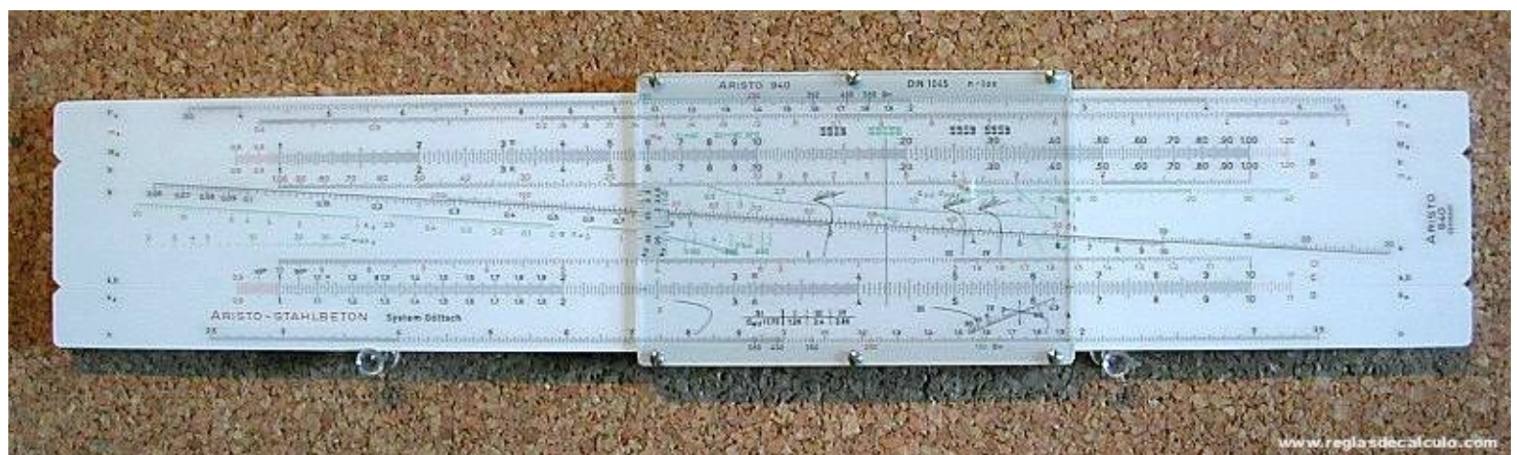


INSTRUCCIONES PARA EL USO DE LA REGLA DE CÁLCULO

ARISTO

STAHLBETON 940



www.reglasdecalculo.com

Traducción del original y notas por roger



Presentación

La regla de cálculo *ARISTO-Stahlbeton n° 940* es un desarrollo posterior de la regla *ARISTO-Stahlbeton n° 939*, resultado de veinte años de experiencia probada con éxito en Alemania y en el extranjero.

La realización de la regla *940/DIN 1045 n-los*, caracterizada por su cursor particular, ha sido pensada a propósito para la nueva norma DIN 1045, que se encuentra en vigor desde enero de 1972. En virtud de la considerable unificación efectuada, es posible trabajar con todas las secciones rectangulares de vigas y placas con armadura simple o doble, con o sin esfuerzos normales¹, con la misma configuración. También para secciones no rectangulares y vigas en T, la misma disposición proporciona resultados suficientemente precisos en función de la anchura equivalente b_i . Después del ajuste - en muchos casos, se puede llevar a cabo con un solo movimiento de la reglilla y del cursor - pueden visualizarse también 14 valores diferentes correspondientes a otros tantos parámetros de diseño. No hay ninguna diferencia entre los datos iniciales y los resultados: las posiciones son reversibles en todas las direcciones. Normalmente es suficiente con leer un solo resultado k del esquema planteado, con el cual - en analogía con el uso de la *ARISTO Stahlbeton-939* - es posible determinar la armadura de tracción F_e con un movimiento de la reglilla y del cursor. Posteriormente, la determinación de la armadura comprimida F'_e requiere simplemente una multiplicación.

La nueva *ARISTO-Stahlbeton n° 940* permite calcular de forma independiente la armadura de acero a partir del conocido parámetro k_e . Además es posible comprobar la fisuración² con un simple movimiento del cursor.

La regla de cálculo *ARISTO-Stahlbeton N ° 940* se ha dotado además, añadiendo a sus escalas especiales y a las escalas básicas ABCD, con dos escalas recíprocas BI y CI, que resultan muy útiles en los cálculos estáticos.

Además, bajo pedido se suministra un cursor para otros métodos de cálculo, por ejemplo con $n = 15$ o $n = 10$.

Schönkirchen, noviembre 1972

Werner Göttisch

¹ Se refiere a los esfuerzos que se aplican perpendicularmente a la sección. Según los criterios de Resistencia de Materiales este esfuerzo (que usualmente se denomina axil, por ir dirigido según el eje de la pieza) es positivo si produce tracciones, en las estructuras de hormigón armado suele ser al revés. El momento flector produce tracciones en un extremo y compresiones en el opuesto, de modo que sus efectos se suman al producido por el esfuerzo axil, de modo que podría ocurrir que toda la sección se encuentre comprimida (compresión compuesta), parte comprimida y parte traccionada (flexión compuesta) o toda traccionada, según el signo y magnitud de los esfuerzos.

² Para que las armaduras dispuestas en la zona traccionada del hormigón trabajen de forma efectiva es necesario que este se fisure, de modo que permita los alargamientos necesarios en las armaduras para que estas entren en tensión. Pero esta fisuración debe producirse de forma controlada de modo que se produzcan muchas fisuras pero muy finas, de décimas de milímetro, no siendo apreciables a simple vista. De otro modo, además del aspecto estético, puede comprometer la durabilidad de la pieza al iniciarse la corrosión de las armaduras.

ÍNDICE

1. Generalidades	5
2. Nociones básicas para el proyecto del hormigón armado	5
2.1 Nomenclatura	5
2.2 Unidades.....	5
2.3 Campo de aplicación	6
2.4 Símbolos para los diferentes tipos de acero	6
3. Disposición de las escalas.....	8
4. Características del cursor L940/1045 n-los	9
5. Metodología para secciones rectangulares sometidas a flexión simple o compuesta con armadura simple o doble	10
5.1 Momento flector M_e	11
5.2 Anchura de la sección comprimida b	11
5.3 Canto útil h	11
5.4 Clase de hormigón B_n	11
5.5 Coeficiente k_z	12
5.6 Coeficiente k_x	12
5.7 Deformación del hormigón ϵ_{b1}	12
5.8 Deformación del acero ϵ_e	13
5.9 Coeficiente de forma k	13
5.10 Tipo de acero BSt.....	13
5.11 Relación h'/h	13
5.12 Factor α para la influencia de la armadura comprimida F'_e	13
5.13 Tensión en el hormigón σ_b	14
6. Parámetro de diseño m_e	14
6.1 Lectura del parámetro m_e	14
6.2 Conjunto de valores predeterminados por m_e	15
7. Parámetro de diseño k_h	15
7.1 Lectura de los valores de k_h	16
7.2 Conjunto de valores predeterminados por k_h (Ver el ejemplo numérico § 14.3)	16
8. Desplazamiento de la reglilla	17
9. Cálculo de la armadura de acero	17
9.1 Procedimiento empleando el parámetro k	17
9.2 Procedimiento empleando el parámetro k_e	19
9.3 Orden de magnitud de F_e y F'_e	21
10. Secciones no rectangulares.....	22
10.1 Vigas en T	23

11. Anchura límite de fisura	24
11.1 Anchura máxima de abertura de fisuración	24
11.2 Conversión para otros valores de r y para otras relaciones entre carga permanente y carga total	25
11.3 Conversión para mayores secciones de armadura.....	25
12. Elección de las barras de armadura en función del número (separación) y diámetro	26
12.1 Dimensionamiento de la armadura a cortante.....	27
13. Diseño con el uso de los índices del cursor para n constante.....	27
13.1 Criterios generales de proyecto	28
13.2 Planteamiento con $n =$ constante	28
13.3 Criterios de diseño	29
14. Ejemplos numéricos con la norma DIN 1045 n-los.....	30
14.1 Diseño de una viga de sección rectangular	30
14.2 Comparación con la tabla 2 del número 220 del Deutschen Ausschusses für Stahlbeton ...	32
14.3 Comparación con la tabla 5 del número 220 del Deutschen Ausschusses für Stahlbeton ...	33
14.4 Diseño de una losa de cubierta	33
14.5 Diseño de una viga de sección rectangular, con armadura en las dos caras sometida a flexión compuesta.	35
14.6 Determinación de la anchura b	36
14.7 Determinación de la altura útil h	37
14.8 Determinación de la clase de hormigón B_n	38
14.9 Momento admisible M	38
14.10 Momento admisible en función de la armadura F_e	40
14.11 Diseño de vigas en T	40
15. Ejemplos numéricos con $n = 15$ ($n = 10$)	41
15.1 Cálculo de una viga con sección rectangular	41
15.2 Diseño de una losa de cubierta	42
16. Bibliografía	43

1. Generalidades

La *ARISTO-Stahlbeton n° 940* es una regla especial para el cálculo de hormigón armado.

La disposición de la escala de cuadrados A/B, de la de recíprocos BI/CI y de la base C/D es particularmente ventajosa para el ingeniero de estructuras.

El uso de estas escalas es conocido. En caso de que fuese necesario, se indican como ejemplo, los siguientes textos:

- Stender, R., Der moderne Rechenstab. Ein Vorbereitungsbuch für Schule und Hochschule, Otto Salle-Verlag, Frankfurt.
- Marks, R.W., Rechenschieber - Schritt für Schritt, Humboldt-Taschenbuch N ° 181.

Además de las escalas de cálculo general, La *ARISTO-Stahlbeton n° 940* dispone de numerosas escalas específicas para el diseño del hormigón armado. Las formas de configuración y lectura del cursor *L 940/DIN 1045 n-los* están diseñadas para garantizar que los requisitos de la norma DIN 1045, de enero de 1972, son satisfechos para el proyecto con cualquier valor de n^3 .

Por otra parte, sobre la misma regla pueden utilizarse diferentes cursores. Por ejemplo para el diseño con $n = 15$, puede utilizarse el cursor tipo *L 940 / n = 15*.

En las figuras en este manual, las escalas de la regla y los índices del cursor se muestran mediante esquemas. Los triángulos llenos ($\blacktriangle$) simbolizan las lecturas y los ajustes. Los ajustes iniciales han sido caracterizados mediante triángulos huecos ($\triangle$).

2. Nociones básicas para el proyecto del hormigón armado.

La estructura de las escalas especiales y la disposición de los índices del cursor de la *ARISTO-Stahlbeton 940/n-los* están basados en la norma DIN 1045⁴, de enero de 1972, apartados 17.2 y 17.6 del diseño general.

2.1 Nomenclatura

Para la designación de magnitudes, coeficientes, etc, actualmente se aplican las indicaciones dadas en el número 220 del Deutschen Ausschusses für Stahlbeton publicados en la norma DIN 4224.

2.2 Unidades⁵

Las unidades para las magnitudes de proyecto son las mismas que se indican en el citado número 220 del Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, es decir:

³ El coeficiente n , que veremos posteriormente con más detalle, es la relación entre los módulos de elasticidad del acero y del hormigón.

⁴ Las normas DIN las publica el Instituto de Normalización Alemán (Deutsches Institut für Normung) siendo análogas a nuestras normas UNE, que podríamos decir que son hijas suyas, en particular la DIN 1045 es la norma para la construcción de obras de hormigón armado. La correspondiente norma española vigente en la actualidad se llama Instrucción de Hormigón Estructural o abreviadamente EHE-08.

⁵ En la actualidad las unidades empleadas en los proyectos de estructuras de cualquier tipo son las correspondientes al Sistema Internacional de Unidades de Medidas. Para fuerzas se emplea el kN, para momentos el kNm y para resistencias y tensiones el MPa (N/mm²). Para las betas ver 9.3

tm	para	M_e
m	para	b
cm y m	para	h
cm ²	para	F_e
kg/cm ²	para	β_R, β_S

2.3 Campo de aplicación

Con la *ARISTO-Stahlbeton* n° 940 se pueden proyectar secciones rectangulares y en T⁶ con zona comprimida rectangular o cuadrada, con armadura simple o doble, sometidas a flexión simple o compuesta⁷.

La armadura simple se dimensiona para una deformación admisible⁸ del 5 ‰, reducible al 3 ‰.

La armadura doble se calcula en función de una deformación admisible $\epsilon_{b1} = -3.5$ ‰ para el hormigón y $\epsilon_e = 3,0$ ‰ para el acero⁹. El coeficiente de seguridad es $v = 1.75$ en todos los casos; las tensiones en el acero son constantes e iguales a $\sigma_{eU} / 1.75$.

2.4 Símbolos para los diferentes tipos de acero

Debido al espacio limitado en el cursor, se han empleado los siguientes símbolos para designar los diferentes tipos de acero¹⁰:

I	=	BSt 22/34 GU (IG) BSt 22/34 RU (IR)
III	=	BSt 42/50 RU (IIIU) BSt 42/50 RK (IIIK)
IV	=	BSt 50/55 PK (IVP) BSt 50/55 RK (IVR) BSt 50/55 RK (IVRX)

Según la norma DIN 1045, figura 14, también se puede utilizar en el proyecto la clase III para BSt 50/55 GK (IVG)

⁶ Se refiere a las vigas cuya sección tiene forma de T.

⁷ Se habla de flexión simple cuando la sección está solicitada únicamente por un momento flector, sin esfuerzo axial. La compresión compuesta, que ya se ha comentado, a veces se llama también flexocompresión. Por analogía, cuando el esfuerzo axial es de tracción se llama flexotracción.

⁸ Si no se limitase la deformación o alargamiento de las barras de acero no sería posible controlar la fisuración posterior.

⁹ El mecanismo principal que hace que funcione el hormigón armado es la adherencia entre el acero y el hormigón, de modo que ambos deben tener la misma deformación. La tensión y la deformación, para cada material, son directamente proporcionales y la constante de proporcionalidad es precisamente el módulo de deformación. Las deformaciones máximas permitidas no son simultáneas, la limitación corresponde al valor que se alcance primero.

