

	PAGINA		PAGINA
MINISTERIO DE AGRICULTURA			
Orden de 28 de noviembre de 1973 por la que se aprueba el Reglamento Técnico de Control y Certificación de Semillas de Cereales de Fecundación Autógama.	24222	Corrección de errores de la Orden de 18 de octubre de 1973 por la que se concede a «Montubo, S. A.», el régimen de reposición con franquicia arancelaria para la importación de coils y banda de acero, por exportaciones previamente realizadas de tubos de acero soldado, estructuras de tubo de acero y sus partes.	24257
MINISTERIO DE COMERCIO			
Decreto 3177/1973, de 23 de noviembre, por el que se suspende por tres meses la aplicación de los derechos arancelarios establecidos a la importación de algunos productos alimenticios.	24226	SECRETARIA GENERAL DEL MOVIMIENTO	
Orden de 22 de noviembre de 1973 por la que el Técnico Comercial del Estado don Ernesto Tejedor Chilida, cesa en el cargo de Delegado Regional de Comercio en Oviedo.	24232	Orden de 10 de diciembre de 1973 por la que se nombra Subjefe provincial del Movimiento de Tarragona a don Fernando Fernández Mesa.	24232
Orden de 6 de diciembre de 1973 por la que se deja sin efecto la separación del servicio que le fué impuesta en 6 de mayo de 1941 a don Victoriano Gorostegui Terán, ex Jefe de segunda clase de la Inspección General de Buques.	24232	ADMINISTRACION LOCAL	
Orden de 13 de diciembre de 1973 sobre fijación del derecho regulador para la importación de productos sometidos a este régimen.	24226	Resolución de la Diputación Provincial de Ciudad Real referente al concurso restringido de méritos para proveer en propiedad la plaza de Médico, Jefe de Servicio, de Anestesiología, Transfusión y Reanimación de la Beneficencia Provincial.	24244
Orden de 13 de diciembre de 1973 por la que se concede a la Clínica Carverra, de Madrid, la importación temporal de material de ortodoncia para su reexportación y reventa al extranjero.	24227	Resolución de la Diputación Provincial de La Coruña referente al concurso para proveer la plaza de Archivero Bibliotecario.	24244
		Resolución de la Diputación Provincial de La Coruña referente a la oposición para proveer dos plazas de Delineantes.	24244

I. Disposiciones generales

PRESIDENCIA DEL GOBIERNO

INSTRUCCION para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado, aprobada por Decreto 3062/1973, de 19 de octubre. (Conclusión.)

ANEJO 3

Recomendaciones prácticas para la utilización de los conglomerantes

A continuación se incluye un cuadro con diversas recomendaciones relativas al empleo de los conglomerantes de categoría no inferior a la 250, únicos admitidos por esta Instrucción en su artículo 5.º

Interesa destacar que el cuadro se da, con carácter general, a título de mera indicación y que, por tanto, los datos que en él aparecen no deben ser interpretados como prescripciones absolutas sin excepción posible. En particular, los relativos a las columnas UTILIZABLE EN e INDICADO PARA no pretenden tener un carácter limitativo, puesto que la clase y categoría del cemento no es más que una de las muchas variables que influyen en la calidad y durabilidad del hormigón. En cambio, conviene tener presente que el hacer caso omiso de las recomendaciones de la columna NO INDICADO PARA supone un riesgo nada despreciable en muchos casos.

En fin, y abundando en las ideas anteriores, quede claro que en la información facilitada por el cuadro se incluyen una serie de normas que es prudente respetar en la gran mayoría de los casos, pero que pueden ser modificadas en ocasiones especiales una vez hechos los convenientes estudios.

ANEJO 4

Normas para la utilización del cemento aluminoso

Preámbulo.

Para la correcta utilización del cemento aluminoso en sus distintas aplicaciones se tendrán en cuenta las normas generales válidas para la confección de morteros y hormigones de cemento portland, con excepción de aquellas que se refieren a

los siguientes extremos, en los cuales deberán seguirse las instrucciones específicas para dicho cemento que a continuación se señalan:

1. Materiales.

1.1. El cemento aluminoso deberá cumplir con las normas exigidas al tipo CA 350 en el Pliego de Condiciones para la Recepción de Conglomerantes Hidráulicos.

