;
- ***C*** ídem de las cargas o acciones totales;
- ***A*** ídem de los modelos empleados en el cálculo de ***S*** (análisis estructural).

Los valores de δ_M, δ_E, δ_D, δ_C y δ_A se fijan según condiciones generales de fabricación del material, ejecución de la estructura, de los cálculos, etc.
La información bibliográfica recogida ha llevado a los valores que se indican en las Tablas 3, 4, 5 y 6 de la Recomendación CIRSOC 106–1982.
Adoptado un valor de P_f o de β y los valores correspondientes a los δ se puede calcular:

$$\delta_R^{\,2} = \delta_M^{\,2} + \delta_E^{\,2} + \delta_D^{\,2} \qquad\qquad \delta_S^{\,2} = \delta_C^{\,2} + \delta_A^{\,2}$$

y con ellos

$$\gamma_0 = e^{\beta\left(\delta_R^{\,2} + \delta_S^{\,2}\right)^{1/2}}$$

siendo:

- δ_R y δ_S los coeficientes de variación de ***R*** y ***S***;
- δ_M el coeficiente que depende de las condiciones propias del material;
- δ_E el coeficiente que depende de las condiciones de la ejecución de la estructura;
- δ_D el coeficiente que depende de los modelos empleados en el cálculo de la resistencia;
- δ_C el coeficiente que depende de las particularidades de las cargas;
- δ_A el coeficiente que depende de los modelos empleados en el cálculo de las solicitaciones (análisis estructural).

De donde puede obtenerse γ_K y γ^* según se requiera, con las expresiones de los artículos 2.1.2. y 2.1.3. de la Recomendación CIRSOC 106–1982.
Al valor de γ_0 , γ_K ó γ^* según sea el caso, así obtenido, deberá limitárselo

a) inferiormente, por el γ_0 , γ_K ó γ^* del Reglamento CIRSOC (1982 / 1997) particular adoptado;

b) superiormente, por un máximo que hace antieconómica la adopción de valores mayores. Para γ_0 se establece este máximo en ***6,50***.
   Si se obtienen valores de γ mayores que los máximos deberá tratarse de disminuir los valores de los δ mediante una ejecución y/o un proyecto más cuidados.

5. GRAFICOS $\beta - \gamma$

Las Figuras 1 a 14 muestran los gráficos $\beta - \gamma$ para diferentes tipos de estructuras y condiciones.
Las Figuras 15 y 16 muestran los gráficos de distribución normal y lognormal aproximada y exacta.

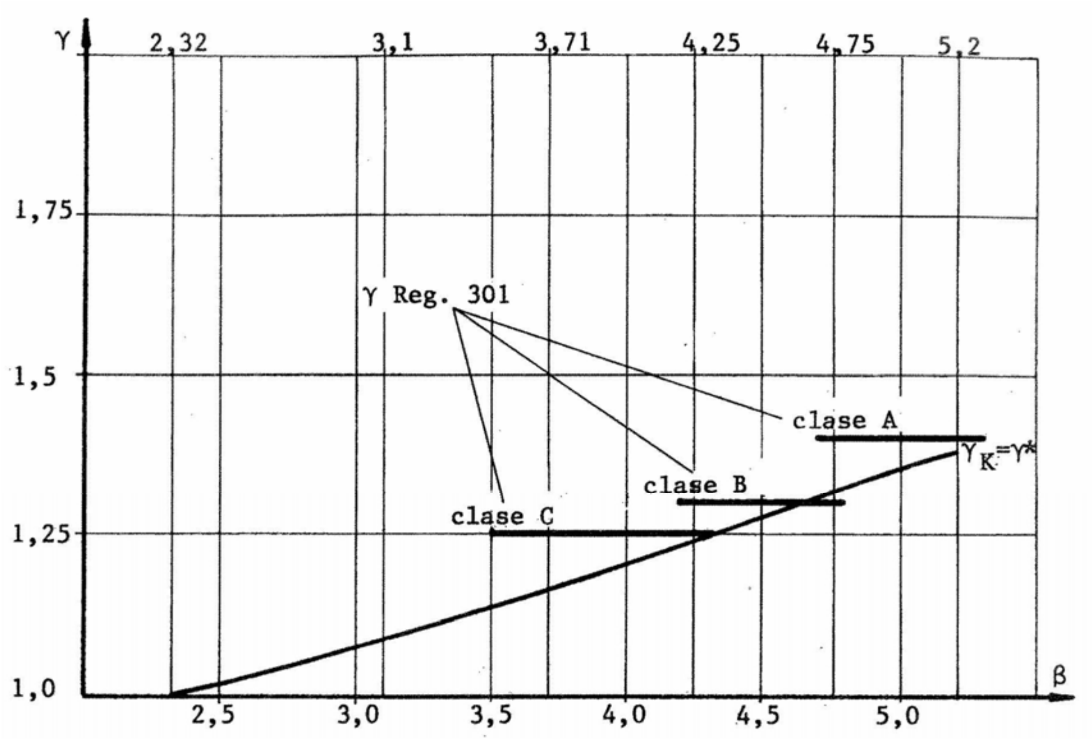


Figura 1. **Gráfico $\beta - \gamma$ para estructuras de acero normal trabajando en condiciones cuidadas (recaudos constructivos I y combinación P-S) con $\gamma_m \cdot \gamma_S = 1$ y $\delta_M = \delta_E = \delta_D = \delta_C = \delta_A = 0{,}05$.**

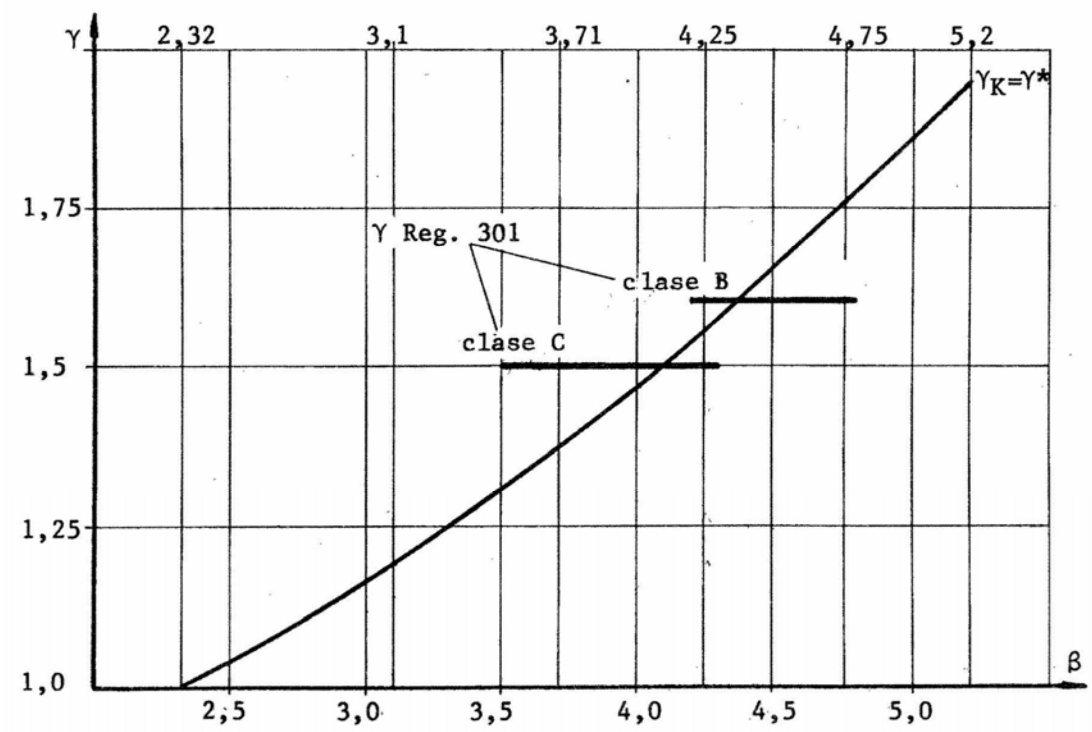


Figura 2. **Gráfico $\beta - \gamma$ para estructuras de acero normal trabajando en condiciones razonables (recaudos constructivos II y combinación P) con $\gamma_m \cdot \gamma_S = 1$ y $\delta_M = 0{,}075$, $\delta_E = 0{,}12$, $\delta_D = 0{,}1$, $\delta_C = 0{,}1$ y $\delta_A = 0{,}12$.**