¹⁰ Según las normas alemanas los números que acompañan a las denominaciones de los tipos de acero son respectivamente el límite aparente de elasticidad o resistencia a la tracción y la carga de rotura. Para los aceros, el límite de elasticidad corresponde al escalón de la gráfica tensión-deformación donde empieza la rama plástica. En los aceros de alto límite elástico, estirados en frío, que se emplean en el hormigón armado, este escalón desaparece y por eso se habla de límite aparente, que es el que corresponde a una deformación permanente del 0,2 %.

En el cálculo de la fisuración, el símbolo IV representa IVR para BSt 50/55 RK, que sólo se puede utilizar para acero corrugado, excluyendo las barras lisas o los perfiles laminados.

3. Disposición de las escalas

Sobre el cuerpo de la regla:	F_e	Escala para la lectura de la armadura de acero
	m_e	Escala para la valoración del parámetro de cálculo m_e
	M_e	Escala de cuadrados A y escala de momentos flectores
Sobre la reglilla:	b	Escala de cuadrados B y escala del ancho b de la zona comprimida
	m_e	Escala BI de recíprocos de la escala B y escala para la valoración del parámetro de cálculo m_e
	$d_{zul} d_{máx}$	Escala verde corta, para la corrección del cálculo de la abertura de fisura en función de F_e ¹¹
	ε_1	Escala verde curva, para la lectura de las deformaciones del hormigón ε_{b1} en ‰
	k	Escala oblicua para valores auxiliares de k
	σ_b	Escala Roja para cuantificar las tensiones en el hormigón, sobre la escala k , sólo para cálculos con n constante
	k_d	Escala corta, oblicua y verde para fijar el valor de k y para la lectura
	max_d	Escala de la medida de la abertura de las fisuras
	α	Escala corta verde para el parámetro F'_e para la armadura de compresión
	ε_e	Escala curva verde, para la lectura de las deformaciones del acero ε_e en ‰
	Cl	Escala de recíprocos de la escala de C
	k, b	Escala básica C para multiplicaciones y divisiones, en particular con k y b
Sobre el cuerpo de la regla:	k_e	Escala básica D para multiplicaciones y divisiones, en particular también para la lectura de k_e
	h	Escala para el canto útil h
	k	Escalas angular entre las escalas h y D para el cálculo de k_e en función del valor de k

En la parte posterior de la regla se incluyen diagramas con las operaciones principales y tablas para la selección de barras y mallas metálicas.

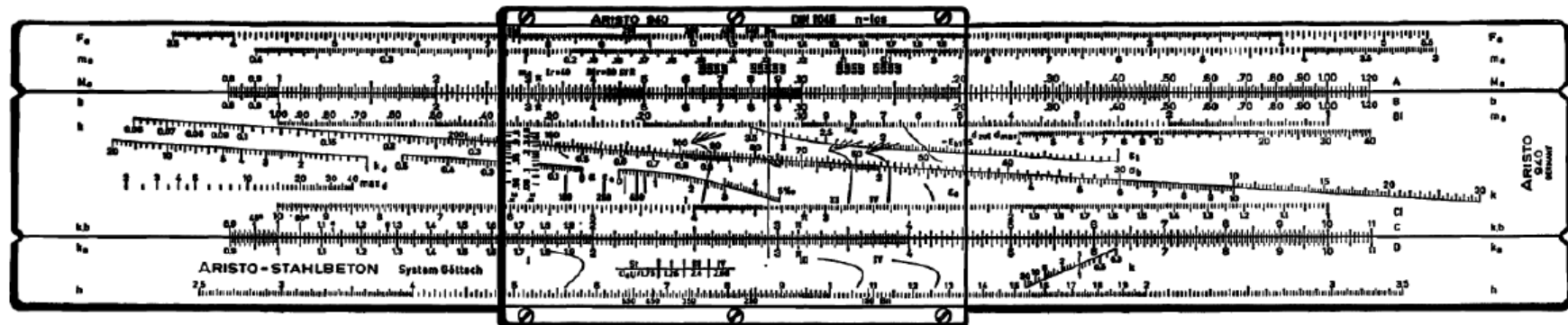


Figura 1. Cara anterior

¹¹ Ver 11.3

4. Características del cursor L940/1045 n-los

El cursor tiene diferentes grupos de posiciones o lecturas, que difieren en forma y color.

El trazo vertical largo es la línea principal y sirve para los cálculos generales, como multiplicaciones y divisiones.

Los trazos negros, con forma de látigo con un abanico de índices en la parte superior, se refieren a los diversos tipos de acero I, III, IV y sirven para leer el valor del parámetro auxiliar k en la escala correspondiente. Los mencionados índices en abanico se refieren a los valores que adopta dicho parámetro, según que la relación h'/h valga: 0.07, 0.15, 0.20 ó 0.25 en el caso de la armadura en ambas caras. El abanico de color verde situado sobre el trazo vertical principal se utiliza sobre la escala verde inclinada del parámetro α en el caso de la armadura doble.

Las escalas sobre fondo blanco en la parte izquierda del cursor permiten la lectura de los valores k_x y k_z sobre la línea larga inclinada de la escala k . Además existen tres índices verdes, próximos a la línea superior, para los tres tipos de acero: I ($r = 40$), III ($r = 80$), IV ($r = 80$) y otros índices también de color verde en la línea inferior correspondientes a las clases de resistencia del hormigón para el cálculo de la abertura ($\max_d$) en la comprobación a fisuración. Los valores de m_e están señalados en rojo a la derecha, sobre la correspondiente escala de la reglilla y del cuerpo de la regla, para la lectura y los ajustes con el trazo principal del cursor.

Con el índice verde - ϵ_{b1} se lee la deformación del hormigón sobre la escala ϵ_1 de la reglilla, mientras que con el índice ϵ_e se lee la deformación del acero sobre la escala ϵ_e .

Las líneas curvas correspondientes a las clases de acero I, III, IV situadas en la parte inferior del cursor se utilizan con la escala oblicua corta k para la determinación de k .

En correspondencia con los índices para la clase del hormigón en los extremos superior e inferior del cursor se pueden leer o colocar los valores de h (abajo) y F_e (arriba).

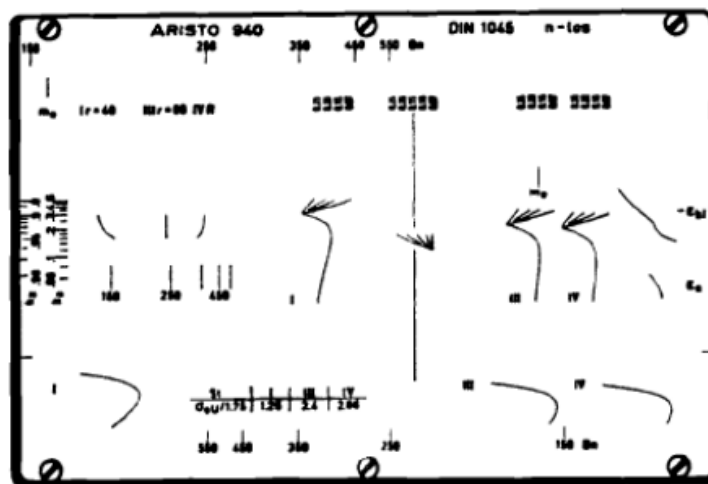


Figura 2. El cursor L-940/1045 n-los

5. Metodología para secciones rectangulares sometidas a flexión simple o compuesta con armadura simple o doble.

Los siguientes 14 parámetros de diseño se puede ver en la *ARISTO - Stahlbeton N ° 940* simultáneamente o de forma individual (figura 3):

M_e	sobre la escala M_e en la parte superior del cuerpo fijo de la regla (ver § 5.1)
b	sobre la escala b en la parte superior de la reglilla (ver § 5.2)
h	sobre la escala h en la parte inferior del cuerpo fijo de la regla (ver § 5.3)
B_n	sobre los índices B_n en el borde inferior del cursor (ver § 5.4)
k_z	sobre la escala k_z en el borde izquierdo del cursor (ver § 5.5)
k_x	sobre la escala k_x en el borde izquierdo del cursor (ver § 5.6)
$-\epsilon_{b1}$	sobre la escala ϵ_1 de la reglilla (ver § 5.7)
ϵ_e	sobre la escala ϵ_e de la reglilla (ver § 5.8)
k	sobre la escala k de la reglilla (ver § 5.9)
BS_t	sobre los índices BS_t del cursor (ver § 5.10)
h'/h	sobre los índices en abanico encima de los índices BS_t del cursor (ver § 5.11)
α	sobre la escala α de la reglilla (ver § 5.12)
m_e	sobre la escala m_e de la reglilla (ver § 6)
k_h	sobre la escala principal C o sobre la escala h del cuerpo fijo de la regla (ver § 7)

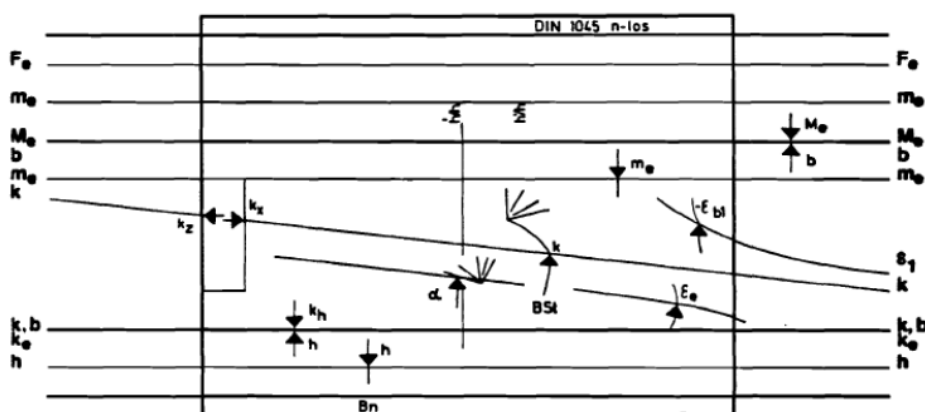


Figura 3

La reglilla y el cursor se disponen sobre los datos conocidos, o bien se colocan sobre los parámetros de diseño. La determinación de las incógnitas resulta de este modo automática. La secuencia de las posiciones es completamente arbitraria, pero es aconsejable colocar en primer lugar la reglilla. En esta primera fase, el cursor se puede utilizar para facilitar el ajuste y, si es necesario, para proporcionar una primera estimación de k (ver el § 6). Posteriormente se llevará el cursor a su posición final.

En la parte posterior de la regla se incluyen unos gráficos con las disposiciones principales.

Los ejemplos numéricos incluidos en el capítulo 14 muestran aplicaciones en diferentes casos de proyecto.

5.1 Momento flector M_e

Según la norma DIN 4224 se tiene:

$$M_e = M - y_e \cdot N$$

con:

$$y_e = h - \frac{d}{2}$$

(N es el esfuerzo axial que es de signo negativo si es de compresión y positivo si es de tracción)

M_e se coloca y se lee sobre la escala M_e (que coincide con la escala de cuadrados A) siempre en tm:

$M_e = 0.10, 0.20, 0.30, \dots 1.00$ tm:	dispuesto en la mitad derecha de la escala
$M_e = 1.00, 2.00, 3.00, \dots 10.00$ tm:	dispuesto en la mitad izquierda de la escala
$M_e = 10, 20, 30, \dots 100$ tm:	dispuesto en la mitad derecha de la escala

5.2 Anchura de la sección comprimida b

La anchura de la sección comprimida b se coloca y se lee sobre la escala b (que coincide con la escala de cuadrados B) por debajo de la escala de M_e , en metros:

b = 0.10, 0.20, 0.30, 1,00 m:	dispuesto en la mitad derecha de la escala
b = 1.00, 2.00, 3.00, 10,00 m:	dispuesto en la mitad izquierda de la escala

5.3 Canto útil h ¹²

El canto útil h se coloca y se lee sobre la escala h (en la parte inferior de cuerpo de la regla), utilizando los índices especiales B_n en la parte inferior del cursor (ver § 5.4).

5.4 Clase de hormigón B_n

La clase de hormigón B_n está indicada en el cursor mediante las graduaciones especiales B_n 150, 250, 350, 450, 550.¹³

Los índices B_n sirven para colocar el canto útil h (ver § 5.3)

¹² El canto útil es la distancia desde el extremo más comprimido de la sección hasta el centro de gravedad de la armadura traccionada. Los alemanes lo llaman h, según la nomenclatura española el canto útil se denomina d. Por claridad, en la traducción se mantiene la nomenclatura alemana.

¹³ Los números de las diferentes clases de hormigón indican la resistencia a compresión que debe alcanzar a los 28 días de edad, una probeta normalizada confeccionada con dicho hormigón y medida en kg/cm². En las normas alemanas las probetas normalizadas son cúbicas de 20 cm de lado. En España las probetas normalizadas son cilíndricas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura. El procedimiento del ensayo para medir esta resistencia también está normalizado fijando, entre otras cosas, las condiciones de conservación de las probetas durante esos 28 días.

5.5 Coeficiente k_z

El coeficiente k_z se lee en la parte izquierda del cursor sobre fondo blanco. La escala diagonal larga negra sobre la reglilla, sirve en este caso como de indicador (es la escala básica k de la reglilla).

El valor mínimo indicado es $k_z = 0,8$. El valor límite en el caso de la armadura simple ($k_z = 0,776$) está cerca de dicho valor, pero no está visualizado. En caso necesario, en particular en el caso de armadura doble, se puede calcular fácilmente

$$k_z = \frac{1}{k_e \cdot \left(\frac{\sigma_{eU}}{v} \right)}$$

con k_e según lo indicado en § 9.2 y σ_{eU}/v según lo indicado en § 9.1 (ver § 14.5).

5.6 Coeficiente k_x

El coeficiente k_x se lee siempre en el lado izquierdo del cursor sobre fondo blanco, aproximadamente 8 mm a la derecha de la escala k_z . También en este caso sirve de indicador la escala básica k de la reglilla.

El mayor valor que se muestra es $k_x = 0,6$ (el límite para armadura simple es $k_x = 0,583$). En caso necesario, en particular en el caso de armadura doble, se puede calcular fácilmente

$$k_x = \frac{-\varepsilon_{b1}}{-\varepsilon_{b1} + \varepsilon_e}$$

con $-\varepsilon_{b1}$ según lo indicado en § 5.7 y ε_e según lo indicado en § 5.8 (ver § 14.5).