1.2. El cemento aluminoso no deberá contener más de 0,1 por 100 de azufre.

1.3. Prohibición total de utilizar áridos que contengan álcalis liberables, como puedan ser las arenas procedentes de elementos graníticos, esquistosos, micáceos y todo constituyente más o menos degradado o descompuesto, así como los granulados de escoria.

1.4. Prohibición total de utilizar arenas que contengan fracciones inferiores a 0,5 mm.

1.5. Prohibición del uso de cualquier tipo de aditivo.

2. Equipos y útiles de trabajo.

2.1. Los equipos y útiles de trabajo estarán limpios y sin trazas de otros cementos, cal ni yeso.

3. Dosificación.

3.1. Dosificar los morteros y hormigones con un mínimo de agua, de tal forma que la relación agua/cemento no exceda de 0,4.

3.2. El contenido mínimo de cemento será de 400 kg/m³ para asegurar la adecuada docilidad y compacidad en ausencia de finos en la arena.

4. Puesta en obra del hormigón.

4.1. Se utilizará el vibrado para la puesta en obra del hormigón.

4.2. Además de las prescripciones que sobre la temperatura de los áridos y del agua de amasado se citan para la confección de hormigones de cemento portland, deberá ponerse especial cuidado en evitar que la del hormigón de cemento aluminoso recién preparado alcance valores superiores a los 25° C. Los áridos y el agua, en tiempo caluroso, no estarán expuestos al sol.

RECOMENDACIONES PRACTICAS PARA LA UTILIZACION DE LOS CONGLOMERANTES

Conglomerante	Relativas a los propios conglomerantes						Relativas al hormigón		
	Almacenamiento	No mezclar con	Utilizable en		Indicado para	No indicado para	Amasado	Curado	Otras recomendaciones
			Obras de hormigón en masa	Obras de hormigón armado					
P-250	Normal	SF-250 CA-350	Todas.	Todas, salvo las que requieran altas resistencias.		Obras en ambientes agresivos.	Normal	Normal	
P-350	Cuidado		Todas, salvo las de grandes espesores.	Todas.		— Obras en ambientes agresivos. — Macizos de gran volumen.	Cuidado	Cuidado, especialmente en los primeros días.	
P-450	Muy cuidado		— Sólo en casos excepcionales. — Nunca en obras de grandes espesores.	Todas, especialmente las que requieran altas resistencias.		— Obras que requieran altas resistencias iniciales. — Elementos resistentes de pequeño espesor.	— Obras en ambientes agresivos. — Macizos de gran volumen. — Piezas de mucho espesor. — Elementos en los que sea peligrosa la fisuración por retracción.	Muy cuidado.	
PAS-250	Normal	SF-250 CA 350	Todas.	Todas, salvo las que requieran altas resistencias.	Obras situadas en terrenos yesíferos exentos de sulfato magnésico.	Obras en medios que contengan sulfato magnésico	Normal	Cuidado, especialmente los primeros días.	— No hormigonar con temperaturas menores de + 5° C. — Incrementar los recubrimientos de las armaduras.
PAS-350	Cuidado		Todas, salvo las de grandes espesores.	Todas.					
PS-250	Normal	SF-250 CA-350	Todas.	Todas, salvo las que requieran altas resistencias.	Obras situadas en ambientes muy ligeramente agresivos.	— Obras en ambientes agresivos o muy secos. — Obras que requieran altas resistencias iniciales. — Obras en las que no se admita la existencia de manchas.	Normal	Prolongado	— No hormigonar con temperaturas menores de + 2° C.
PS-350	Cuidado			Todas.					
PHA-250	Normal	SF-250 CA-350	Todas.	Todas, salvo las que requieran altas resistencias.	— Obras situadas en ambientes de agresividad moderada. — Obras marítimas, si la compacidad del hormigón es buena.	— Obras de poco espesor y mucha superficie libre, como pavimentos. — Obras en las que no se admita la existencia de manchas.	Normal	Prolongado y muy cuidado.	— No hormigonar con temperaturas menores de + 5° C.
PHA-350	Cuidado			Todas.					