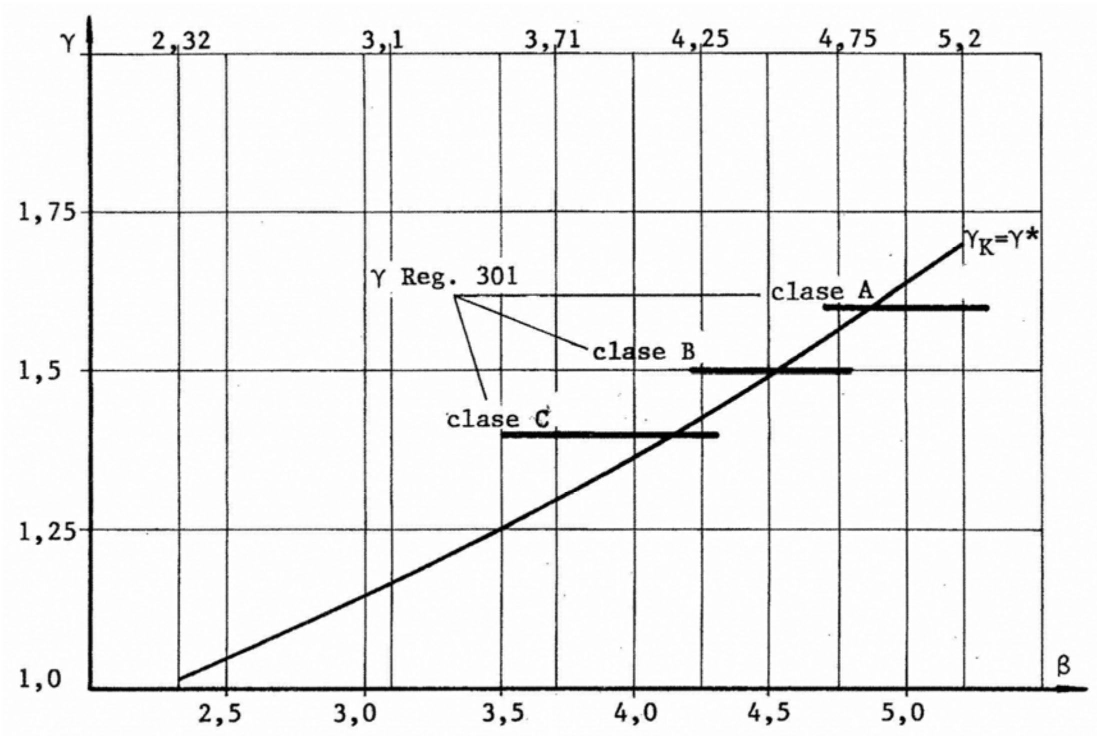


Figura 3. **Gráfico** $\beta - \gamma$ **para estructuras de acero normal trabajando en condiciones intermedias (1) (recaudos constructivos I, combinación P) con** $\gamma_m \cdot \gamma_S = 1$ **y** $\delta_M = \delta_E = \delta_D = 0{,}05$ **,** $\delta_C = 0{,}1$ **y** $\delta_A = 0{,}12$ **.**

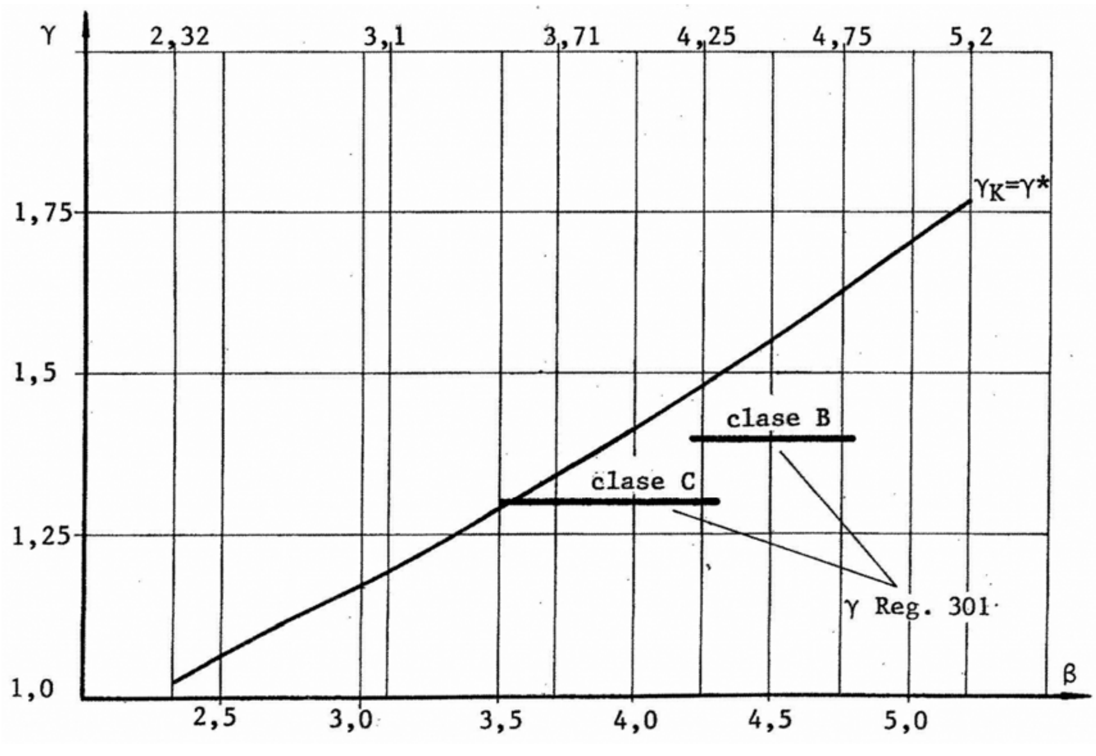


Figura 4. **Gráfico** $\beta - \gamma$ **para estructuras de acero normal trabajando en condiciones intermedias (2) (recaudos constructivos II, combinación P-S) con** $\gamma_m \cdot \gamma_S = 1$ **y** $\delta_M = 0{,}075$ **,** $\delta_E = 0{,}12$ **,** $\delta_D = 0{,}1$ **y** $\delta_C = \delta_A = 0{,}05$ **.**