5.7 Deformación del hormigón ε_{b1} ¹⁴

La deformación del hormigón ε_{b1} se lee sobre la curva verde especial ε_1 , que se encuentra sobre la reglilla justo encima de la escala diagonal k . La deformación del hormigón ε_{b1} se expresa en ‰ y es siempre negativa¹⁵ en el caso de flexión (compresión del hormigón). Las lecturas se realizarán utilizando el índice marcado en verde $-\varepsilon_{b1}$ sobre el borde derecho del cursor.

El valor límite indicado en la escala para $-\varepsilon_{b1}$ es igual a 3,5 ‰, los valores superiores a este no están indicados¹⁶.

¹⁴ Las deformaciones, tanto para el hormigón como para el acero y en general para cualquier elemento, es la relación entre el alargamiento (o acortamiento) y la longitud inicial de la pieza deformada. Se suele medir en ‰ ya que los valores de los alargamientos producidos por los esfuerzos que solicitan la pieza (las barras de acero en este caso) son en general muy pequeños.

¹⁵ Las deformaciones negativas indican acortamientos y las positivas, alargamientos. Por idéntico motivo las deformaciones del acero traccionado son siempre positivas.

¹⁶ Los valores de deformación del hormigón superiores al indicado no están permitidos por la instrucción, por eso no tiene mucho sentido reflejarlos en las escalas correspondientes.

5.8 Deformación del acero ϵ_e

La deformación del acero ϵ_e se lee sobre la curva especial verde ϵ_e , que se encuentra en el medio de la reglilla, debajo de la escala diagonal k.

La deformación del acero se expresa en ‰ y la lectura se realiza utilizando el índice ϵ_e marcado en verde marcado en verde en el borde derecho del cursor. El valor límite indicado en la escala para ϵ_e es igual a 5 ‰, los valores superiores a este no están indicados¹⁷.

5.9 Coeficiente de forma k

El coeficiente de forma k se lee sobre la escala diagonal k, por debajo de la línea (valores en negro). Los valores superiores a 10 están indicados por encima de la línea.

k es un valor característico adimensional que, sin embargo, siempre debe colocarse en su posición decimal exacta¹⁸.

5.10 Tipo de acero BSt

El tipo de acero BSt está indicado en el cursor mediante las graduaciones especiales I, III, IV (por la importancia de los símbolos se recomienda ver § 2.4). Los índices en forma de abanico en el centro del cursor se utilizan para leer los valores sobre la escala larga k de la reglilla. Sobre estos índices en abanico, en la parte superior, se incluyen los valores de la relación $h'/h = 0.7, 0.15, 0.20$ y 0.25 que están asociados a los diferentes trazos del abanico. El índice en correspondencia con la relación $h'/h = 0.07$ es válido también para valores más pequeños de h'/h . Esta parte de los índices BSt sólo se utiliza cuando se trabaja con armadura doble.¹⁹

5.11 Relación h'/h ²⁰

La relación h'/h es significativa solamente en el caso de secciones con armadura en las dos caras²¹, para las cuales adquieren una gran importancia los parámetros k y α (ver apartados 5.10 y 5.12).

5.12 Factor α para la influencia de la armadura comprimida F'_e

El factor α para tener en cuenta la influencia de la armadura comprimida F'_e se lee en la escala

¹⁷ Lo mismo que en el caso anterior. La deformación límite para el acero es la indicada.

¹⁸ Es decir el valor 12 debe leerse solamente como 12 y no como 1.20, 0,12 o 120 (Nota 1 de la traducción de Alessandro Manni).

¹⁹ La doble armadura hace referencia a la que se coloca en las dos caras, la de tracción y la de compresión. Volveremos sobre este tema más adelante.

²⁰ De forma análoga al canto útil h, se define h' como la distancia desde el extremo más comprimido de la sección al centro de gravedad de la armadura comprimida (si existe). En los casos de compresión compuesta en los que ambas armaduras están comprimidas, como en el caso de los pilares, h' es la distancia a la más comprimida de las dos.

²¹ En el caso de disponer armadura en las dos caras, en secciones sometidas a flexión simple, una de ellas estará traccionada y la otra comprimida. En secciones sometidas a flexión compuesta son posibles todas las combinaciones dependiendo del signo y valor del esfuerzo axial, pudiendo estar toda la sección comprimida, toda traccionada o, como en el caso de la flexión simple, una parte de la sección comprimida y otra traccionada.

corta inclinada por debajo de la escala principal k de la reglilla, pero sólo tiene sentido en el caso de que resulte necesaria armadura a compresión²².

α es un valor característico adimensional. Se lee por medio de los índices en forma de abanico de color verde situado en el centro de la línea principal del cursor, seleccionado en función de las siguientes relaciones:

$$h'/h = 0,07 \quad 0,10 \quad 0,15 \quad 0,20 \quad 0,25$$

El índice que corresponde a la relación $h'/h = 0,07$ es válido también para valores pequeños de h'/h .

5.13 Tensión en el hormigón σ_b

La tensión del hormigón σ_b no tiene ningún significado con el método de proyecto con un valor variable de n según las normas DIN 1045 y 4224. La escala de valores σ_b en rojo sobre la línea negra diagonal de la reglilla, tiene significado solamente cuando se utilizan los cursores especiales para valores constantes de n (ver § 13).

6. Parámetro de diseño m_e

Los parámetros de diseño M_e , b , h , y β_R (dependiendo de la clase de hormigón B_n) según la norma DIN 4224 pueden ser agrupados mediante el siguiente parámetro adimensional

$$m_e = \frac{M_e}{b \cdot h^2 \cdot \beta_R}$$

Además, m_e está en relación funcional directa con los coeficientes k_z , k_x y con las deformaciones $-\varepsilon_{b1}$ y ε_e según se muestra en el diagrama de valoración general DIN 4224. El valor de m_e es un número comprendido entre 0 y aproximadamente 0,40 y en la *Aristo Stahlbeton-940* puede ser leído o colocado sobre la escala m_e de la reglilla (coincidiendo con la escala inversa de cuadrados BI). La lectura o el ajuste se realizan mediante el índice de color rojo m_e situado a la derecha de la línea media del cursor. Los datos sobre la escala m_e se leen como sigue, desde la derecha:

$$m_e = \quad 0,01 \quad 0,02 \quad 0,03 \quad \dots \quad 0,10 \quad \dots \quad 0,40$$

o, para los valores 100 veces superiores,

$$100 \cdot m_e = \quad 1 \quad 2 \quad 3 \quad \dots \quad 10 \quad \dots \quad 40.$$

6.1 Lectura del parámetro m_e

Los índices guía para la disposición de los parámetros descritos en el capítulo 5 aparecen en las escalas y en el cursor, así como los parámetros k_z , k_x , ε_{b1} , etc. (figura 3). El parámetro m_e es útil en casos particulares, sobre todo para el cálculo de $K_e^* \rho$ en el caso de la armadura doble (ver § 9.2).

²² Esto ocurre en el caso de momentos flectores muy fuertes que agotan antes el hormigón a compresión que la armadura traccionada. Digamos que para resistir compresiones muy fuertes, el hormigón necesita ayuda, haciendo necesario este tipo de refuerzo. Evidentemente también se producirán tracciones elevadas, pero esto se resuelve disponiendo la cunatía necesaria de armadura.

Su conocimiento puede resultar ventajoso también en otros casos, como se muestra en los ejemplos numéricos de la sección 14.

6.2 Conjunto de valores predeterminados por m_e

(ver ejemplos numéricos, Sección 14.2)

El valor de m_e resulta conocido a priori ya que es el resultado numérico de un cálculo previo repetitivo (por ejemplo, mediante cálculos mecanizados), de modo que la escala m_e puede ser utilizada independientemente de la posición esquemática que se muestra en el diagrama de dimensionamiento general de la norma DIN 4224.

Para cualquier posición de la reglilla, el índice principal m_e sobre el cursor permite disponer sobre la escala m_e de la reglilla el valor previamente fijado de m_e , permitiendo de esta manera leer los valores de los parámetros principales k_z , k_x , ϵ_{b1} , etc, según se muestra en la figura 4.

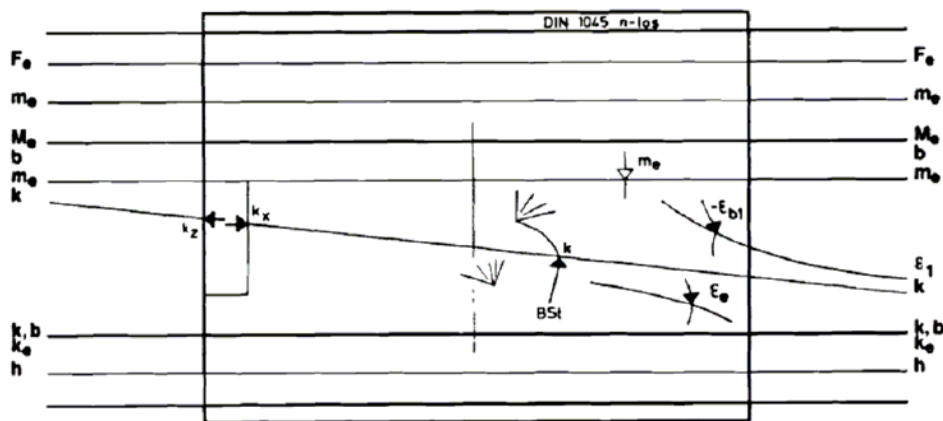


Figura 4

7. Parámetro de diseño k_h

Según la norma DIN 4224, los parámetros de diseño M_e , b y h están relacionados entre sí mediante la siguiente expresión:

$$k_h = \frac{h[cm]}{\sqrt{\frac{M_e[tm]}{b[m]}}}$$

A diferencia de m_e (que es adimensional), k_h tiene dimensiones.

Además, una vez fijada la clase de hormigón B_n , k_h está en relación directa con los parámetros m_e , k_z , k_x , ϵ_{b1} y ϵ_e .

k_h es un número variable entre aproximadamente 4 y 30 y en la *ARISTO Stahlbeton-940* se puede leer como se indica en los apartados 7.1 y 7.2 siguientes.

7.1 Lectura de los valores de k_h

Para la disposición de los esquemas descritos en el capítulo 5, el valor de k_h se puede leer en la escala C de la reglilla, en correspondencia con el valor h (canto útil) en la escala D del cuerpo de la regla (ver figura 3). Se podrá leer el valor de k_h , ayudándose con el cursor para colocar el índice B_n sobre la escala h . En realidad el conocimiento del parámetro k_h no es necesario para el cálculo con la *ARISTO-Stahlbeton 940*.

Su lectura, sin embargo puede resultar útil como control durante la disposición y verificación del cumplimiento del código²³, por lo que aparece como lectura intermedia en los ejemplos numéricos incluidos más adelante.

7.2 Conjunto de valores predeterminados por k_h

(Ver el ejemplo numérico § 14.3)

Si k_h se ha obtenido en un cálculo previo, se puede leer en la escala C en correspondencia con el valor h sobre la escala D; posteriormente se coloca el índice B_n del cursor sobre la escala h en correspondencia con el valor h (figura 3). Haciéndolo de esta forma, el planteamiento está terminado y todas las lecturas se pueden hacer como según lo indicado en el capítulo 5.

Partiendo directamente de k_h , es posible obtener las mismas lecturas simplemente haciendo coincidir el origen de las escalas principales²⁴. Situando entonces el valor de la clase de hormigón B_n en la escala h en correspondencia con el valor de k_h , podrán ser leídos inmediatamente los correspondientes valores de m_e , k_z , k_x , $-\epsilon_{b1}$ y ϵ_e (figura 5).

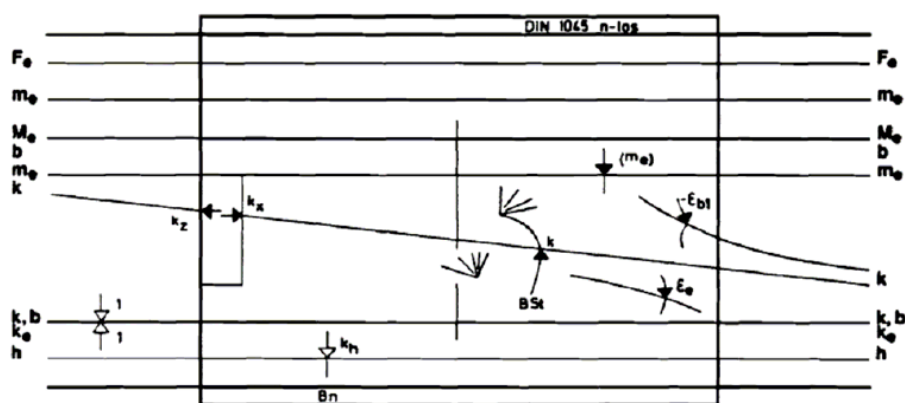


Figura 5

²³ Con la verificación del cumplimiento del código se está refiriendo a la comprobación que se hace, por parte de otro ingeniero distinto del autor de los cálculos, de la correcta ejecución de los mismos. En este caso, el de la comprobación de un cálculo previo ya realizado por otro, resulta útil y cómodo el empleo de este parámetro.

²⁴ El 1 de las escalas A y B y el 1 de las escalas C y D alineados, es decir la regla en posición neutra (Nota 2 de la traducción de Alessandro Manni).

Los valores asociados k_e y d se puede leer como se describe en los apartados 9.2 y 11.1 simplemente recolocando el valor de k con un desplazamiento del cursor, sin cambiar la posición de la reglilla. Por lo tanto, este método es particularmente adecuado para la creación de dimensionamientos tabulados sobre la base de valores prefijados de k_h , en base a los cuales, para cada valor determinado de la armadura F_e , es posible leer de forma inmediata los valores correspondientes de M_e , h y K_e .

8. Desplazamiento de la reglilla

En algunos casos, valores puntuales (k_h , m_e , etc.) o conjuntos de valores, solamente pueden ser leídos después de haber efectuado la inversión en la posición de la reglilla a la derecha o a la izquierda para la totalidad de la longitud de las escalas B o C. En la práctica a veces es necesario sustituir la posición del 1 (o la del 10) de la escala C, por la del 10 (o la del 1) de la misma escala C. Para facilitar esta operación puede utilizar el cursor pero con la siguiente advertencia, una vez realizada esta operación de inversión de la reglilla, debe ser colocada nuevamente a su posición original.

9. Cálculo de la armadura de acero

Con la *ARISTO-Stahlbeton 940* el cálculo de las armaduras de acero se puede efectuar de dos formas diferentes: con el valor k o con el valor k_e .