SF-250	Normal	Los demás	Todas.	Todas, salvo las que requieran altas resistencias.	<ul style="list-style-type: none"> - Obras situadas en terrenos yesíferos. - Obras marítimas 	<ul style="list-style-type: none"> - Hormigones de consistencia seca - Obras en ambientes muy secos. - Obras en contacto con ácidos minerales. 	<ul style="list-style-type: none"> - Imprescindible una perfecta homogeneidad de la mezcla. - Evitar exceso de agua. 	Prolongado y muy cuidado.	<ul style="list-style-type: none"> - No hormigonar con temperaturas menores de + 5° C.
PUZ-250	Normal	SF-250 CA-350	Todas.	Todas, salvo las que requieran altas resistencias.	<ul style="list-style-type: none"> - Hormigones fabricados con áridos que serían reactivos con los cementos tipo portland. - Obras situadas en ambientes de agresividad moderada. - Obras marítimas 	Obras en ambientes muy agresivos.	Normal	Prolongado y cuidado, especialmente en climas secos con temperaturas extremas	
PUZ-350	Cuidado		Todas.						
CA-350	Cuidado	Los demás	<ul style="list-style-type: none"> - Sólo en casos excepcionales. - Nunca en obras de grandes espesores. 	<ul style="list-style-type: none"> - Cuando se requieran muy altas resistencias a las 24 horas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Obras situadas en terrenos yesíferos. - Obras situadas en ambientes de agresividad moderada. - Obras marítimas - Obras a realizar en tiempo frío. - Obras de carácter refractario. 	<ul style="list-style-type: none"> - Macizos de gran volumen. - Piezas de mucho espesor. - Hormigones muy plásticos o fluidos. - Obras en ambientes muy agresivos. - Dosificaciones menores de 400 kg/m³. - Espesores de hormigones superiores a 30 cms. 	<ul style="list-style-type: none"> - Muy cuidado. Evitar exceso de agua: relación A/C \geq 0,4. - No emplear ningún aditivo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Muy cuidado, y enérgico especialmente en las 24 primeras horas cuando se trata de piezas de pequeño espesor o durante 48 horas para piezas de mayores dimensiones. 	<ul style="list-style-type: none"> - Incrementar los recubrimientos de las armaduras. - Compactar cuidadosamente (vibrado). - Prohibir el uso de áridos que contengan álcalis libres. - Prohibir en la arena el uso de las fracciones inferiores a 0,5 milímetros. - El hormigón recién amasado deberá mantenerse a una temperatura inferior a 25° C. - Véase anejo 4

4.3. En el hormigonado en tiempo frío las precauciones a tomar serán:

a) Asegurar que la temperatura del hormigón recién elaborado sea suficiente para que pueda permanecer por encima de los 0° C., hasta que se haya iniciado el fraguado, y con él, las reacciones exotérmicas de hidratación del cemento.

b) No deberán utilizarse áridos congelados o con hielo.

c) Deberá controlarse rigurosamente la humedad de los áridos.

4.4. El espesor máximo de las capas de hormigón, si no se adoptan precauciones especiales, será de 30 cm. El llenado de las capas debe distanciarse entre sí veinticuatro horas, dejando sin alisar la superficie superior para obtener una mejor adherencia.

5. Curado.

5.1. Debe efectuarse un curado inicial del hormigón mediante aspersión o riego con agua fría, en forma continuada una vez finalizado el fraguado, para evitar que la temperatura de la masa sobrepase los 25° C. Habitualmente, esta operación finalizará a las veinticuatro horas de la puesta en obra del hormigón, para piezas de pequeño espesor, debiéndose prolongar hasta alcanzar las cuarenta y ocho horas en piezas de mayores dimensiones.

5.2. Es conveniente, igual que para el cemento portland, evitar la desecación prematura de los elementos constructivos ya elaborados, especialmente en ambientes calurosos y secos. Una buena recomendación práctica es conservarlos a cubierto y sin que lleguen a sobrepasar los 25/30° C., pudiendo ser necesario regarlos periódicamente durante los primeros días.