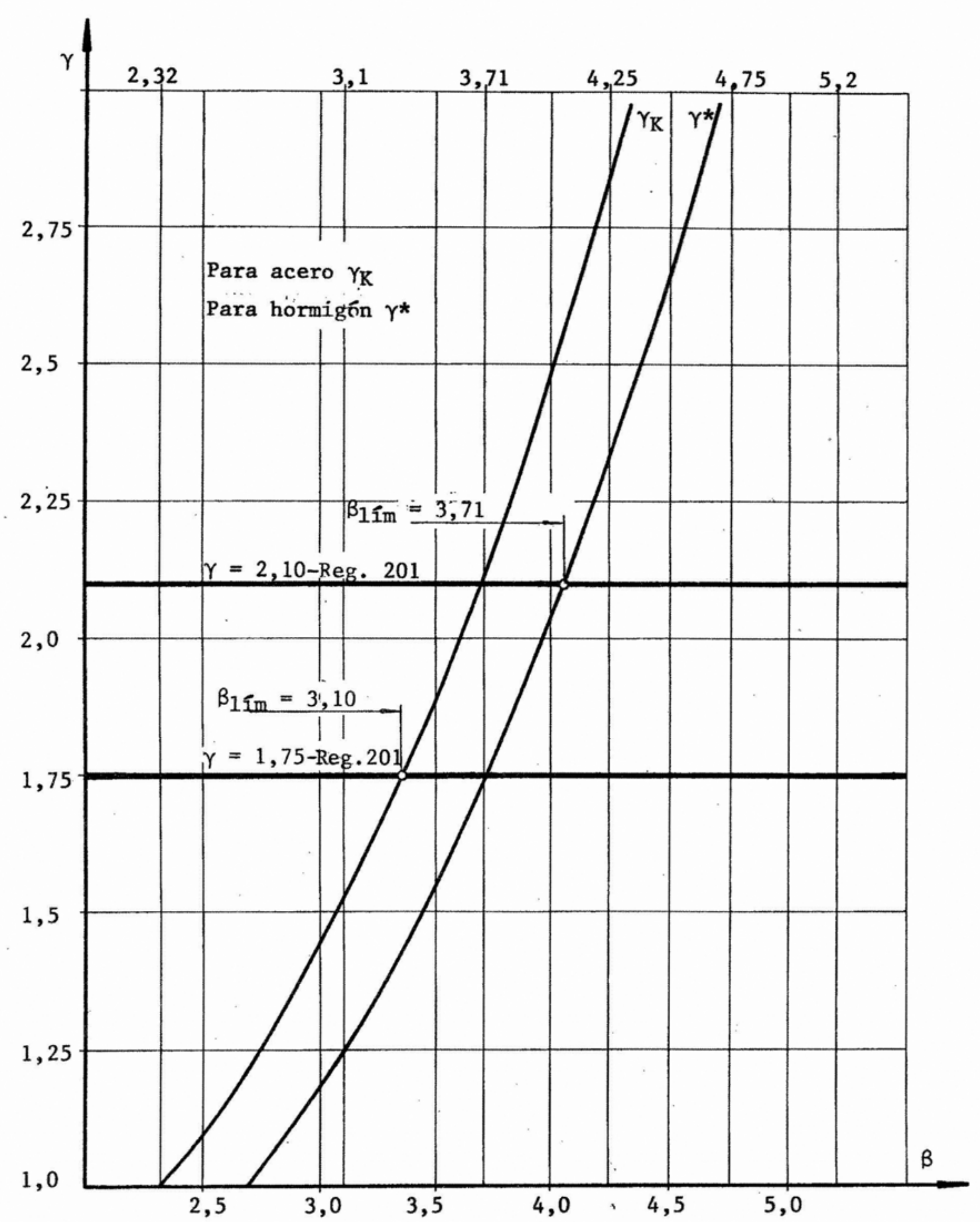


Figura 5. **Gráfico** $\beta - \gamma$ **para estructuras de hormigón armado trabajando en condiciones pobres con** $\gamma_m \cdot \gamma_S = 1{,}22$ **y** $\delta_M = 0{,}2$ **,** $\delta_E = 0{,}25$ **,** $\delta_D = 0{,}2$ **,** $\delta_C = 0{,}3$ **y** $\delta_A = 0{,}25$ **.**

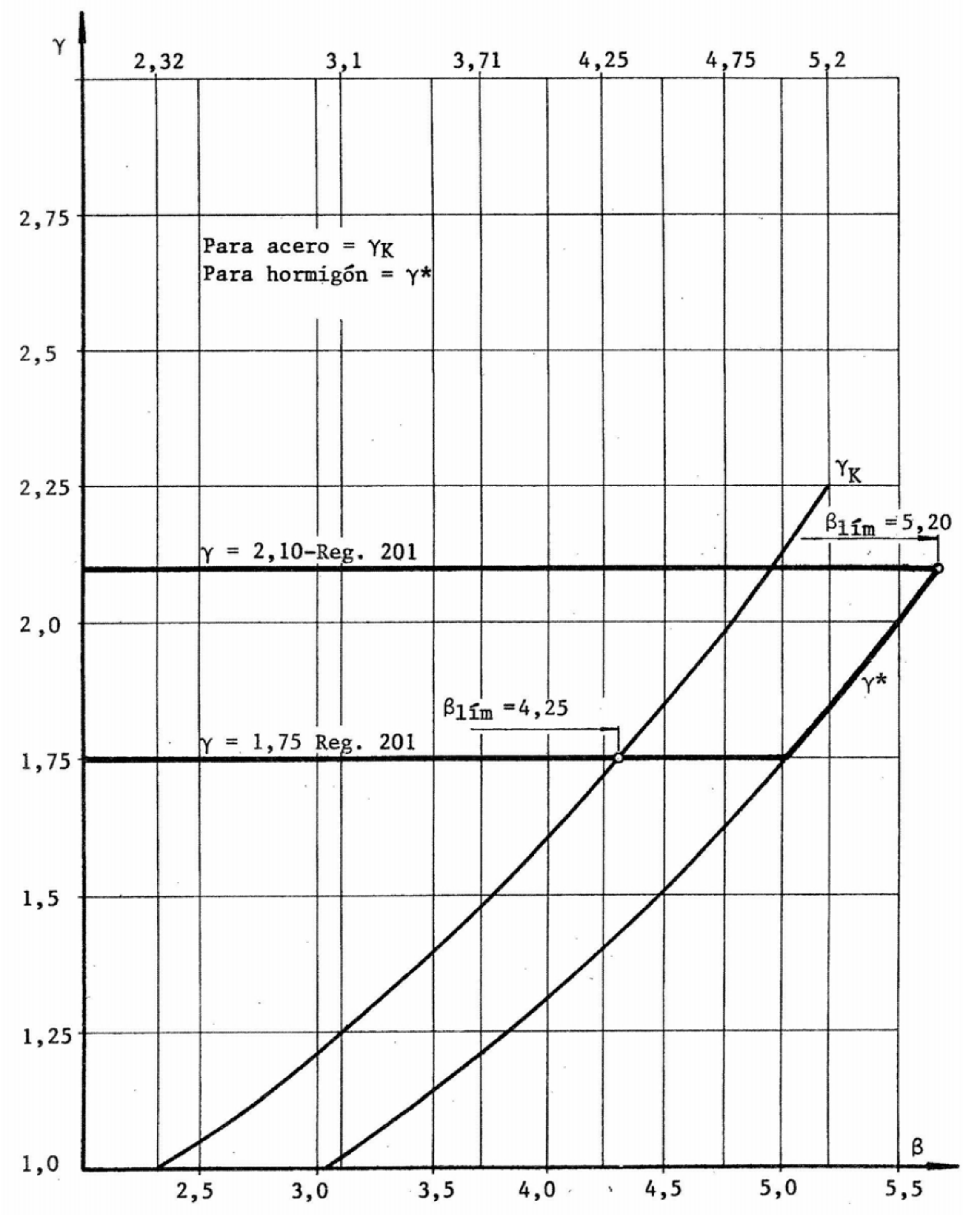


Figura 6. **Gráfico** $\beta - \gamma$ **para estructuras de hormigón armado trabajando en condiciones razonables con** $\gamma_m \cdot \gamma_S = 1{,}22$ **y** $\delta_M = 0{,}1$ **,** $\delta_E = 0{,}12$ **,** $\delta_D = 0{,}1$ **y** $\delta_C = \delta_A = 0{,}15$ **.**