En términos de precisión, ambos métodos son adecuados, pero el método que emplea en parámetro k es más directo.

Dado que los enfoques son completamente diferentes, el método k permite una buena forma de verificar los resultados obtenidos con la metodología k_e y viceversa, como muestran claramente los ejemplos numéricos del capítulo 14.

9.1 Procedimiento empleando el parámetro k

En el caso de secciones rectangulares con armadura simple o doble²⁵, sometidas a flexión simple o compuesta²⁶, valen en general las siguientes expresiones:

$$F_e = F_{me} + \frac{N}{\left(\frac{\sigma_{eU}}{v} \right)}$$

$$F_e' = \alpha \cdot F_{me}$$

(N es negativo si es de compresión y positivo si es de tracción)

F_{me} es el porcentaje de armadura F_e , resultado de la sollicitación M_e , que se refiere al Momento flector. En ausencia de esfuerzo axial resulta $F_{me} = F_e$.

²⁵ La armadura simple se refiere a la disposición de armadura en la cara traccionada, la armadura doble hace referencia a la disposición de armadura tanto en la cara traccionada como en la comprimida. La cara traccionada siempre lleva la armadura correspondiente ya que el hormigón no es capaz de resistir, por sí solo, tracciones.

²⁶ Como ya se ha comentado, una sección está sometida a flexión simple cuando sobre ella actúa únicamente un momento flector. Si además actúa un esfuerzo axial, se dice que la sección está sometida a flexión compuesta. En este caso es necesario disponer también armadura en la cara comprimida de la sección.

F_{me} se determina con gran rapidez y facilidad de la siguiente manera²⁷:

- 1.- Situar el cursor conforme al esquema indicado, colocando B_n sobre h .
- 2.- Mover la reglilla de modo que sobre la escala C, en correspondencia con la línea principal del cursor, se lea el mismo valor de k que se ha obtenido previamente sobre la escala inclinada k (figura 6).

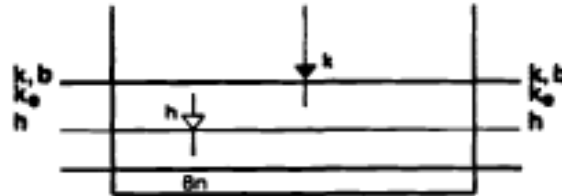


Figura 6

- 3.- Multiplicar por b , trasladando el cursor sobre la escala C, desde el valor de k al valor de b (figura 7).

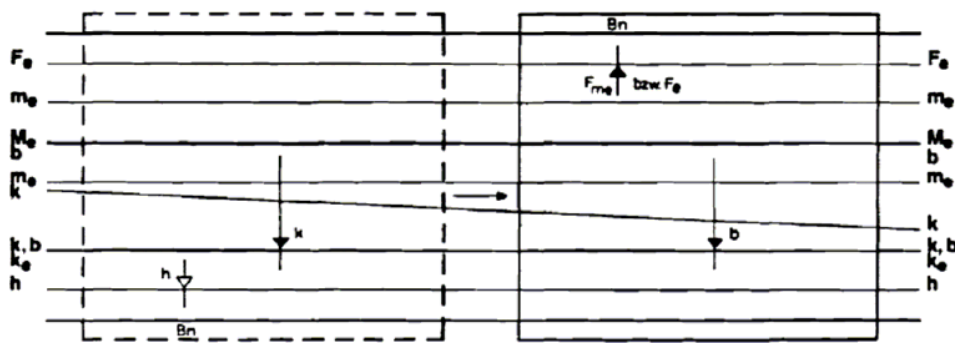


Figura 7

- 4.- Sobre la escala F_e se puede leer el valor de F_{me} en correspondencia con el índice B_n apropiado sobre el borde superior del cursor (figura 7).

Si escribimos

h = valor de h sobre la escala especial h en correspondencia con el índice inferior B_n del cursor.

F_{me} = valor de F_{me} sobre la escala especial F_e en correspondencia con el índice superior B_n del cursor.

Será entonces:

$$\frac{h}{k} \cdot b = F_{me}$$

²⁷ Ver el ejemplo 1 en el apartado 14.1, Cálculo de F_e con el parámetro k .

Esto también es válido para vigas con armadura en las dos caras. Notese que, en este caso, la lectura de k en la fase de planteamiento debe hacerse utilizando el trazo apropiado de los índices en abanico, elegido en función de la relación $h'/h = 0.07, 0.15, 0.20$ o 0.25 . Siempre con una simple configuración puede leerse el valor de α , del cual se obtiene con una simple multiplicación por F_{me} el área de la armadura comprimida F'_e para $h'/h = 0.07, 0.15, 0.20$ o 0.25 . La posterior corrección de F_{me} y F'_e con los factores ρ y ρ' no es, por tanto, necesaria.

En el caso de flexocompresión, para el cálculo de F_e es importante considerar la fracción de armadura correspondiente al esfuerzo longitudinal

$$\frac{N}{\left(\frac{\sigma_{eU}}{v} \right)}$$

con las siguientes condiciones:

BSt I	$v = 1,75$	$\sigma_{eU} = 1,26 \text{ t/cm}^2$
BSt III	$v = 1,75$	$\sigma_{eU} = 2,40 \text{ t/cm}^2$
BSt IV	$v = 1,75$	$\sigma_{eU} = 2,86 \text{ t/cm}^2$

Estos valores están tabulados en el cursor.

9.2 Procedimiento empleando el parámetro k_e

En el caso de armadura simple será²⁸:

$$F_e = \frac{M_e}{h} \cdot k_e + \frac{N}{\left(\frac{\sigma_{eU}}{v} \right)}$$

Para obtener el valor de k_e basta con leer el valor en la pequeña escala inclinada sobre la parte inferior del cuerpo de la regla utilizando el índice curvo apropiado en función del tipo de acero I, III o IV. La línea central del cursor visualiza k_e sobre la escala D (figura 8).

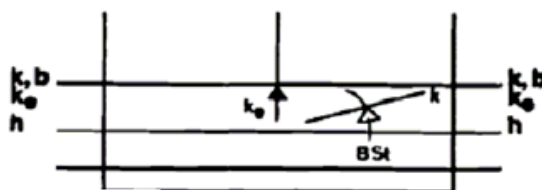


Figura 8

Para cálculos adicionales, también resulta útil dividir k_e por h , situado en la escala C, y multiplicarlo por M_e , es decir:

²⁸ Se refiere al caso de disponer únicamente armadura en la cara traccionada.

$$\frac{k_e}{h} \cdot M_e \quad \text{en lugar de} \quad \frac{M_e}{h} \cdot k_e$$

que numéricamente es lo mismo (figura 9).

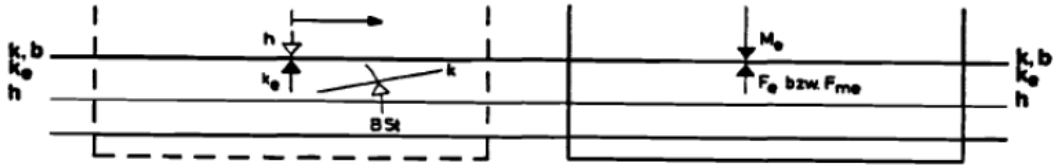


Figura 9

En el caso de armadura doble será²⁹:

$$F_e = \frac{M_e}{h} \cdot k_e \cdot \rho + \left(\frac{\sigma_{eU}}{v} \right) N$$

$$F_e' = \frac{M_e}{h} \cdot k_e' \cdot \rho'$$

Para obtener ρ y k_e , k debe colocarse en función de la relación h'/h utilizando uno de los trazos del abanico de índices 0.07, 0.15, 0.20 o 0.25, además se indica también el valor de m_e , que queda determinado en la escala m_e sobre la parte superior del cuerpo de la regla y puede leerse por medio del índice de color rojo m_e en la parte superior derecha del cursor.

Colocado de esta forma el valor de m_e , si ahora se hace coincidir con la línea principal del cursor el valor de k en la escala C, en correspondencia con el 10 del extremo derecho de la escala C se leerá el valor del producto $k_e \cdot \rho$ (figura 10).

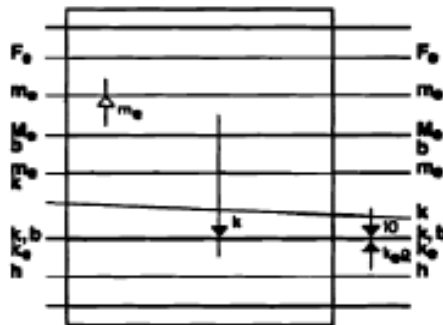


Figura 10

²⁹ Se refiere al caso de disponer armadura tanto en la cara traccionada, como en la comprimida.

Procediendo de forma análoga al caso de armadura simple:

$$\frac{k_e \cdot \rho}{h} \cdot M_e \quad \text{en lugar de} \quad \frac{M_e}{h} \cdot k_e \cdot \rho$$

Multiplicando el resultado por el factor α , se leerá también, según el esquema de configuración:

$$\frac{k_e \cdot \rho}{h} \cdot M_e \cdot \alpha = F_e'$$

como

$$\alpha \cdot k_e \cdot \rho = k_e' \cdot \rho'$$

resulta

$$F_e' = \frac{M_e}{h} \cdot k_e' \cdot \rho' = \alpha \cdot \frac{M_e}{h} \cdot k_e \cdot \rho$$

En caso de tracción compuesta³⁰, la armadura se dimensiona igual que para un caso de flexión simple con doble armadura, considerando aparte la contribución del esfuerzo longitudinal de tracción

$$\left(\frac{N}{\frac{\sigma_{eU}}{v}} \right)$$

(Ver § 9.1)

9.3 Orden de magnitud de F_e y F_e'

Según el cálculo de k del apartado 9.1, se tiene:

$$F_{me} [cm^2] = \frac{h [cm]}{k} \cdot b [m] \cdot \frac{\beta_R}{\beta_R^*}$$

con $\beta_R^* = 220 \text{ kg/cm}^2$ como valor fijo y considerando la disposición de las escalas especiales para el hormigón armado de la *ARISTO-Stahlbeton 940*, así como la disposición de los índices B_n del cursor, resulta, por tanto:

$B_n = 150$	$\beta_R = 105$	$\beta_R/\beta_R^* = 0,48$
$B_n = 250$	$\beta_R = 175$	$\beta_R/\beta_R^* = 0,80$
$B_n = 350$	$\beta_R = 230$	$\beta_R/\beta_R^* = 1,05$
$B_n = 450$	$\beta_R = 270$	$\beta_R/\beta_R^* = 1,23$
$B_n = 550$	$\beta_R = 300$	$\beta_R/\beta_R^* = 1,36$

³⁰ Se trata de un caso de flexocompresión, en el que el esfuerzo axial es negativo, es decir de tracción (flexotracción). En este caso, como el hormigón no es capaz por sí solo, de resistir esfuerzos de tracción, tiene que ser la armadura la que deba hacer frente a este esfuerzo, por eso el resultado es el mismo que en el la flexión simple, añadiendo posteriormente la armadura necesaria para la tracción.

Tomando en consideración solamente la primera cifra decimal en general se obtiene una aproximación suficiente, por tanto se puede hacer $\beta_R/\beta_R^* \approx 1$, por tanto será:

$$F_{me} [cm^2] \approx \frac{h[cm]}{k} \cdot b[m]$$

Según el cálculo de k_e del apartado 9.2, se tiene:

$$F_{me} [cm^2] = \frac{M_e [tm]}{h[m]} \cdot k_e$$

o bien³¹:

$$F_{me} [cm^2] = \frac{M_e [tm]}{h[cm]} \cdot 100 \cdot k_e$$

k_e es un número comprendido entre 0,30 y 1,20. En consecuencia, $100 \cdot k_e$ es un número comprendido entre 30 y 120. Para la componente axil³² resulta:

$$\Delta F_{me} [cm^2] = \frac{N[t]}{\left(\frac{\sigma_{eu}}{v} \right) [t/cm^2]}$$

El área de la armadura comprimida F'_e se determina fácilmente en función de F_{me} porque el factor α pasa a ser leído como factor principal.

10. Secciones no rectangulares

Las secciones no rectangulares se pueden tratar exactamente igual que las rectangulares, si la forma de la sección comprimida $x = h \cdot k_x$ es rectangular³³ (figura 11).

³¹ En la traducción italiana hay una errata en las unidades de h . Si k_e se multiplica por 100, h debe expresarse en cm, para que no varíe el resultado de la ecuación.

³² El esfuerzo o componente axil es el que está dirigido según el eje de la pieza, en dirección normal a la sección en estudio y puede ser de tracción o, como es habitual, de compresión.

³³ Esto es así porque, para resistir los esfuerzos de tracción en el hormigón armado y a efectos de cálculo, solamente se tienen en cuenta las armaduras. En esta zona el hormigón es como si no existiera ya que su contribución a resistir estos esfuerzos es prácticamente nula, por este motivo da igual la forma que tenga la parte traccionada.

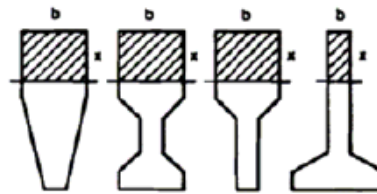


Figura 11

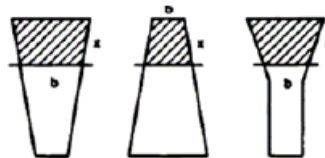


Figura 12

Si la sección transversal en la zona comprimida no es exactamente rectangular, se puede hacer una aproximación que consiste en tomar como zona comprimida una sección rectangular con una anchura igual a la menor de la zona comprimida de la sección real (figura 12).