5.3. Se prohíbe totalmente el curado térmico.

6. Cálculo y proyecto.

6.1. Como resistencia característica del hormigón se adoptará la obtenida a la edad de veinticuatro horas.

6.2. Se asegurará un mayor recubrimiento de las armaduras que el exigido con hormigones fabricados con cemento normal ya que los hormigones de cemento aluminoso son menos básicos que los de cemento portland, y la baja relación agua/cemento hace a los hormigones de cemento aluminoso más porosos y propensos a la carbonatación.

ANEJO 5

Homologación de la adherencia de barras corrugadas

CAPITULO I

NÚMERO DE ENSAYOS Y EXIGENCIAS MÍNIMAS

Conforme a las recomendaciones del Comité Europeo del Hormigón, se realizarán 25 ensayos de adherencia por diámetro adoptándose como diámetros a ensayar 8, 16 y 32 mm., que definen los tres grupos de diámetros siguientes:

- Ø 8 para la serie fina (6, 8 y 10)
- Ø 16 para la serie media (12, 14, 16, 20)
- Ø 32 para la serie gruesa (25, 32, 40)

Si la gama de fabricación carece totalmente de alguna serie, se ensayarán solamente las barras que definen las restantes series.

Se realizarán ensayos de homologación por cada tipo de grabado, caso de fabricar aceros de distinto límite elástico pero con igual grabado, solamente será necesaria la homologación de la calidad de menor límite elástico.

Para cortar las barras a ensayar, el fabricante mandará al laboratorio 25 barras de 10 m. de longitud por cada diámetro. El fabricante mandará las barras que se correspondan lo más exactamente posible con los valores garantizados mínimos de resaltes. En el laboratorio de ensayo se medirán los resaltes y se elegirán cinco barras por diámetro, de las que tengan valores más desfavorables para el ensayo de adherencia. De cada barra se cortarán cinco muestras, formándose así las 25 muestras que constituye la serie por diámetro.

En el certificado de homologación figurarán los valores geométricos de los resaltes correspondientes a las muestras ensayadas. Para comprobaciones posteriores, bastará con un control geométrico de los resaltes y comprobar que los valores medidos son más favorables, respecto a la adherencia, que los que figuran en el certificado de homologación.

La realización de los ensayos se ajustará al procedimiento descrito a continuación.

CAPITULO II

ENSAYO DE ADHERENCIA DE ACEROS PARA ARMADURAS DE HORMIGÓN ARMADO

1. Objeto.

La presente norma tiene por objeto determinar las características convencionales de adherencia de los aceros utilizados como armaduras en construcciones de hormigón armado.

2. Fundamento del ensayo.

El método consiste en someter a flexión simple las vigas de ensayo hasta la rotura total de la adherencia, en cada una de las dos semivigas, midiendo al tiempo el deslizamiento de los dos extremos de la barra.

3. Probetas de ensayo.

3.1. *Número de probetas:* Las barras corresponderán a tres diámetros: Grande, medio y pequeño, y se ensayarán cinco muestras por barra y cinco barras por diámetro.

3.2. *Forma y medidas:* Serán vigas formadas por dos bloques paralelepípedicos en hormigón armado, unidos en su parte inferior por la armadura en estudio, y en su parte superior por una rótula de acero (figura 1 y 2).

Las dimensiones de las probetas dependen del diámetro de la barra estudiada.

Para barras de diámetro inferior a 16 mm., serán las de la figura 3.

Para barras de diámetro igual o superior a 16 mm., serán las de la figura 4.

3.3. *Armaduras auxiliares:* Serán barras lisas de acero dulce. Las figuras 5 y 6 dan el detalle de las armaduras para los dos tipos de probetas.

3.4. *Composición y mezcla de hormigón:* La composición deberá ser:

Grava rodada de granulometría 5/15 ó 4/16	1.300 kg.
Arena de granulometría 0/2	660 kg.
Cemento portland P-350	250 kg.
Agua	185 l.

La mezcla deberá ser hecha mecánicamente y, a ser posible, en hormigonera de eje vertical.

La duración del amasado será al menos de tres minutos hasta la adición del agua, prolongándose el mezclado durante tres minutos más.