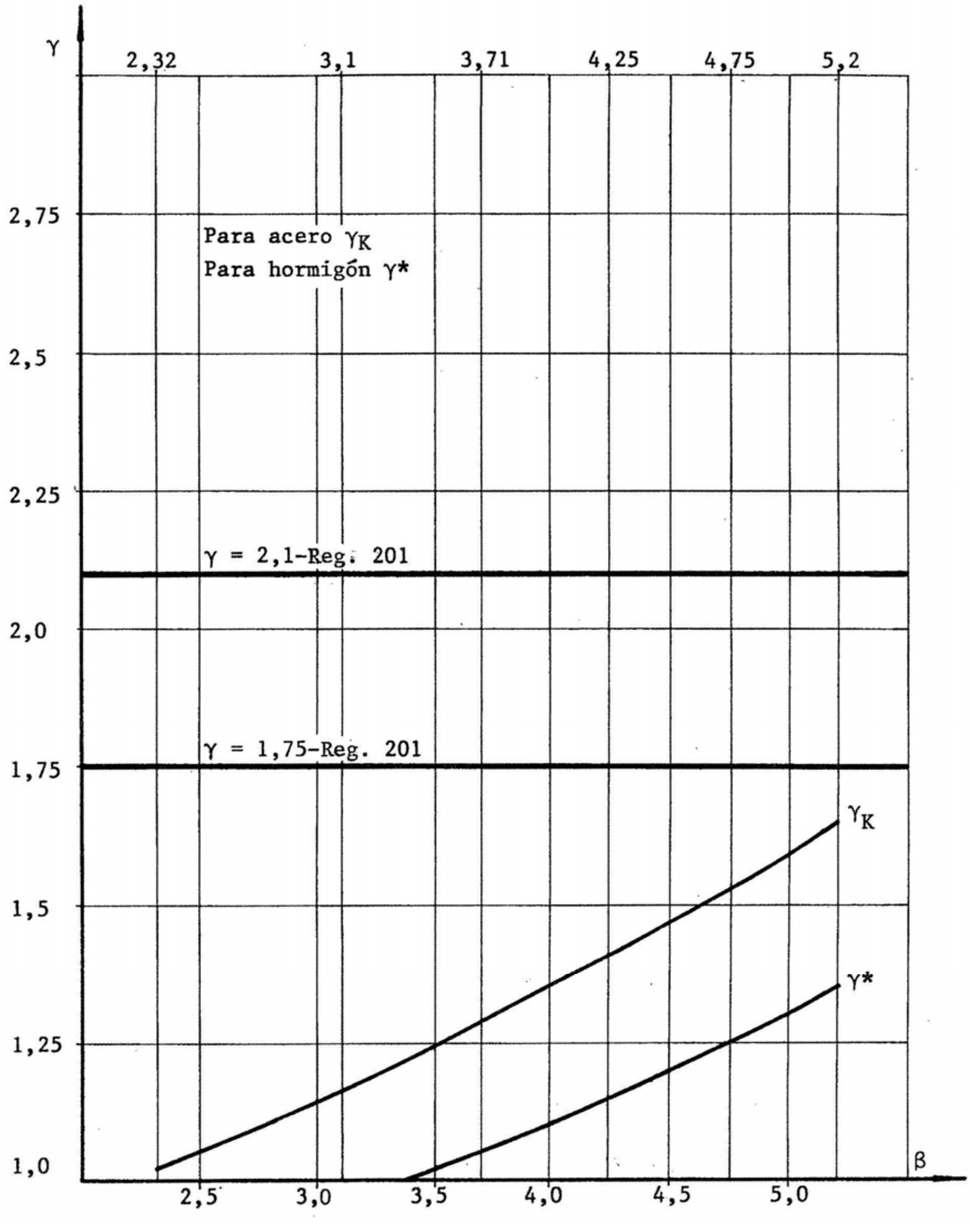


Figura 7. **Gráfico $\beta - \gamma$ para estructuras de hormigón armado trabajando en condiciones cuidadas con $\gamma_m \cdot \gamma_S = 1{,}22$ y $\delta_M = \delta_E = 0{,}1$ y $\delta_D = \delta_C = \delta_A = 0{,}05$.**

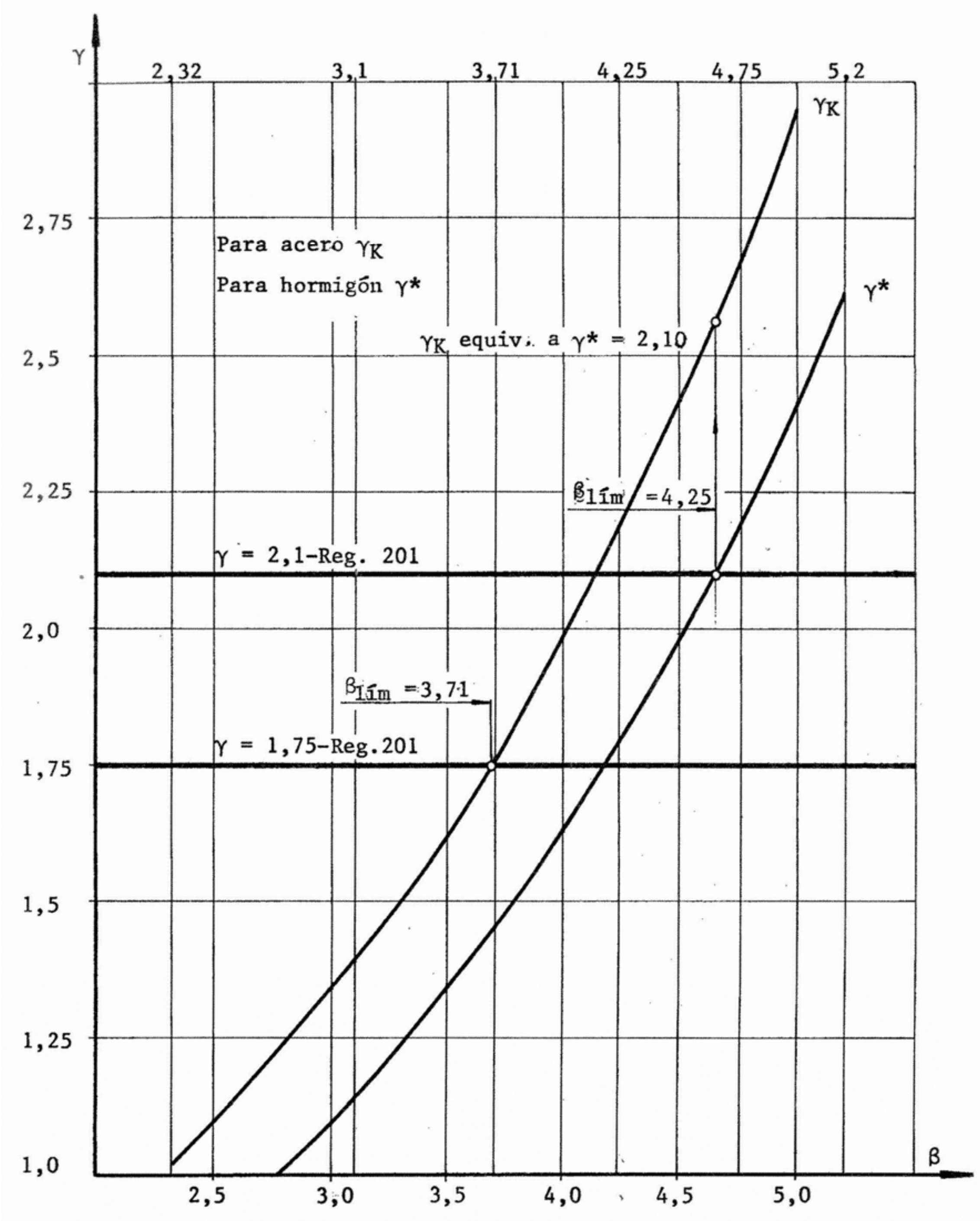


Figura 8. **Gráfico** $\beta - \gamma$ **para estructuras de hormigón armado trabajando en condiciones intermedias (1), (Proyecto bueno y empresa pobre) con** $\gamma_m \cdot \gamma_S = 1{,}22$ **y** $\delta_M = 0{,}2$ **,** $\delta_E = 0{,}25$ **,** $\delta_D = 0{,}1$ **y** $\delta_C = \delta_A = 0{,}15$ **.**