10.1 Vigas en T³⁴

El cálculo de vigas en T puede realizarse como el de una sección rectangular, sustituyendo la anchura de la cabeza de compresión por una anchura ficticia b_i obtenida mediante la siguiente tabla:

d/h =										b/b _o =							
0,50	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0	
k _x =										100 · λ =							
0,50	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05	100	100	100	100	100	100	100	
	0,50	0,44	0,39	0,33	0,28	0,22	0,17	0,11	0,06	99	99	99	99	99	99	98	
		0,50	0,44	0,38	0,31	0,25	0,19	0,13	0,06	97	96	95	95	95	94	94	
			0,50	0,43	0,36	0,29	0,21	0,14	0,07	95	92	90	89	89	88	87	
				0,50	0,42	0,33	0,25	0,17	0,08	91	87	84	82	81	80	79	
					0,50	0,40	0,30	0,20	0,10	87	81	77	75	73	71	70	
						0,50	0,38	0,25	0,13	83	75	70	66	64	62	60	
							0,50	0,33	0,17	79	69	62	58	55	53	50	
								0,50	0,25	75	62	55	50	46	44	40	
									0,50	71	56	47	42	37	34	30	

³⁴ Según la nomenclatura alemana las dimensiones que definen una viga en T son las siguientes:

- b : anchura de la losa (vendría a ser la anchura de la cabeza de la T)
- b_o : anchura del alma de la viga (Sería la anchura del trazo vertical de la T)
- d : espesor de la losa (es el espesor de la cabeza de la T)
- h : distancia del borde comprimido al centro de gravedad de la armadura traccionada. (Por tanto se trata de una dimensión algo menor que el canto total de la viga).
- b_i : anchura ficticia de la viga rectangular equivalente. Es el número que se obtiene de la tabla a través del coeficiente λ , siendo $b_i = \lambda \cdot b$. Cuando este valor es 1; $b_i = b$. Esto quiere decir que la profundidad de la zona de hormigón comprimida es menor que el espesor de la losa y por tanto toda la sección en T, se comporta como si fuera rectangular.

(Tabla de coeficientes λ para determinar la anchura ficticia de la zona comprimida para el cálculo de una viga en T.- Número 220 del Deutschen Ausschusses für Stahlbeton³⁵).

Como primera aproximación se estima un valor de k_x y con la tabla precedente se determina el valor de 100λ en función de la relación d/h y b/b_o ³⁶. Posteriormente se sigue el mismo procedimiento que para una sección rectangular de anchura equivalente $b_i = \lambda * b$. Con el valor resultante k_x se puede reiterar, si es necesario, el procedimiento y mejorar el dimensionamiento.

Tal como se especifica en el número n° 220 de la norma DIN 4224, los valores de k_h^* se respetan mientras que el ajuste de la configuración no muestre valores de α . Conviene evitar vigas en T con armadura doble ($\alpha > 0$) por las razones indicadas en la norma DIN 4224³⁷.

Las vigas en T con sección transversales delgadas³⁸ ($b/b_o > 5$) se puede calcular con las tablas de la norma DIN 4224.

11. Anchura límite de fisura

11.1 Anchura máxima de abertura de fisuración

La comprobación de la fisuración según la norma DIN 1045, sección 17.6.2, se puede hacer con la *ARISTO-Stahlbeton 940* de forma rápida y sencilla.

A continuación se proporcionan las siguientes relaciones:

1.	Anchura de fisura	pequeña ³⁹
2.	Acero tipo I liso	$r = 40$
	Acero tipo III corrugado	$r = 80$
	Acero tipo IV corrugado	$r = 80$
3.	Porcentaje de carga permanente	70% ⁴⁰

El valor de k leído previamente, se coloca en la escala verde k_d , utilizando el índice verde apropiado en función del tipo de acero utilizado (I, III, IV). En correspondencia con el índice B_n , relativo a la clase de hormigón, se leerá d en la escala $\max d$ (figura 13).

³⁵ Comité Alemán para el Hormigón Armado. Viene a ser como nuestra Comisión Permanente del Hormigón.

³⁶ Ver el ejemplo 11 en 14.11

³⁷ En 1966, el procedimiento de cálculo sin n (relación de módulos de elasticidad) no había sido todavía autorizado en Alemania. El cálculo de armaduras dobles corresponde al empleo del procedimiento con n . Además para las vigas en T, el ancho eficaz de la losa colaborante solamente podía ser estimado mediante resultados experimentales, de los que se habían realizado un número muy reducido de modo que no se podía tomar ninguna conclusión válida. Por eso se hacía una recomendación en el sentido de evitar armaduras dobles.

³⁸ Se refiere a la anchura del alma, lo que se ha denominado b_o .

³⁹ La máxima anchura de fisura permitida por la Instrucción española es de 0,3 mm, que se reduce a 0,1 mm en ambientes agresivos.

⁴⁰ El porcentaje de carga permanente sobre el total tiene una influencia directa en el cálculo de la fisuración. La diferencia entre la carga total y la permanente es la sobrecarga, que tiene carácter temporal y por tanto cuando no actúa sobre la estructura, las fisuras tienden a cerrarse al disminuir las deformaciones correspondientes.

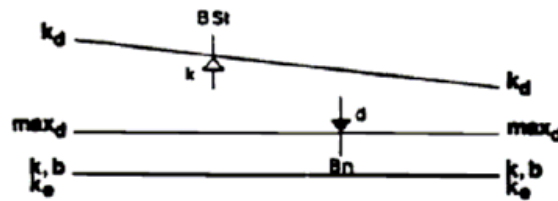


Figura 13

Para esta configuración y lectura es suficiente un solo desplazamiento de la reglilla (o del cursor). De esta forma el cursor (o la reglilla) puede permanecer inmóvil en la posición previa. La determinación de la máxima apertura de fisura puede, por tanto, hacerse antes o después de la configuración general de la regla, pero en todo caso antes del cálculo de la armadura F_e , de manera que el cursor pueda permanecer en su posición.

11.2 Conversión para otros valores de r y para otras relaciones entre carga permanente y carga total⁴¹.

Según la norma DIN 1045, la expresión 21 es:

$$d = r \cdot \frac{\mu_z}{\sigma_{ed}^2}$$

Para otros valores de r (ver la tabla 16 de la norma DIN 1045) $\max_d$ puede calcularse proporcionalmente.

Si la relación entre la carga permanente y la carga total es diferente de 0,7, entonces $\max_d$ se modifica proporcionalmente, siendo:

$$d, \text{ efectivo} = \max_d * \left[\frac{0,7}{\text{Carga permanente} / \text{Carga total}} \right]^2$$

o bien

$$d, \text{ efectivo} = \max_d * \left[\frac{\text{Carga total}}{\text{Carga permanente}} \right]^2 * 0,5$$

11.3 Conversión para mayores secciones de armadura.

Si tenemos un valor de F_e mayor que el necesario⁴², podremos tomar un valor más alto para el factor μ_z y un valor más bajo para σ_{ed} y tenemos la siguiente conversión:

⁴¹ En el cálculo de estructuras se distingue básicamente entre tres tipos de carga: La primera es el peso propio de la estructura; la segunda es la carga muerta, compuesta por todos los elementos que transmiten carga y que actúan siempre, pero no son resistentes como el pavimento en un puente o la tabiquería en un edificio y la tercera es la sobrecarga de uso que es la carga que puede actuar o no sobre la estructura como los vehículos o los trenes en un puente o la gente en un salón de actos. La suma de las dos primeras es la carga permanente y la carga total es la suma de las tres. En estructuras muy grandes la relación entre las cargas permanentes y la carga total es un número próximo a 1, porque el peso propio de la estructura es muy importante respecto a la carga total. Además de estas cargas, que habitualmente se denominan gravitatorias, hay otras como el viento, las dilataciones o las acciones sísmicas que en algunos casos tienen más importancia que las gravitatorias.

$$d, \text{ efectivo} = \max_d * \left[\frac{F_e \text{ real}}{F_e \text{ necesaria}} \right]^3$$

Resulta sencillo efectuar esta conversión con la *ARISTO- Stahlbeton 940*, utilizando la escala d_{zul} , d_{max} situada en el extremo derecho de la reglilla.

Para ello establecer el valor necesario de F_e en la escala F_e utilizando el índice B_n . A continuación, colocar la reglilla de modo que en la escala de conversión d_{zul} , $d_{m\acute{a}x}$ la línea principal del cursor indique el valor previamente determinado $\max d$.

Si ahora se coloca el cursor sobre el valor realmente utilizado de F_e , se podrá leer sobre la escala de conversiones el correspondiente valor efectivo de d (figura 14).

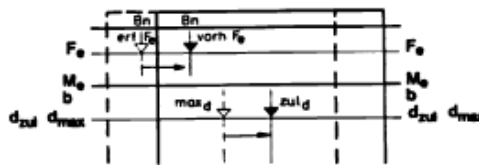


Figura 14

12. Elección de las barras de armadura en función del número (separación) y diámetro

Colocar el valor de cálculo F_e sobre la escala A y colocar la reglilla de modo que esto se corresponda con el número n^{43} de barras de armadura sobre la escala B. El índice c en la escala de C (alrededor de 1.13) vendrá a posicionarse en correspondencia con el diámetro requerido sobre la escala D.

Para mallas electrosoldadas⁴⁴, es posible sustituir el número n de barras por metro lineal por la separación entre barras (que corresponde al recíproco $1/n$). En este caso, el ajuste se realizará sobre la escala BI (figura 15).

⁴² Si se ha dispuesto una sección de armadura mayor que la estrictamente necesaria por cálculo, la tensión en el acero disminuye y mejoran las condiciones de la pieza frente a la fisuración. En algunas ocasiones con limitaciones muy fuertes frente a la fisuración, por ejemplo en depósitos de agua, la armadura que se dispone generalmente es mayor que la requerida por el cálculo con objeto de controlar la fisuración. En estos casos se tiene en cuenta el exceso de armadura realmente dispuesta, para la comprobación de la fisuración.

⁴³ No confundir este "n" genérico, con la relación entre módulos de elasticidad del acero y del hormigón.

⁴⁴ Se trata de parrillas formadas por armadura de diámetros predefinidos, que se unen entre si mediante soldadura eléctrica en todas las intersecciones de barras. Obviamente este tipo de armadura resulta muy cómodo cuando se trata de hormigonar losas u otros elementos superficiales.

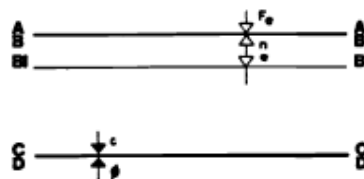


Figura 15

El orden en la posición o en la lectura puede cambiarse a voluntad. En cualquier caso, resulta siempre necesario colocar F_e en la escala A, n en la escala B, la separación e en la escala C, utilizar el índice c de la escala C y el diámetro de las barras ϕ sobre la escala D.

12.1 Dimensionamiento de la armadura a cortante

Utilizar el índice 60° (alrededor del 1,05 de la escala C) en lugar del índice c para leer el diámetro de la armadura sobre la escala D, de modo que en correspondencia con el número n (sobre la escala B) o de la separación e (sobre la escala C) se puede leer la sección horizontal de F_{es} de la armadura doblada⁴⁵ a 60° sobre la escala A (figura 16).

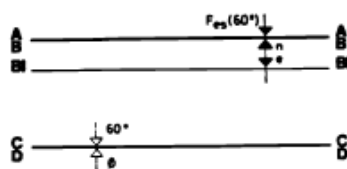


Figura 16

Análogamente, se utilizará el índice 45° en el extremo izquierdo de la escala C para las barras dobladas a 45° (figura 17).

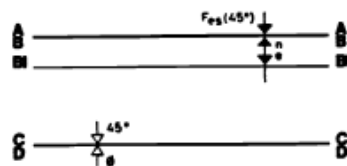


Figura 17

En estos casos el orden de la configuración también es reversible, análogamente a lo indicado en el punto anterior.

13. Diseño con el uso de los índices del cursor para n constante

Si, en lugar del cursor modelo *DIN 1045 n-los*, sobre la *ARISTO-Stahlbeton 940* se montan los

⁴⁵ Las barras inclinadas para resistir el esfuerzo cortante son barras principales de la armadura inferior de la pieza que, al llegar a los apoyos, se levantan, ya que empiezan a no ser necesarias para resistir la flexión. Al llegar a los apoyos el momento flector se hace cero o cambia de signo. El ángulo de inclinación de las barras solía ser de 45° , que es el mismo ángulo que forman las tracciones al llegar a los apoyos, donde los esfuerzos cortantes son más importantes. En la actualidad levantar barras es una práctica en desuso, empleándose cercos.

13.3 Criterios de diseño

Con referencia a lo que se ha descrito en el § 5, los ajustes y las lecturas se hacen de la siguiente forma:

Momento de cálculo M_e como en § 5.1

Anchura de la sección comprimida b como en § 5.2

Canto útil como en § 5.3, pero utilizando el índice σ_e (tensión en el acero) en lugar del índice B_n .

Clase de resistencia del hormigón B_n no aparece directamente en el cálculo. Se lee sin embargo la tensión en el hormigón, comparada con la tensión admisible, esta última en función de la clase de hormigón⁴⁸.

Coefficiente k_z como en § 5.5, pero sin el límite superior de 0,776. Si no resultase posible la lectura, puede determinarse con la siguiente expresión:

$$k_z = \frac{\sigma_e + \frac{2}{3} \cdot n \cdot \sigma_b}{\sigma_e + n \cdot \sigma_b}$$

Coefficiente k_x como en § 5.6, pero sin límite superior 0,538. Si no resultase posible la lectura, puede determinarse con la siguiente expresión:

$$k_x = \frac{n \cdot \sigma_b}{\sigma_e + n \cdot \sigma_b}$$

Deformación del hormigón ϵ_{b1} se elimina

Deformación del acero ϵ_e se elimina

Coefficiente de forma k como en § 5.9, pero la lectura se realiza mediante el índice vertical k . El tipo de acero aparece sólo de manera indirecta, con los índices de tensión admisible σ_e .

Relación h'/h se elimina

Factor α para tener en cuenta la armadura comprimida F'_e se elimina

Tensión en el hormigón σ_b

La tensión en el hormigón se lee en la escala σ_b , la larga línea diagonal sobre la reglilla (la línea base de la escalera k), en la cual la tensión del hormigón varía desde 30 hasta 200 kg/cm².

Parámetro de diseño m_e no tiene un significado especial en el diseño con n constante.

Parámetro de diseño K_n puede leerse y ajustarse como se describe en § 7.1 y 7.2.

Cálculo de F_e empleando el parámetro k

La colocación de k y la multiplicación por b se realiza como se describe en § 9.1. La lectura se realiza también en este caso sobre la escala F_e , pero utilizando el índice σ_b , en lugar del índice B_n .

⁴⁸ Ver 2.4 y las notas a pié de página correspondientes.

Cálculo de F_e con el uso del parámetro k_e

La colocación de k sobre la pequeña escala inclinada k (figura 9) se realiza con los índices relativos a las tensiones del acero σ_e en el borde inferior del cursor. Además sigue siendo válido lo descrito en § 9.2.