3.5. *Confección, desencofrado y conservación de probetas:* Serán hormigonadas en horizontal en moldes metálicos.

El hormigón deberá ser vibrado por aguja o mesa vibrante y alisado después con llana.

Deberán cubrirse con plástico hasta el desencofrado, que se hará tres días después de su endurecimiento.

Ya desencofradas serán conservadas veinticinco días a 20 ± 2° C. de temperatura y 60 ± 5 por 100 de humedad relativa.

3.6. *Resistencia del hormigón:* Será determinada en probeta cúbica de 20 cm., de lado o en probeta cilíndrica de 15 × 30, confeccionadas y conservadas en iguales condiciones que las vigas.

Como mínimo se confeccionarán tres probetas por amasada.

La resistencia media, a los veintiocho días, deberá estar comprendida entre 230 y 320 kp/cm², si se mide en probeta cúbica o entre 185 y 260 kp/cm² si se mide en probeta cilíndrica.

4. Requisitos especiales.

Las barras a ensayar deberán estar en estado bruto de fabricación, exentas de calamina no adherente, sin trazas de herrumbre y cuidadosamente desengrasadas.

La longitud de adherencia ha de ser diez veces el diámetro nominal de la barra y localizada en la zona central de los dos bloques de hormigón. Fuera de estas dos zonas, la barra estará cubierta de un manguito liso de naturaleza plástica, que impida el contacto con el hormigón.

5. Procedimiento operatorio.

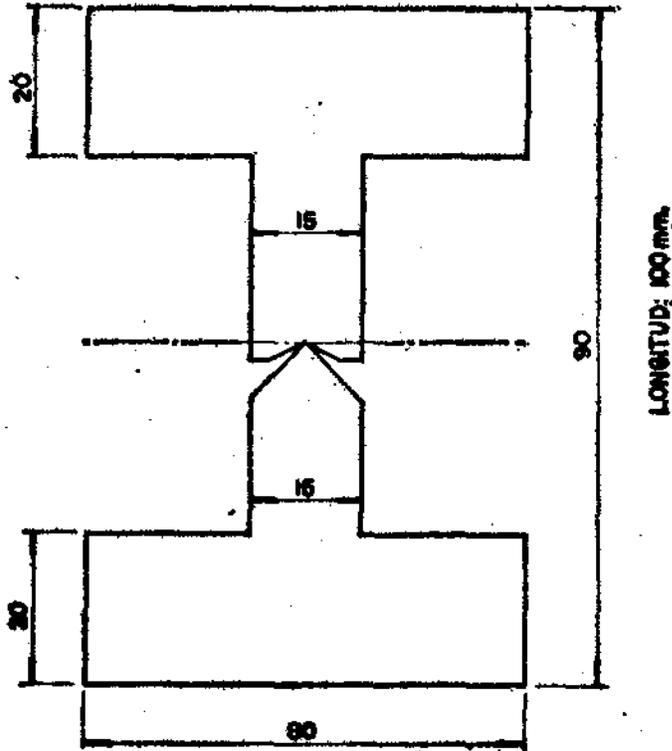
La viga de ensayo, apoyada sobre rodillos o cuchillas móviles, estará solicitada por dos cargas iguales y simétricas respecto al centro de la viga, y aplicadas por intermedio de rodillos o cuchillas móviles.

La puesta en carga se realizará por escalones sucesivos correspondientes a tensiones σ_s en la barra de 0-800 - 1.600 - 2.400,