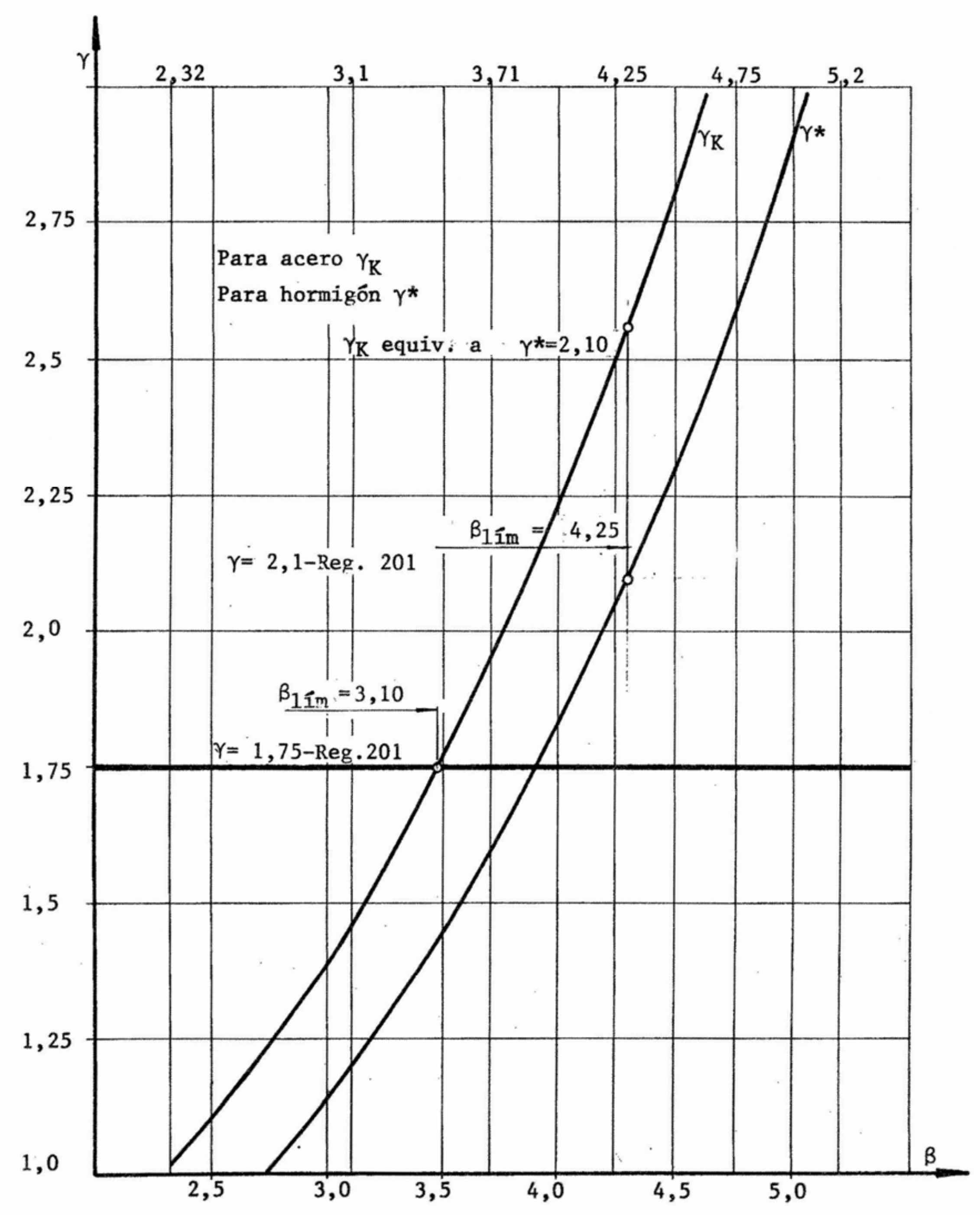


Figura 9. **Gráfico $\beta - \gamma$ para estructuras de hormigón armado trabajando en condiciones intermedias (2), (proyecto pobre y empresa buena) con $\gamma_m \cdot \gamma_S = 1{,}22$ y $\delta_M = 0{,}1$, $\delta_E = 0{,}12$, $\delta_D = 0{,}2$, $\delta_C = 0{,}3$ y $\delta_A = 0{,}25$.**

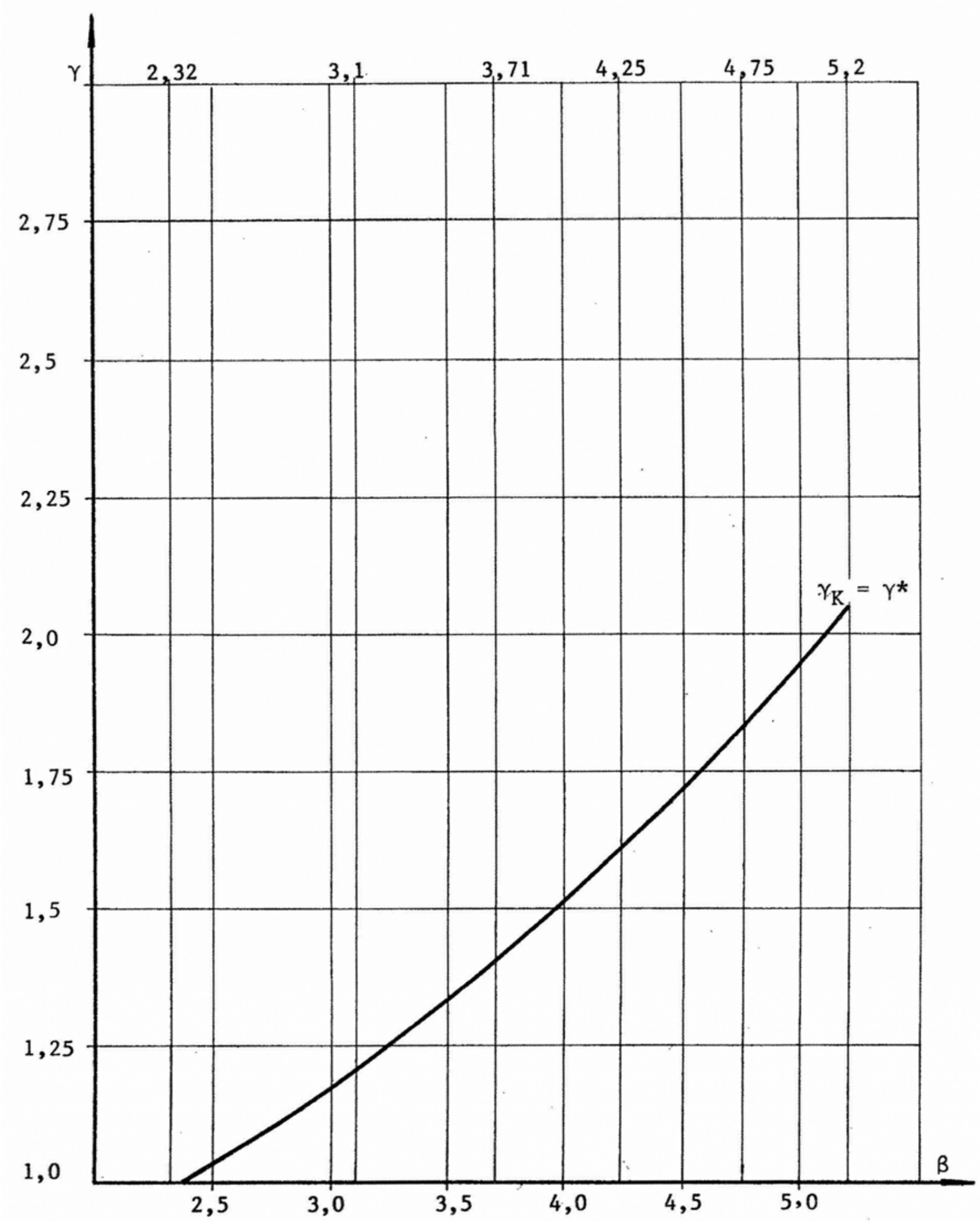


Figura 10. **Gráfico $\beta - \gamma$ para estructuras de acero liviano trabajando en condiciones razonables con $\gamma_m \cdot \gamma_S = 1$ y $\delta_M = 0{,}075$, $\delta_E = 0{,}12$, $\delta_D = 0{,}1$, $\delta_C = 0{,}1$ y $\delta_A = 0{,}15$.**