Orden de magnitud de F_e y F'_e

Para el cálculo con k se tiene:

$$F_e [cm^2] = \frac{h[cm]}{k} \cdot b[m] \cdot \frac{15}{n}$$

para el cálculo con k_e no cambia nada de lo descrito en el § 9,3.

Secciones no rectangulares

Se aplican los mismos principios descritos en el § 10.

Cálculo de vigas en T

Lógicamente, vale todo lo descrito en la Sección 10.1. Para calcular el valor de λ , sin embargo, son necesarios los valores de k_x , d/h , y b_0/b deducidos de las tablas pertinentes (por ejemplo, la tabla 16 de la antigua DIN 4224).

Ancho límite de fisura

No es habitual la comprobación del tamaño de abertura de fisura en el cálculo con n constante.

Elección de la armadura

Se aplica lo descrito en el § 12 y 12.1

14. Ejemplos numéricos con la norma DIN 1045 n-los

14.1 Diseño de una viga de sección rectangular

Ejemplo 1: Diseño de una sección rectangular sometida a flexión simple⁴⁹

$b = 0,25$ m; $h = 45$ cm; $M = 8$ tm; $N = 0$; Bn 250; BSt 42/50 RU (III).

Cálculos preliminares: No son necesarios ya que $M_e = M$ para $N = 0$

Planteamiento:

Colocar $b = 0,25$ sobre la escala b de la reglilla en correspondencia con $M_e = 8$ en el lado izquierdo de la escala M_e .

En correspondencia con $h = 45$ en la escala D , se lee $k_h = 7,96$ en la escala C . A continuación, debe colocarse el cursor de forma que el índice $B_n 250$ se sitúe en sobre el 45 de la escala h .

⁴⁹ Es decir la sección está sometida únicamente a un momento flector, sin esfuerzo axial ($N=0$).

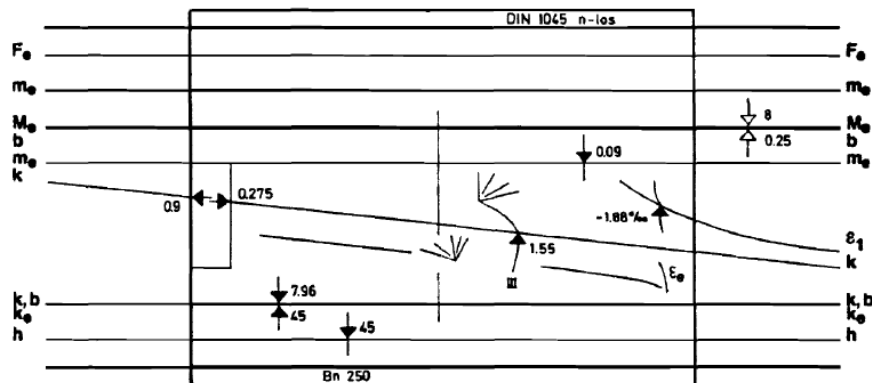


Figura 19

Lecturas (ver figuras 3 y 19):

$k_z = 0,9$; $k_x = 0,275$; $m_e = 0,09$; $\varepsilon_{b1} = -1,88 \text{ ‰}$; $\varepsilon_e = 5 \text{ ‰}$ (fuera de escala)

$k = 1,55$ (en correspondencia con el índice III); α = fuera de escala, por tanto se dispone armadura simple⁵⁰.

Cálculo de F_e con el parámetro k (figuras 6 y 7)

Colocar el índice $B_n 250$ en correspondencia con $h = 45$ y mover la reglilla para que en la escala C , en correspondencia con la línea central del cursor, se encuentre el valor de k leído previamente sobre la escala inclinada k (1,55). Desplazar el cursor hacia la derecha llevando sobre $b = 25$ de la escala C la línea central del cursor. En correspondencia con el índice $B_n 250$ se podrá leer entonces sobre la escala superior F_e el valor de la armadura traccionada $F_{me} = 8,25$. Como no hay esfuerzos normales a la sección, directamente será $F_e = 8,25 \text{ cm}^2$.

Cálculo de F_e con el parámetro k_e (figuras 8 y 9)

Colocar el índice curvo III, situado abajo y a la derecha en el cursor, en correspondencia con $k = 1,55$ de la pequeña escala inclinada k de la parte inferior del cuerpo de la regla. De esta forma, se podrá leer sobre la escala D : $k_e = 0,465$, es decir $100 \cdot k_e = 46,5$.

Dividiendo por $h = 45 \text{ cm}$ y multiplicando por $M_e = 8$ resulta:

$$F_e = \frac{46,5}{45} \cdot 8 = 8,26 \text{ cm}^2$$

Comprobación de la fisuración (figuras 13 y 20)⁵¹

Colocando el índice verde III del cursor sobre el valor 1.55 de la escala inclinada k_d en el extremo izquierdo de la reglilla, se podrá leer $d = 28,5 \text{ mm}$ sobre la escala verde $\max_d$ situada asimismo en el extremo izquierdo de la reglilla, en correspondencia con el índice verde $B_n 250$ del cursor. La comprobación a fisuración es favorable si se adoptan armaduras de diámetro inferior a 28.5 mm.

⁵⁰ Cuando el hormigón, por si solo, es capaz de resistir los esfuerzos de compresión, solamente es necesario disponer armadura en la cara traccionada (armadura simple), pero por motivos constructivos, en realidad siempre se coloca armadura en las dos caras, entre otras razones para prevenir una fisuración excesiva o para poder sujetar la armadura transversal formada generalmente por cercos cerrados en el contorno de la sección.

⁵¹ La comprobación de la fisuración consiste en calcular la anchura máxima de las fisuras, que inevitablemente tienen que producirse para garantizar que las barras de acero entran en carga, y ver que no sobrepasan unos valores límite fijados generalmente en las instrucciones oficiales de cada país. Por otra parte las limitaciones impuestas a los valores máximos de abertura de fisura están basados en estudios de durabilidad, en daños causados en estructuras reales y en primas pagadas por compañías aseguradoras y son prácticamente las mismas en todas las instrucciones.

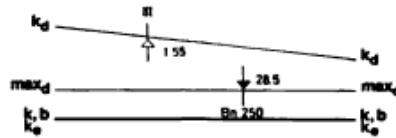


Figura 20

Elección de la armadura de acero

Se quieren disponer cuatro barras de acero. Dividiendo 8.25 de la escala A por 4 de la escala B, se leerá el área de cada una de las barras (2.06 cm^2) sobre la escala A y, en correspondencia con el índice c sobre la escala C, se leerá el diámetro correspondiente $d = 16.2 \text{ mm}$ sobre la escala D.

Dado que $4 \phi 16$ resultan ligeramente insuficientes, se dispondrán $1 \phi 18 + 3 \phi 16$. De la tabla situada en el reverso de la regla se observa que es equivalente a $2,54 + 6,03 = 8,57 \text{ cm}^2$ de acero⁵².

14.2 Comparación con la tabla 2 del número 220 del Deutschen Ausschusses für Stahlbeton

Ejemplo 2:

Determinar los factores k_z y k_x y las deformaciones ϵ_{b1} y ϵ_e relativos a $m_e = 0,15$ y compararlo con el valor correspondiente de la tabla 2 del número 220 del Deutschen Ausschusses für Stahlbeton

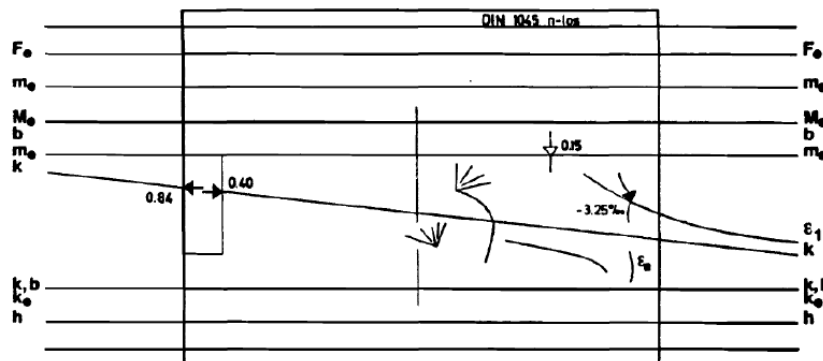


Figura 21

Planteamiento:

Independientemente de la posición de la reglilla, colocar el índice rojo m_e (lado derecho del cursor) sobre 0,15 de la escala m_e de la reglilla (entre 0,10 y 0,20).

Lecturas:

$k_z = 0,84$; $k_x = 0,40$; $\epsilon_{b1} = -3,25 \text{ ‰}$; $\epsilon_e = 5 \text{ ‰}$ (fuera de escala).

Estos resultados coinciden con los que figuran en la tabla 2 del número 220 del Deutschen Ausschusses für Stahlbeton.

⁵² En la actualidad no es práctica habitual mezclar diferentes diámetros al proyectar la armadura de vigas, debido principalmente a los altos costes que suponen el control y la supervisión de las obras.

14.3 Comparación con la tabla 5 del número 220 del Deutschen Ausschusses für Stahlbeton

Ejemplo 3:

Determinar los factores k_z y k_x y las deformaciones ε_{b1} y ε_e con referencia a $k_h = 7.3$, con hormigón B_n 350 y acero BSt 42/50 RU (III) y comparar los resultados con la tabla 5 del número 220 del Deutschen Ausschusses für Stahlbeton.

Planteamiento:

Colocar $k_h = 7,3$ de la escala C sobre un valor cualquiera h de la escala D (en este caso puede resultar cómodo elegir $h = 10$ en el extremo derecho de la escala), a continuación colocar el índice B_n 350 del cursor sobre el mismo valor de h (en este caso en el medio de la escala inferior h del cuerpo de la regla), o dejar la reglilla en posición normal, es decir con las escalas principales coincidiendo una sobre la otra, a continuación desplazar el cursor haciendo coincidir el índice B_n 350 sobre el valor $k_h = 7,3$ en la escala h (ver figura 22).

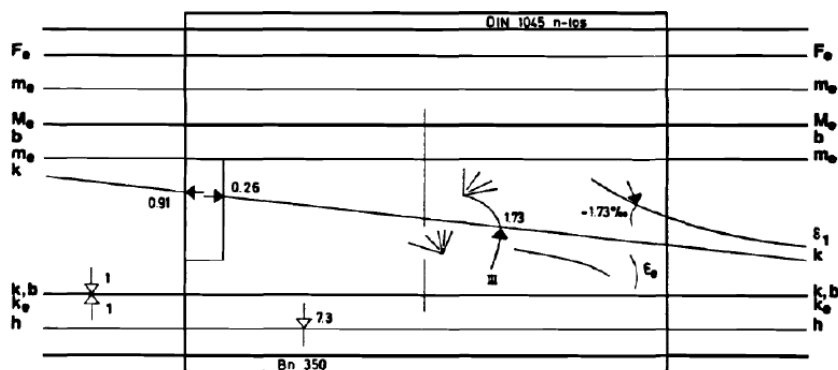


Figura 22

Lecturas:

$k_z = 0,91$; $k_x = 0,26$; $\varepsilon_{b1} = -1,73 \text{ ‰}$; $\varepsilon_e = 5 \text{ ‰}$ (fuera de escala).

$k = 1,73$; $\alpha = 0$ (fuera de escala).

Una vez conocido k , llevando el índice curvo III de la parte inferior del cursor sobre el valor $k = 1,73$ en la pequeña escala oblicua k sobre la parte inferior del cuerpo de la regla, se lee en la escala D: $k_e = 0,46$ o lo que es igual $100 \cdot k_e = 46,0$.

Estos resultados coinciden con los que figuran en la tabla 5 del número 220 del Deutschen Ausschusses für Stahlbeton. Las eventuales diferencias dependen del redondeo de los valores de la tabla, en particular de los valores de k_h con 2 cifras.

14.4 Diseño de una losa de cubierta

Ejemplo 4: Diseño de una losa de cubierta

$d/h^{53} = 10 \text{ cm}/8 \text{ cm}$; $M = 1,28 \text{ tm}$; $N = 0$; Hormigón B_n 250; Acero BSt IV.

⁵³ Según la nomenclatura alemana d es el canto real de la sección y h es el canto útil. Según la nomenclatura española es justo al contrario.

Cálculos preliminares:

Según la norma DIN 1045, sección 17.2.1 M debería estar en la relación $15 / (h+5)$, por lo tanto superior al dato de proyecto, es decir:

$$M = 1,28 \cdot 15 / 13 = 1.48 \text{ tm}; M_e = M = 1.48 \text{ con } N = 0.$$

Planteamiento:

Colocar el origen izquierdo de la escala b de la reglilla en correspondencia con $M = 1.48$ en el lado izquierdo de la escala M_e del cuerpo de la regla. En correspondencia con $h = 8$ de la escala D se podrá leer $k_h = 6,58$ sobre la escala C.

Colocar el índice B_n 250 del cursor en $h = 8$ de la escala inferior h del cuerpo de la regla (ver figura 3).

Lecturas:

($m_e = 0,132$; $100 \cdot m_e = 13.2$); $k_z = 0,86$; $k_x = 0,36$; $\varepsilon_{01} = -2,76 \text{ ‰}$

$\varepsilon_e = 5,0 \text{ ‰}$ (fuera de escala); $k = 1,20$; $\alpha = 0$ (fuera de escala).

Cálculo de F_e con el parámetro k:

Mantener el índice B_n 250 del cursor en correspondencia con $h = 8$. Mover la reglilla hasta tener el valor 1.20 de la escala C en correspondencia con la línea central principal del cursor y desplazar después este último en correspondencia con $b = 1$, es decir, al extremo izquierdo de la escala C. En correspondencia con el índice superior B_n 250 del cursor se podrá leer $F_e = 7,56 \text{ cm}^2$ sobre la escala superior del cuerpo de la regla, por no existir esfuerzos normales a la sección⁵⁴ (figuras 6 y 7).

Cálculo de F_e con el parámetro k_e :

Colocando $k = 1,20$ sobre el índice IV de la escala corta inclinada k de la parte inferior del cuerpo de la regla, se podrá leer sobre la escala D:

$$k_e = 0,41, \text{ por tanto } 100 \cdot k_e = 41$$

Dividiendo por $h = 8$ y multiplicando por $M_e = 1,48$ por medio de la reglilla, resulta:

$$\frac{41}{8,0} \cdot 1,48 = 7,6 \text{ cm}^2 = F_e \quad \text{al no existir esfuerzos normales a la sección (figuras 8 y 9).}$$

Comprobación de la fisuración

Colocando $k = 1,20$ sobre el índice verde IV R sobre la escala k_d , se lee sobre la escala situada debajo $\max_d = 29,5$ con B_n 250 (figura 13).