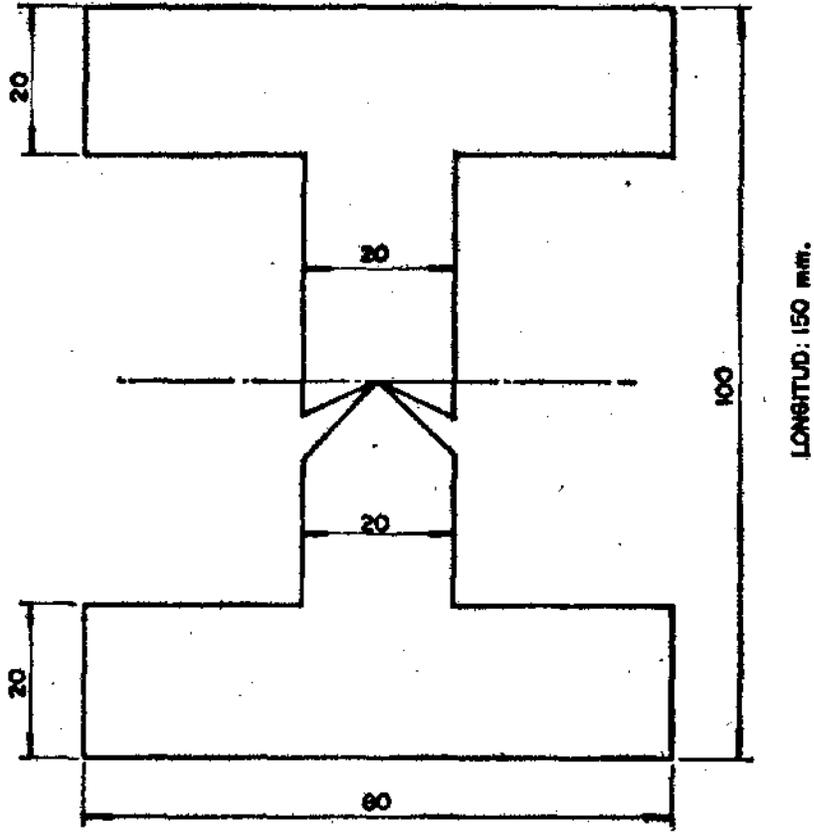
ENSAYO DE ADHERENCIA

ESQUEMA DE ROTULAS

TIPO A



TIPO B

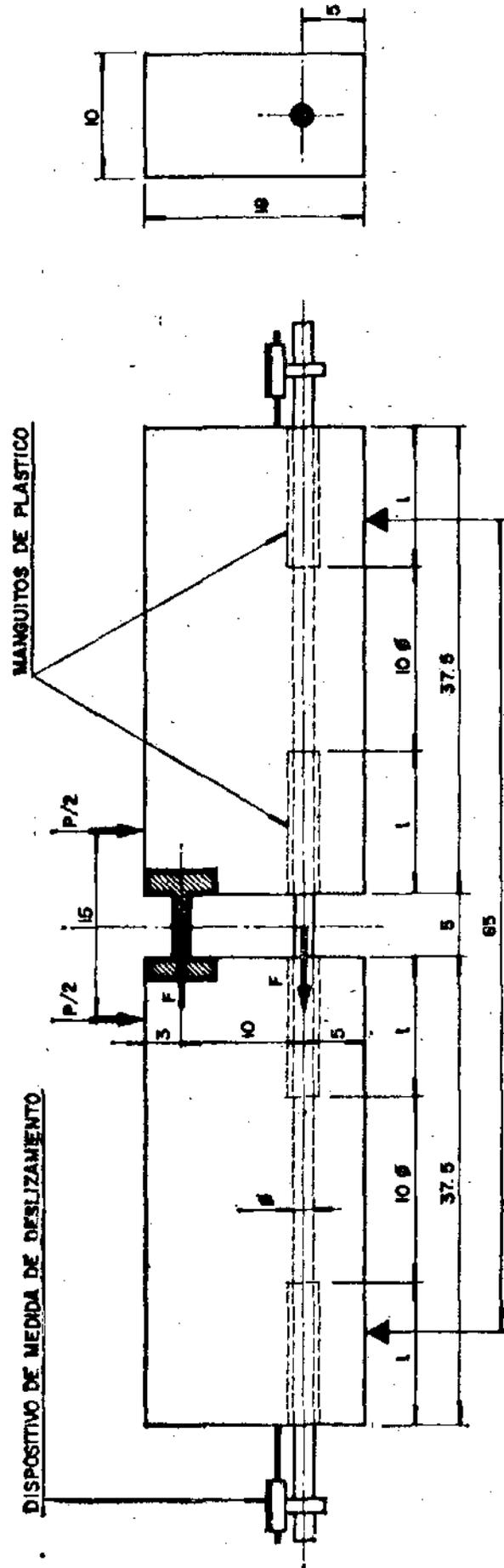


ESCALA 1:1

Figura 1

Figura 2