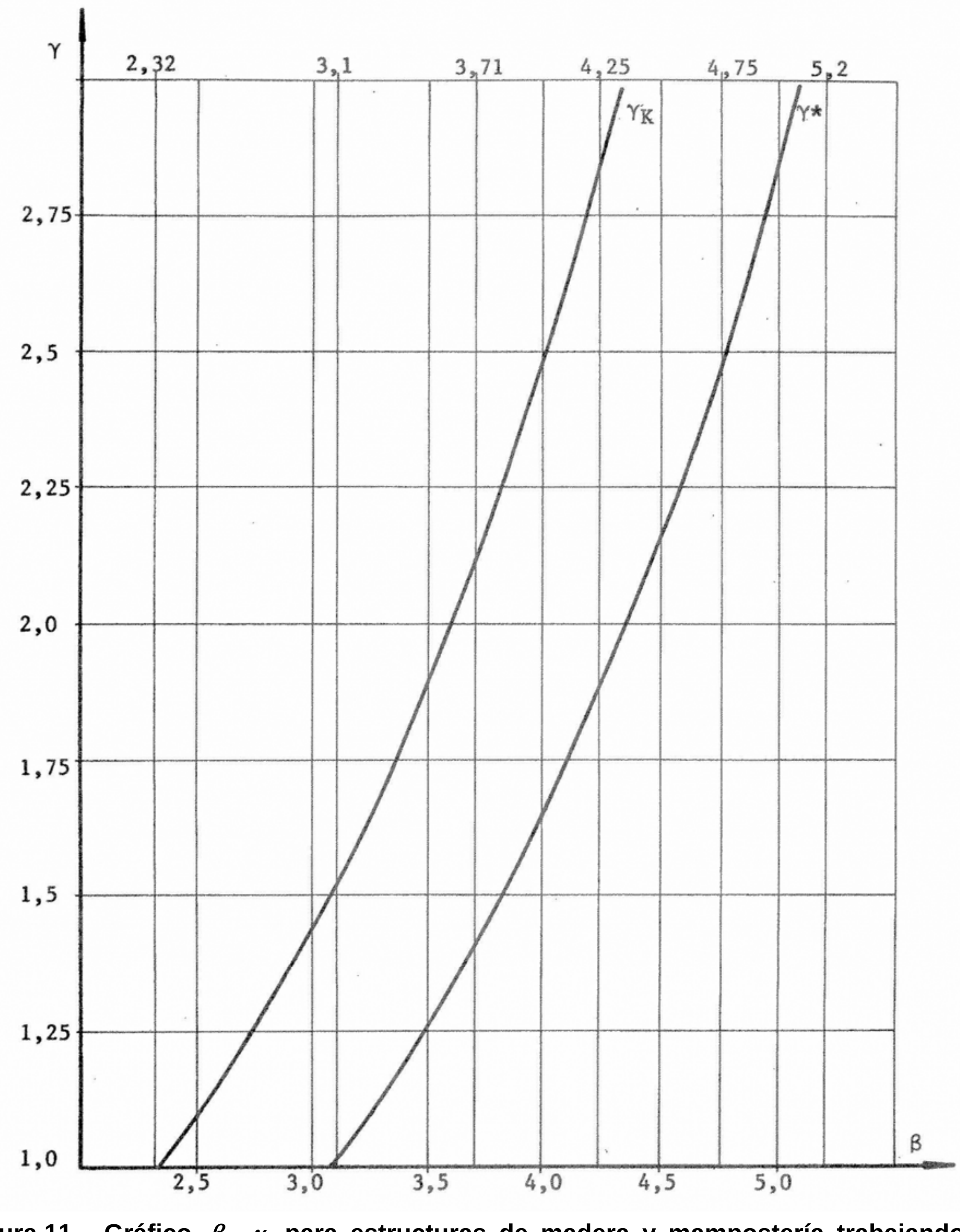


Figura 11. **Gráfico $\beta - \gamma$ para estructuras de madera y mampostería trabajando en condiciones pobres con $\gamma_m \cdot \gamma_S = 1{,}5$ y $\delta_M = 0{,}2$, $\delta_E = 0{,}25$, $\delta_D = 0{,}2$, $\delta_C = 0{,}3$ y $\delta_A = 0{,}25$.**

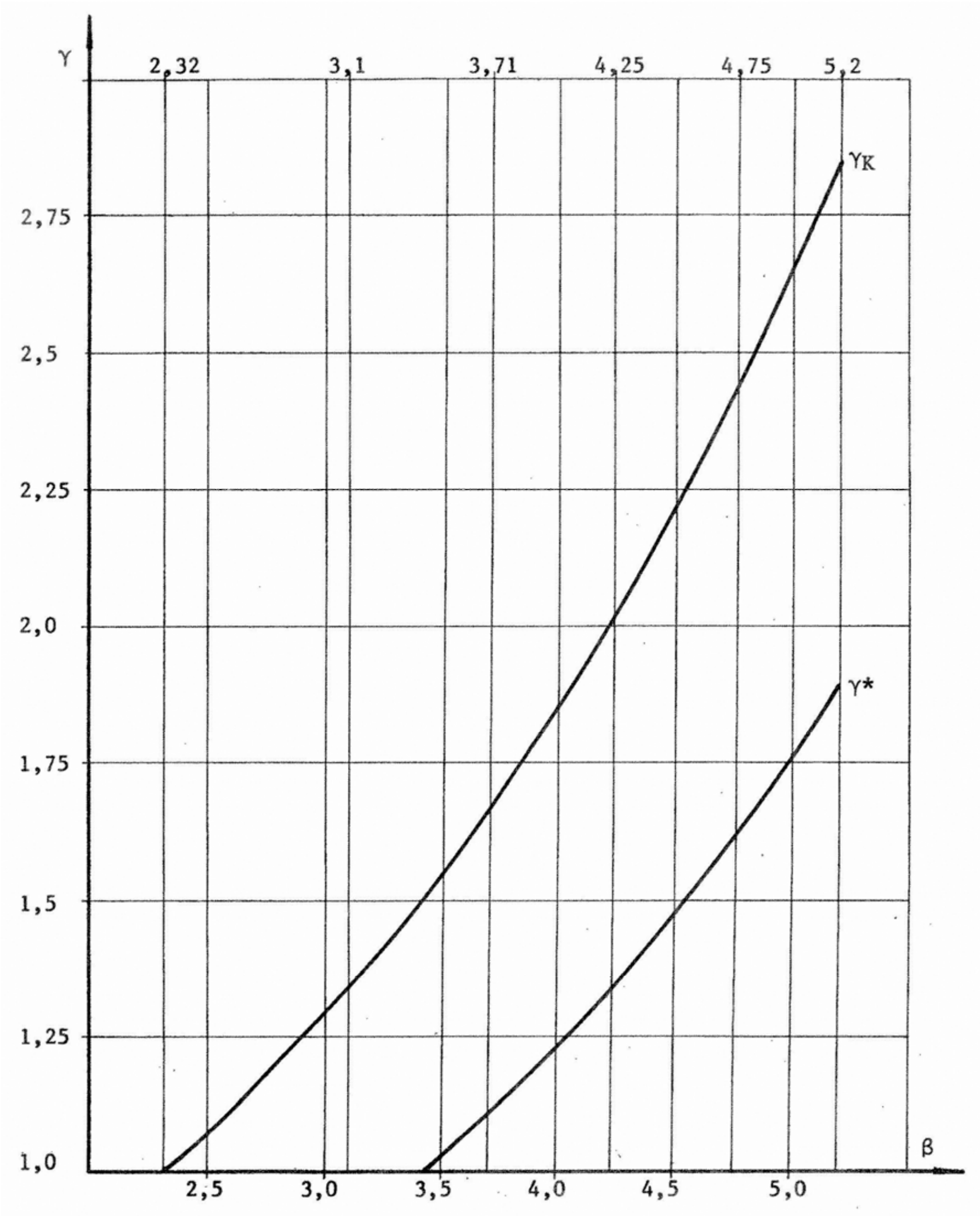


Figura 12. **Gráfico $\beta - \gamma$ para estructuras de madera y mampostería trabajando en condiciones razonables con $\gamma_m \cdot \gamma_S = 1{,}5$ y $\delta_M = 0{,}15$, $\delta_E = 0{,}2$ y $\delta_D = \delta_C = \delta_A = 0{,}15$.**