Elección de la armadura de acero

Se pretende utilizar malla electrosoldada con barras separadas 100 mm (10 barras por metro). Colocando el valor $F_e = 7.6 \text{ cm}^2$ en la escala A y dividiendo por 10 con la escala B, se puede leer el valor $d = 0.985 \text{ cm}^2$ en correspondencia con el índice c de la escala C, por tanto deberán adoptarse mallas electrosoldadas⁵⁵ $\varnothing 10 / 10 \text{ cm}$.

⁵⁴ Se recuerda que en caso contrario debe añadirse la armadura necesaria para que la sección sea capaz de resistir también y de forma simultánea el momento flector y el esfuerzo axial.

⁵⁵ Esto es: mallas electrosoldadas formadas por barras de acero de 10 mm de diámetro y separadas entre sí 10 cm. Aunque generalmente en las mallas electrosoldadas hay una dirección con diámetros mas gruesos, separaciones menores o ambas cosas a la vez, que en la otra, si no se indica lo contrario se entiende que el diámetro y la separación de las barras en la dirección perpendicular, son los mismos.

14.5 Diseño de una viga de sección rectangular, con armadura en las dos caras sometida a flexión compuesta.

Ejemplo 5: Diseño de una sección rectangular

$b/d/h = 0,20 \text{ m} / 40 \text{ cm} / 36 \text{ cm}$; $M = 4,4 \text{ t.m}$; $N = -15 \text{ t}$; Hormigón B_n 150; Acero BSt 42/50 RU (III).

Cálculos preliminares:

$h' = 4 \text{ cm}$; $h'/h = 0,09 \sim 0,10$; $y_e = 36 - 40/2 = 16 \text{ cm}$; $M_e = 4,4 - (-15 \cdot 0,16) = 6,8 \text{ tm}$ (ver § 5.1)

Planteamiento:

Mover la reglilla de modo que $M_e = 6,8$ en el lado izquierdo de la escala A coincida con $b = 0.20$ en la escala b situada debajo.

En correspondencia con $h = 36$ de la escala D se lee $k_h = 6,17$ sobre la escala C. Desplazar el cursor hasta que el índice B_n 150 se encuentre en correspondencia con $h = 36$ en la escala h.

Lecturas:

$m_e = 0,25$ (es necesario conocerlo, si se calcula F_e utilizando el parámetro k_e).

k_z y k_x fuera de escala; $\varepsilon_{b1} = -3,5 \text{ ‰}$ (fuera de escala); $\varepsilon_e = 3 \text{ ‰}$ (fuera de escala. Se adopta el valor límite); $k = 0,50$ para $h'/h = 0,10$ (valor intermedio entre los índices 0,07 y 0,15); $\alpha = 0.20$ para $h'/h = 0,10$

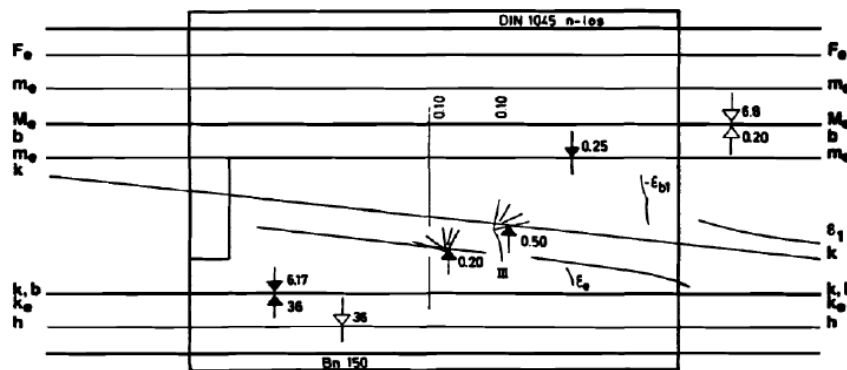


Figura 23

Cálculo de los coeficientes:

Si resulta absolutamente necesario, k_x se puede determinar con la siguiente relación:

$$\frac{-\varepsilon_{b1}}{-\varepsilon_{b1} + \varepsilon_e} = \frac{3,5}{3,5 + 3} = 0,538$$

k_z se calcula, como se ha visto en el capítulo 5.5, utilizando la fórmula:

$$k_z = \frac{1}{k_e \cdot \left(\frac{\sigma_{eU}}{v} \right)}$$

Para $k_e = 0,519$ (ver cálculo con el parámetro k_e , más abajo) y $\sigma_{eU}/v = 2,4$ entonces se tiene:

$$k_z = \frac{1}{0,519 \cdot 2,4} = 0,803$$

Cálculo de F_e y F'_e con el parámetro k :

Colocar el índice B_n 150 del cursor sobre $h = 36$ y desplazar la reglilla de modo que el valor $k = 0,50$ de la escala C se encuentre bajo la línea principal del cursor. Desplazar posteriormente el cursor hasta el 10 del extremo derecho de la escala C y, una vez hecho esto, situar bajo el cursor el origen 1 de la reglilla. Desplazando ahora el cursor sobre $b = 0,20$ de la escala C, en correspondencia con el índice superior B_n 150 del cursor, se leerá sobre la escala correspondiente en la parte superior del cuerpo de la regla $F_e = 9,83 \text{ cm}^2$ ($=F_{me}$).

Por tanto:

$$F_e = 9,83 + \left(\frac{-15}{2,4} \right) = 3,58 \text{ cm}^2 \quad F'_e = 0,20 \cdot 9,83 = 1,97 \text{ cm}^2$$

Cálculo de F_e y F'_e con el parámetro k_e :

Colocar $m_e = 0,25$ de la escala superior m_e del cuerpo de la regla con el índice rojo adecuado del cursor. Bajo la línea principal del cursor colocar el valor $k = 0,50$ de la escala C. Bajo el origen 10 de la escala C se podrá leer en la escala D:

$$k_e \cdot \rho = 0,519, \text{ es decir } 100 \cdot k_e \cdot \rho = 51,9.$$

Dividiendo por $h = 36$ y multiplicando por $M_e = 6,8$ resultará:

$$\frac{51,9}{36} \cdot 6,8 = 9,81 \text{ cm}^2 = F_{me}$$

Por tanto:

$$F_e = 9,81 + \left(\frac{-15}{2,4} \right) = 3,56 \text{ cm}^2 \quad F'_e = 0,20 \cdot 9,81 = 1,96 \text{ cm}^2$$

14.6 Determinación de la anchura b

Ejemplo 6:

Determinar el ancho útil de una sección rectangular para:

$M_e = 15 \text{ t.m}$; $h = 42 \text{ cm}$; hormigón clase Bn 350; acero BSt III,

$\epsilon_{b1} = -3,5 \text{ ‰}$; $\epsilon_e = 5 \text{ ‰}$ (no debe reducirse).

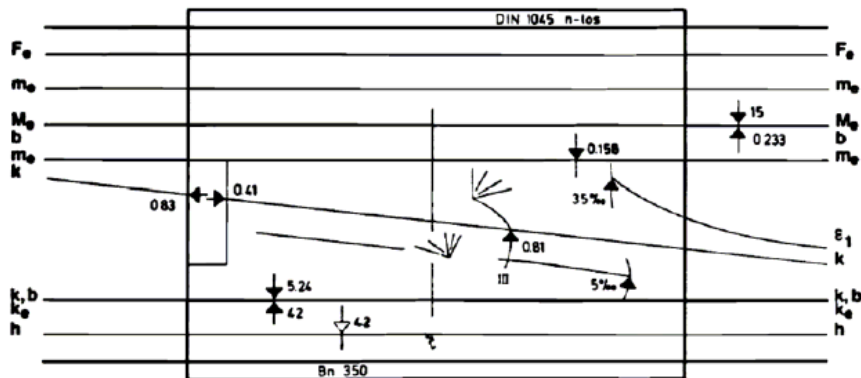


Figura 24

Cálculos preliminares: ninguno

Planteamiento:

En este caso no resulta posible colocar b en correspondencia con M_e , ya que es el parámetro que se desea encontrar. Por tanto, deberá colocarse en primer lugar el cursor con $B_n 350$ sobre $h = 42$, a continuación, mover la reglilla para que los valores $\epsilon_{b1} = -3,5 \text{ ‰}$ y $\epsilon_e = 5 \text{ ‰}$ puedan visualizarse simultáneamente sobre los respectivos índices en verde.

Lecturas:

En correspondencia con $M = 15$ en la escala A, se puede leer $b = 0,233 \approx 0,24$ m en la escala superior de b de la reglilla, también se pueden leer los siguientes valores: $m_e = 0,158$ (sobre la escala roja de la reglilla), $k_z = 0,83$; $k_x = 0,41$ y $k = 0,81$.

Alternativamente, se puede leer $k_h = 5,24$ debajo de $h = 42$ en las escalas C y D.

Cálculo de F_e :

como en el ejemplo 1

14.7 Determinación de la altura útil h

Ejemplo 7:

Calcular la altura útil de una viga rectangular para:

$M_e = 15$ tm; $b = 20$ cm; Hormigón clase $B_n 350$; Acero BSt III.

$\epsilon_{b1} = -3,5 \text{ ‰}$; $\epsilon_e = 5 \text{ ‰}$ (no debe reducirse).

Cálculos preliminares: ninguno

Planteamiento:

Colocar $M = 15$ tm sobre $b = 0,20$ m moviendo la reglilla, a continuación mover el cursor de modo que $\epsilon_{b1} = -3,5 \text{ ‰}$ y $\epsilon_e = 5 \text{ ‰}$ sean visualizados simultáneamente sobre los respectivos índices de color verde.

Lecturas:

$h = 45,4 \approx 46$ cm bajo el índice inferior $B_n 350$ del cursor. El resto como en los ejemplos 1 y 6.

14.8 Determinación de la clase de hormigón B_n

Ejemplo 8:

Determinar la clase de hormigón B_n para una viga rectangular teniendo:

$M = 15 \text{ tm}$; $b = 0,25 \text{ m}$; $h = 45 \text{ cm}$, en el caso en el que ϵ_e pueda ser reducido al 3 ‰.

Cálculos preliminares: ninguno

Planteamiento:

Colocar $M = 15 \text{ tm}$ sobre $b = 0,25 \text{ m}$ desplazando la reglilla, a continuación, mover el cursor de modo que el índice verde ϵ_e indique $\epsilon_e = 3 \text{ ‰}$.

Lecturas:

el valor $h = 45$ queda situado entre los índices $B_n 150$ y $B_n 250$, es decir un hormigón de clase $B_n 150$ resulta insuficiente, por tanto deberá adoptarse un hormigón de clase $B_n 250$ ⁵⁶.

Método alternativo:

Siempre colocando $M = 15 \text{ tm}$ en correspondencia con $b = 0,25 \text{ m}$ sobre las escalas A y B, poniendo $B_n 250$ en correspondiente con $h = 45 \text{ cm}$, resulta $\epsilon_e = 4,3 \text{ ‰} > 3 \text{ ‰}$, por tanto la clase de hormigón establecida es correcta.

El resto como en los ejemplos 1 y 6.

14.9 Momento admisible M

Ejemplo 9: Determinar el momento admisible⁵⁷ de una viga rectangular con:

$b = 0,20 \text{ m}$; $h = 42 \text{ cm}$; Hormigón clase $B_n 350$; Acero tipo BSt I.

El hormigón es aprovechado al máximo con una deformación de $\epsilon_{p1} = -3,5 \text{ ‰}$ ⁵⁸, mientras que el acero puede ser dimensionado para una deformación reducida del 3 ‰.

Cálculos preliminares: ninguno

Planteamiento:

En este caso no resulta posible colocar $b = 0,20$ en correspondencia con el valor de M , ya que este último es la incógnita que se desea encontrar. Por tanto, debe colocarse en primer lugar el valor $B_n 350$ del cursor sobre $h = 42$ y posteriormente mover la reglilla hasta el valor $\epsilon_e = 3 \text{ ‰}$.

Lecturas:

Siguiendo la disposición de la figura 3, para $b = 0,20$ se lee:

$M = 15,7 \text{ tm}$; $m_e = 0,193$; $k = 0,330$.

k_z y k_x son respectivamente iguales a 0,776 (ver § 5.5) y 0,538 (véase § 5.6).

Una lectura intermedia $k_n = 4,74$ en la escala C se puede hacer para $h = 42$ en la escala D.

⁵⁶ Los valores de las resistencias a compresión de los hormigones están normalizados, por lo que en teoría no hay ningún hormigón cuya resistencia esté entre los valores indicados y por tanto debe emplearse aquel cuya resistencia a compresión sea la inmediata superior al valor obtenido en el cálculo, en este caso 250 Kg/cm^2 .

⁵⁷ Se refiere al máximo momento de flexión que es capaz de soportar la viga definida del ejemplo, con unas dimensiones y una armadura definida previamente.

⁵⁸ Deformaciones superiores al $-3,5 \text{ ‰}$ no están permitidas por la normativa alemana para el hormigón. Se recuerda que deformaciones negativas indican acortamientos. El límite impuesto por la normativa española vigente es el mismo. Admitir deformaciones mayores implica mayores aberturas de fisura, lo que va en detrimento de la durabilidad.

Importante: debe recordarse volver a colocar posteriormente el cursor con $B_n = 350$ sobre $h = 42$ en la escala h

Cálculo de F_e con el parámetro k :

Colocar $k = 0,330$ de la escala C de la reglilla bajo la línea principal del cursor y mover el cursor a su vez en correspondencia con $b = 0,20$ m, siempre en la escala C . Se leerá entonces $F_e = 38,1$ cm^2 sobre la escala F_e .

Cálculo de F_e con el parámetro k_e :

Colocar el índice I del cursor sobre $k = 0,330$ en la escala corta inclinada k situada en la parte inferior del cuerpo de la regla y, consecuentemente, la línea central del cursor se posicionará sobre la escala D en correspondencia con $k_e = 1,01$ ($100 \cdot k_e = 101$). Se tiene entonces:

$$F_e = \frac{101}{42} \cdot 15,7 = 37,8 \text{ cm}^2$$

Evaluación de los resultados:

Una armadura de $38,1 \text{ cm}^2$ corresponde al 4,5% de la sección de hormigón F_b y por lo tanto, según DIN 1045, sección 17.2.3, resulta admisible⁵⁹.