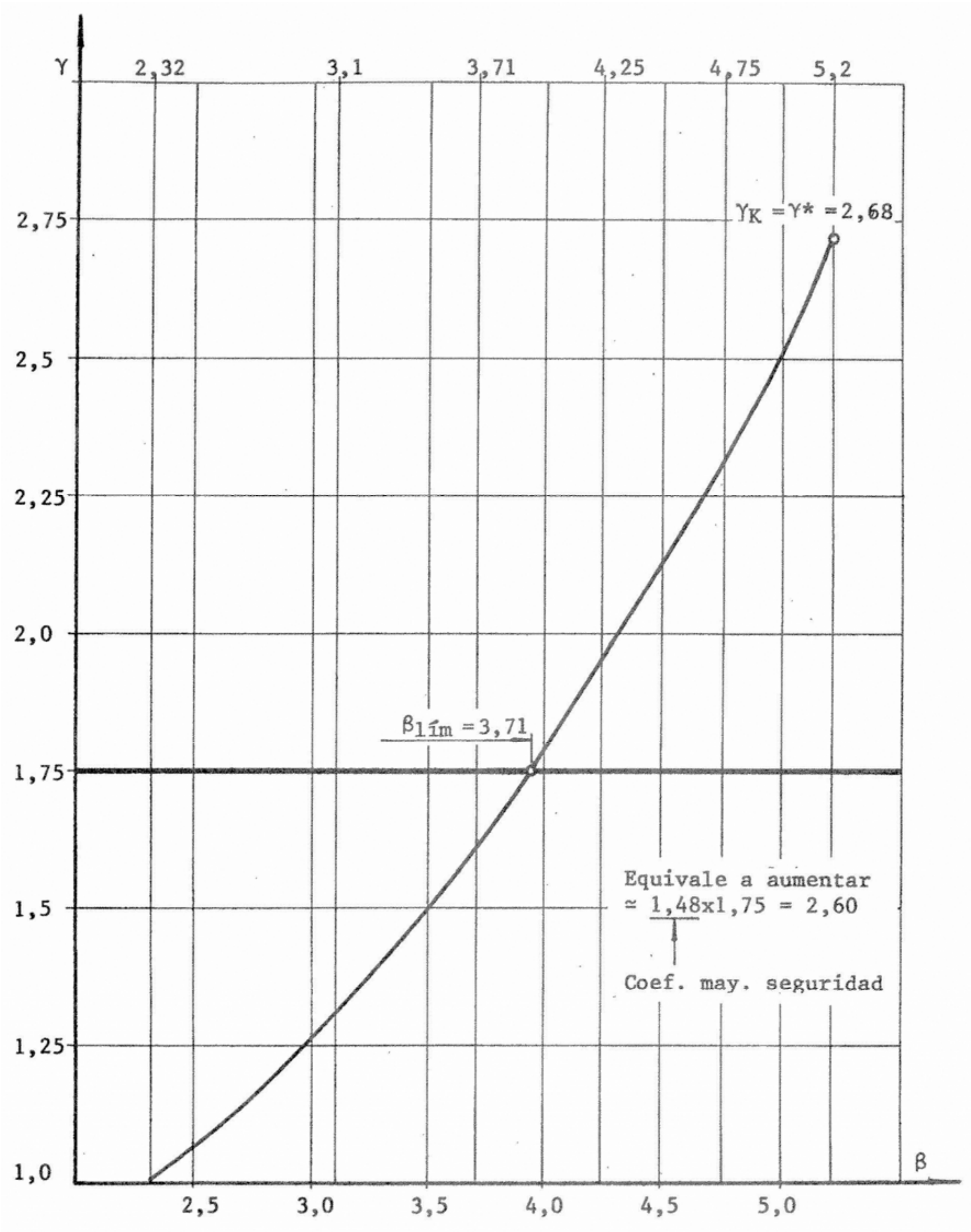


Figura 13. **Gráfico** $\beta - \gamma$ **para estructuras de hormigón armado. Valores de reemplazo de** $\gamma_K = 1{,}75$ **, acero para hormigón. Para el caso de empresa pobre (**$\delta_M = 0{,}05$ **y** $\delta_E = 0{,}25$ **) y proyecto bueno (**$\delta_D = 0{,}1$ **,** $\delta_C = 0{,}15$ **y** $\delta_A = 0{,}15$ **) con** $\gamma_m \cdot \gamma_S = 1$ **.**

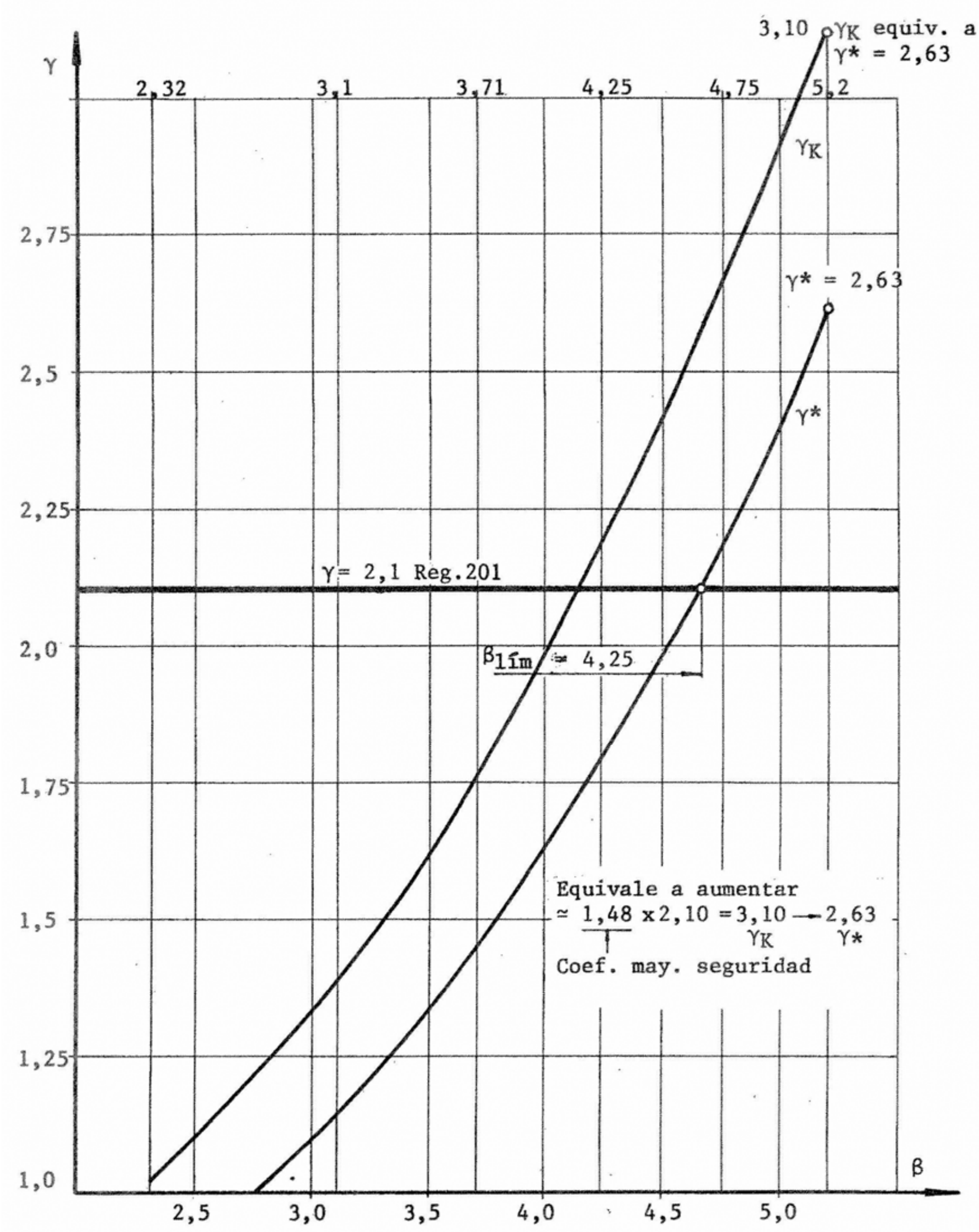
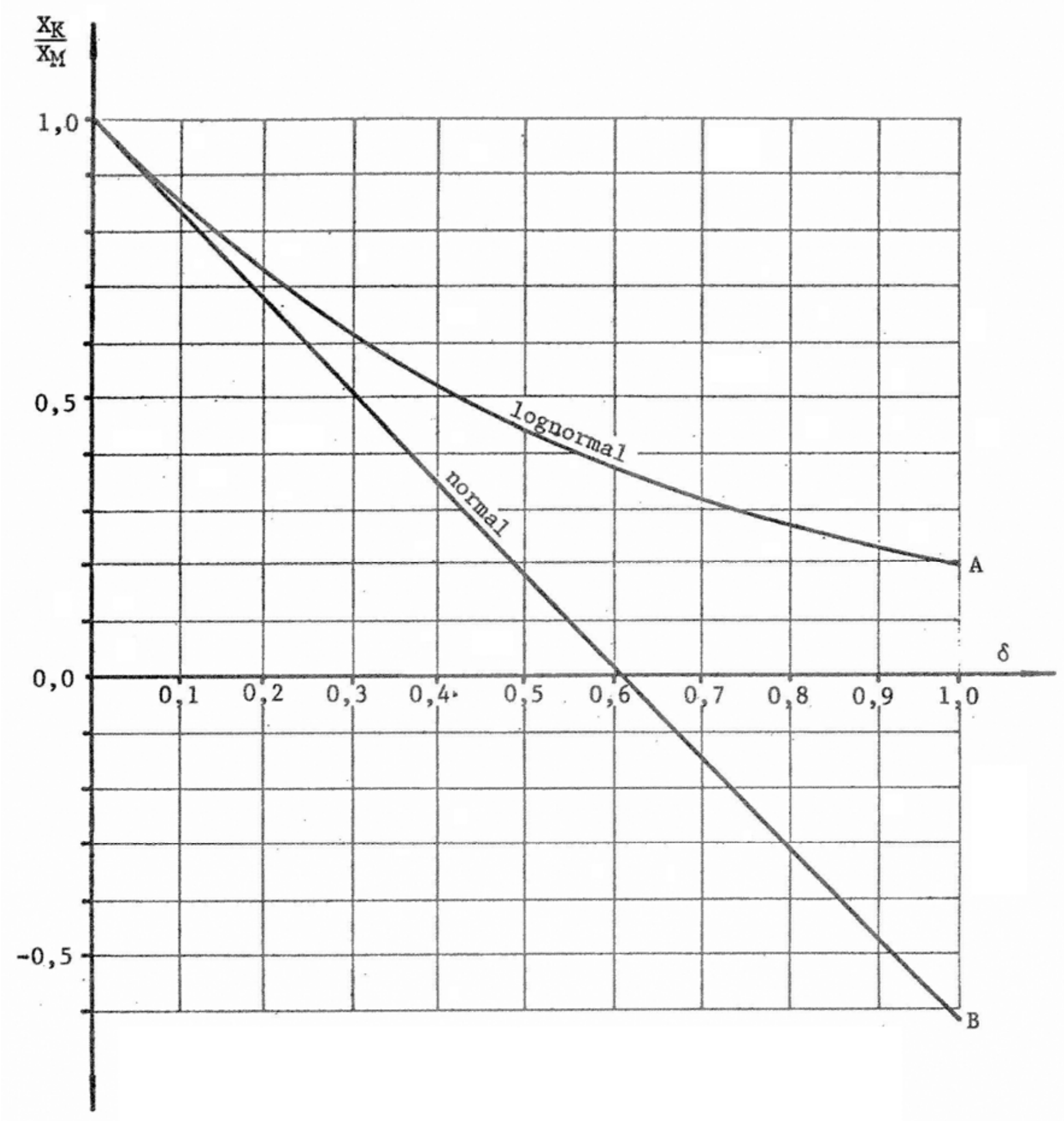


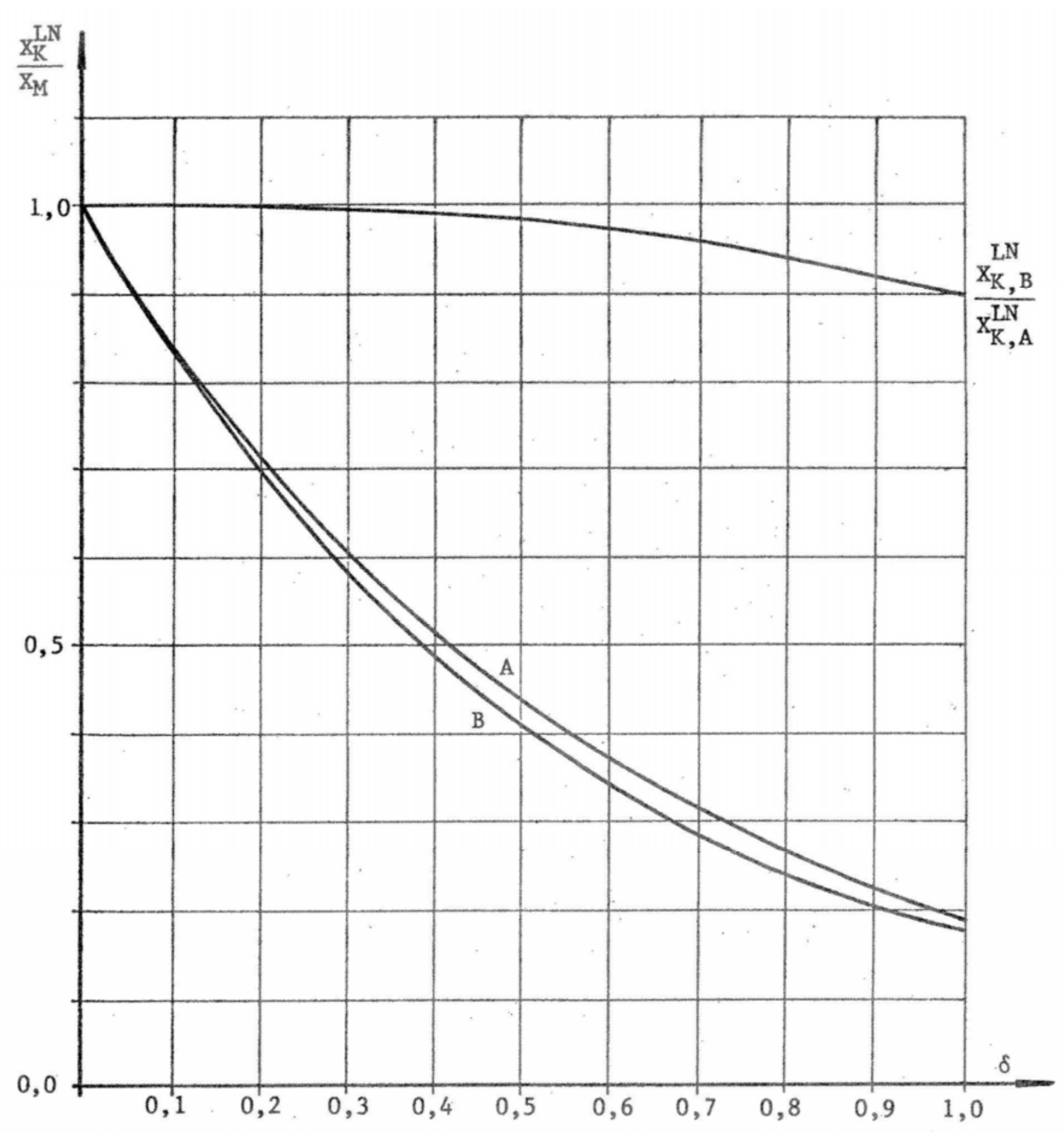
Figura 14. **Gráfico $\beta - \gamma$ para estructuras de hormigón armado. Valores de reemplazo de $\gamma^* = 2{,}1$, del hormigón. Para el caso de empresa pobre ($\delta_M = 0{,}2$ y $\delta_E = 0{,}25$) y proyecto bueno ($\delta_D = 0{,}1$, $\delta_C = 0{,}15$ y $\delta_A = 0{,}15$) con $\gamma_m \cdot \gamma_S = 1{,}22$.**



$$\text{A)}\quad \frac{X_K^{LN}}{X_M} \cong e^{-1{,}645\,\delta}$$

$$\text{B)}\quad \frac{X_K^{N}}{X_M} \cong 1 - 1{,}645\,\delta$$

Figura 15. Distribución normal y lognormal aproximada de la relación entre el valor característico (X_K) y el valor medio (X_M).



A) $$\frac{X_K^{LN}}{X_M} \cong e^{-1{,}645\,\delta}$$

B) $$\frac{X_K^{LN}}{X_M} \cong \frac{e^{-1{,}645\,\sqrt{\ell n\left(1+\delta^2\right)}}}{\sqrt{1+\delta^2}}$$

Figura 16. Comparación entre las distribuciones lognormal aproximada y exacta para la relación entre el valor característico (X_K) y el valor medio (X_M).

INTI
Instituto Nacional
de Tecnología Industrial

CIRSOC

Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales
de Seguridad para las Obras Civiles del Sistema INTI