No resulta habitual poder disponer una cantidad de armadura que corresponda exactamente con la obtenida en los cálculos⁶⁰, sobre todo teniendo en cuenta que las barras en cuestión deben servir para armar piezas diferentes como vigas, pilares, etc. En caso necesario, por lo tanto, puede volver a tomarse el valor normal de 5 ‰ de la deformación del acero ϵ_e , desplazando la reglilla a la izquierda, a continuación se repite la operación como se ha descrito anteriormente.

En el ejemplo visto anteriormente, esto implicaría:

$M = 12,85 \text{ tm}$; $m_e = 0,158$; $k_z = 0,83$; $k_x = 0,41$; $k = 0,425$; $k_h = 0,524$.

En este caso es mejor proyectar empleando el parámetro k_e , porque con el parámetro k estamos fuera de escala para la lectura de F_e ⁶¹. Colocando entonces el índice I del cursor sobre $k = 0,425$ en la escala inclinada k , se lee $k_e = 0,955$ y, análogamente a todo lo visto previamente, dividiendo por 42 y multiplicando por $M = 12,85$, se obtiene $F_e = 29,6 \text{ cm}^2$.

Si este resultado no fuese aceptable, también se puede invertir el proceso de cálculo, seleccionando un valor aceptable de F_e en lugar de ϵ_e (ver § 14.10).

⁵⁹ Todas las normas e instrucciones de hormigón armado exigen la disposición de unas cuantías mínimas de armadura, independientemente de los resultados obtenidos en los cálculos. Con esto se trata de prevenir una fisuración excesiva y hacer frente a aumentos imprevistos y accidentales de las cargas.

⁶⁰ Efectivamente, al tener un conjunto limitado de diámetros siempre debe buscarse la combinación de estos que más se acerca, por exceso, al valor teórico del área necesaria de armadura, obtenido en los cálculos. Habitualmente se emplea, para alcanzar este valor, un único diámetro, con lo que la cuenta resulta bastante sencilla, basta dividir el área obtenida por el área de una barra del diámetro seleccionado y redondear por exceso. Debe tenerse en cuenta que el número de barras que caben en una sección determinada es limitado ya que debe permitir el posterior hormigonado de la pieza.

⁶¹ Para usar este método resulta necesario transponer la reglilla llevando la línea principal del cursor sobre el origen derecho (10) de la escala C , a continuación debe colocarse debajo del cursor el origen izquierdo (1) de la escala C y mover el cursor en correspondencia con $b = 0,20$ en la escala C , así podrá leerse $F_e = 29,5$ en la escala superior apropiada del cuerpo de la regla, en correspondencia con $B_n 350$ (Nota 3 de la traducción de Alessandro Manni)

14.10 Momento admisible en función de la armadura F_e ⁶²

Ejemplo 10:

Determinar el momento admisible para la sección rectangular del ejemplo 9 en el caso en el que existan razones estructurales para adoptar una armadura formada por 6 ϕ 20.

Cálculos preliminares:

Colocar $F_e = 18,84 \text{ cm}^2$ (6 ϕ 20) en la escala F_e con el índice B_n 350 y, por medio de la reglilla, llevar el valor $b = 0,20 \text{ m}$ de la escala C bajo la línea central del cursor.

Para leer el valor de k , es necesario desplazar el cursor hasta llevar el índice B_n 350 sobre $h = 42$. En este caso, sin embargo, nos encontramos fuera de escala, por lo cual es necesario transponer la reglilla. Deberá entonces llevarse el cursor sobre el origen 1 de la escala C y se transpone la reglilla llevando posteriormente bajo el cursor el origen derecho, es decir el 10. Colocando ahora B_n 350 sobre $h = 42$ se leerá sobre C el valor:

$k = 0,665$ y, como ya se ha visto en § 9.1, pueden leerse los otros parámetros, encontrando $F_e = 18,84 \text{ cm}^2$.

Planteamiento:

Como en el ejemplo 9, posicionar el índice B_n 350 del cursor sobre $h = 42$ y mover la reglilla llevando $k = 0,665$ de la escala principal k inclinada bajo el índice I a la izquierda de la línea central del cursor.

Lecturas:

$m_e = 0,108$; $k_z = 0,87$; $k_x = 0,31$

$M = 9,1 \text{ tm}$ en correspondencia con $b = 0,20$ sobre la escala D y, si es necesario, $k_h = 6,33$ sobre la escala C en correspondencia con $h = 42$ sobre la escala D.

14.11 Diseño de vigas en T

Ejemplo 11: Cálculo de una viga en T con:

$b_o = 0,30 \text{ m}$; $b = 1,20 \text{ m}$; $h = 40 \text{ cm}$; $d = 12 \text{ cm}$, para $M = 40 \text{ tm}$, Hormigón B_n 250 y Acero BSt III.

Cálculos preliminares:

$b/b_o = 1,20/0,30 = 4$

$d/h = 12/40 = 0,30$

El valor estimado para $k_x = 0,30$ se muestra en la tabla incluida en el § 10.1, en la cual también se puede leer:

$100*\lambda = 100$, por tanto $\lambda = 1$, es decir $b_i = b = 1,20 \text{ m}$

Planteamiento:

Colocar debajo del valor $M = 40$ en la escala A, el valor $b = 1,20$ de la escala B (en este caso conviene emplear la división en rojo del extremo derecho de la escala, para no tener que sacar la reglilla⁶³), a continuación, colocar el cursor con el índice B_n 250 sobre $h = 40 \text{ cm}$.

Lecturas:

$k_x = 0,33$

⁶² Evidentemente para una sección de dimensiones constantes, cuanto mayor sea la cuantía de la armadura, mayor será el momento flector capaz de soportar dicha sección, es decir el momento admisible.

⁶³ También se puede colocar debajo de $M = 4 \text{ tm}$ el valor $b = 0,12 \text{ m}$, que resultan de dividir por 10 los datos originales (Nota 4 de la traducción de Alessandro Manni).

Corrección:

En la tabla del § 10.1 se encuentra, para $d/h = 0,30$ $k_x = 0,33$ y $b/b_0 = 4$, $100 \lambda = 99$, por tanto $\lambda = 0,99$ y en consecuencia, $b_i = 0,99 \cdot 1,20 = 1,19$ m.

Se trata de una pequeña corrección en la posición de la reglilla para la cual, en cualquier caso, no se modifica la lectura de k_x . Colocando $b = 1,19$ debajo de $M = 40$ se tienen por tanto las siguientes lecturas posteriores:

$m_e = 0,12$; $\varepsilon_{b1} = 2,5 \text{ ‰}$; $\varepsilon_e = 5 \text{ ‰}$ (fuera de escala); $k = 1,13$.

Cálculo de F_e con el parámetro k :

Posicionar $k = 1,13$ bajo la línea central del cursor moviendo la escala C, a continuación poner $b = 1,19$ m, siempre en la escala C, bajo el cursor.

Se leerá $F_e = 48,0 \text{ cm}^2$ bajo el índice $B_n 250$ en la parte superior del cursor.

Cálculo de F_e con el parámetro k_e :

Colocar $k = 1,13$ sobre la pequeña escala inclinada con el índice curvo III, con el cual se leerá $k_e = 0,485$, es decir $100 \cdot k_e = 48,5$ en la escala D. Dividiendo el valor de k_e por h y multiplicando por M se encuentra el valor de F_e . Es decir, dividiendo por $h = 40$ y multiplicando por 40 tm encontraremos $F_e = 48,5 \text{ cm}^2$.

15. Ejemplos numéricos con $n = 15$ ($n = 10$)

Los valores sin paréntesis se refieren al uso del cursor $L 940 / n = 15$, los que están entre paréntesis se refieren al cursor $L 940 / n = 10$.

15.1 Cálculo de una viga con sección rectangular

Cálculo de una viga de sección rectangular siendo:

$b = 0,20 \text{ m}$; $h = 42 \text{ cm}$ para $M = 4,1 \text{ tm}$ y $N = 0$ con $\sigma_e = 1,4 \text{ t/cm}^2$ y $\sigma_b = 70 \text{ kg/cm}^2$

Cálculos preliminares: ninguno, en efecto, $M = M_e$ cuando $N = 0$.

Planteamiento:

Colocar $M_e = 4,1$ en el lado izquierdo de la escala M_e en correspondencia con $b = 0,24$ en la escala b , situada debajo.

Debajo de $h = 42$ en la escala D se lee $k_h = 10,18$. A continuación, mover el cursor colocando el índice inferior $\sigma_e = 1,4$ sobre $h = 42$ de la escala h .

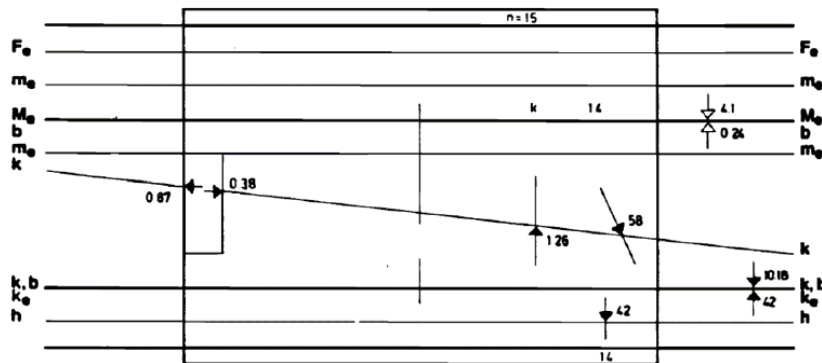


Figura 25

Lecturas (ver figura 25):

$$\sigma_b = 58 \text{ kg/cm}^2 \quad (67 \text{ kg/cm}^2)$$

$$k = 1,26 \quad (1,94)$$

$$k_z = 0,87 \quad (0,89)$$

$$k_x = 0,38 \quad (0,32)$$

$\sigma_b < 70 \text{ kg/cm}^2$, por tanto admisible.

Cálculo de F_e con el parámetro k :

Colocar el índice inferior del cursor $\sigma_e = 1,4$ sobre $h = 42$ en la escala. Manteniendo en esta posición el cursor, desplazar la reglilla hasta llevar $k = 1,26$ (1,94) bajo la línea central secundaria k del cursor. Desplazar el cursor hacia la derecha llevándolo sobre $b = 0,24$ y leer en la escala F_e debajo de $\sigma_e = 1,4$: $F_e = 8,01 \text{ cm}^2$ ($7,8 \text{ cm}^2$).

Cálculo de F_e con el parámetro k_e :

Colocar $k = 1,26$ (1,94) sobre la pequeña escala inclinada k en correspondencia con el índice 1,4 y leer sobre la escala D: $k_e = 0,819$; $10^* k_e = 81,9$ ($k_e = 0,803$; $10^* k_e = 80,3$). Dividiendo por $h = 42 \text{ cm}$ y multiplicando por $M_e = 4,1 \text{ tm}$ resulta:

$$\frac{81,9}{42} \cdot 4,1 = 8,00 \text{ cm}^2 \quad \left(\frac{80,3}{42} \cdot 4,1 = 7,84 \text{ cm}^2 \right)$$

15.2 Diseño de una losa de cubierta

Diseño de una losa de cubierta con una relación $d/h = 14/12$ para:

$$M = 0,835 \text{ tm}; \sigma_e = 2,8 \text{ t/cm}^2 \text{ y } \sigma_b = 80 \text{ kg/cm}^2$$

Cálculos preliminares: ninguno

Planteamiento:

Colocar $M_e = 0,835$ sobre el lado derecho de la escala M_e en correspondencia con el origen derecho 1 de la escala b situada debajo. Debajo de $h = 12$ en la escala D se lee $k_h = 13,18$. A continuación, se mueve el cursor colocando el índice inferior $\sigma_e = 2,8$ sobre $h = 12$ de la escala h .

Lecturas:

$$\sigma_b = 55 \text{ kg/cm}^2 \quad (65 \text{ kg/cm}^2)$$

$$k_z = 0,925 \quad (0,935)$$

$$k_x = 0,23 \quad (0,19)$$

$$k = 4,47 \quad (6,85)$$

$\sigma_b < 80 \text{ kg/cm}^2$, por tanto admisible.

Cálculo de F_e con el parámetro k :

Manteniendo colocado el cursor con el índice inferior $\sigma_e = 2,8$ sobre $h = 12$ de la escala h , desplazar la reglilla hasta llevar $k = 4,47$ (6,85) sobre la escala C debajo de la línea de fede secundaria k del cursor; mover el cursor desde $b = 1$ al origen 10 de la escala C . Leer sobre la escala F_e debajo de $\sigma_e = 2,8$: $F_e = 2,68 \text{ cm}^2$ ($2,63 \text{ cm}^2$).

Cálculo de F_e con el parámetro k_e :

Colocar $k = 4,47$ (6,85) sobre la pequeña escala inclinada k en correspondencia con el índice 2,8 y leer en la escala D : $k_e = 0,386$; $100 \cdot k_e = 38,6$ ($k_e = 0,383$; $100 \cdot k_e = 38,3$). Dividiendo por $h = 12 \text{ cm}$ y multiplicando por $M_e = 0,835 \text{ tm}$ resulta:

$$\frac{38,6}{12} \cdot 0,835 = 2,69 \text{ cm}^2 \quad \left(\frac{38,3}{12} \cdot 0,835 = 2,66 \text{ cm}^2 \right)$$

16. Bibliografía

- El Hormigón Armado. Rudolf Saliger. Editorial Labor. 2ª Edición, 2ª reimpresión corregida y ampliada. 1963.
- Hormigón Armado. Benno Löser. Editorial El Ateneo. 2ª Edición, 1ª reimpresión. 1966.
- Hormigón Armado. Fernando Moral. Editorial Dossat. 6ª Edición. 1962.
- Proyecto de Estructuras de Hormigón. George Winter y Arthur H. Nilson. Editorial Reverté. 1977.
- Proyecto y Cálculo de Estructuras de Hormigón Armado para Edificios. José Calavera. Intermac. 2ª Edición. 1991.
- Hormigón Armado. Pedro Jiménez Montoya, Álvaro García Meseguer y Francisco Morán Cabré. Editorial Gustavo Gili. 12ª Edición. 1987.
- Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08. Gobierno de España. Ministerio de Fomento. 2008