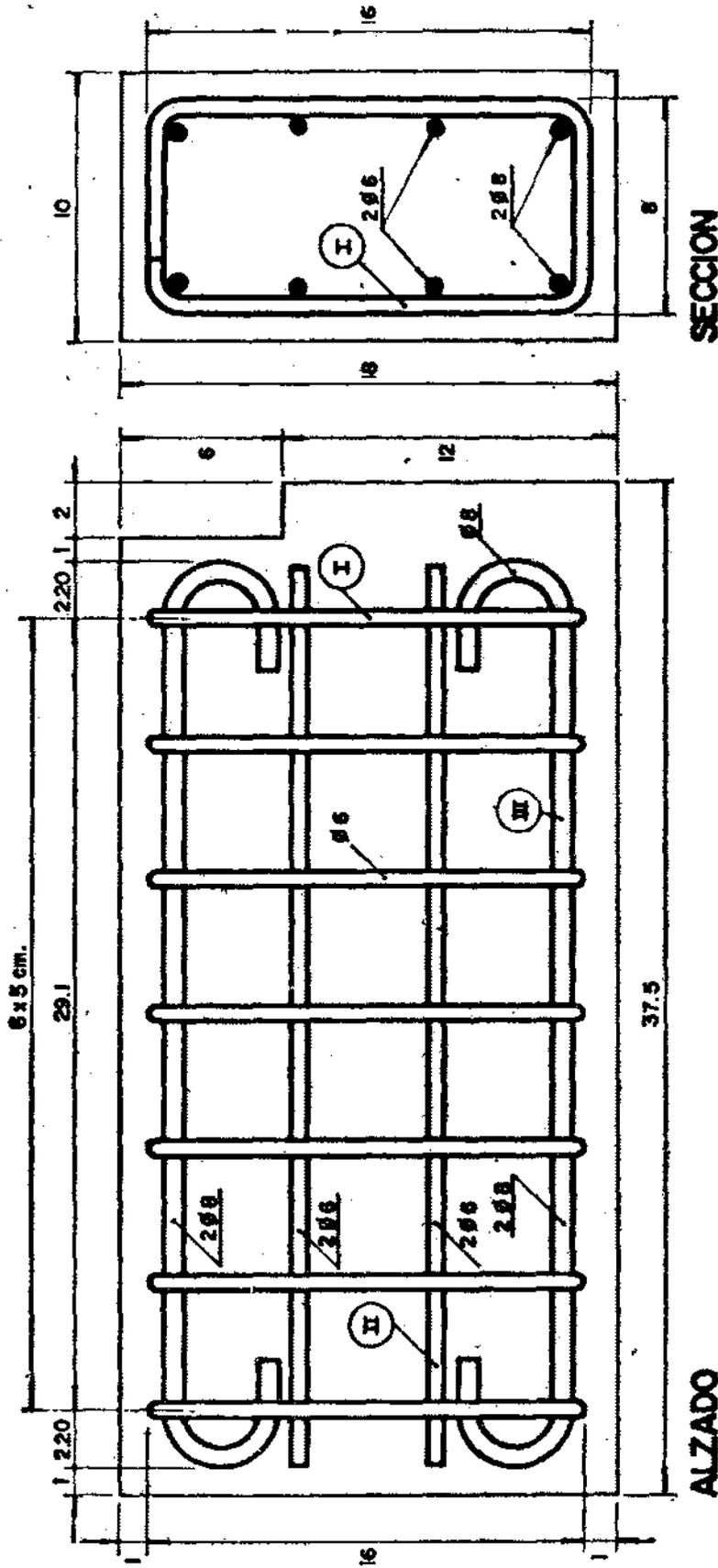
ENSAYO DE ADHERENCIA TIPO A ($\phi < 16\text{mm.}$)



ESCALA 1:5

Figura 3

ENSAYO DE ADHERENCIA TIPO A ($\phi < 16\text{mm.}$)



ARMADURAS DE LAS PROBETAS

ESCALA 1:2,5

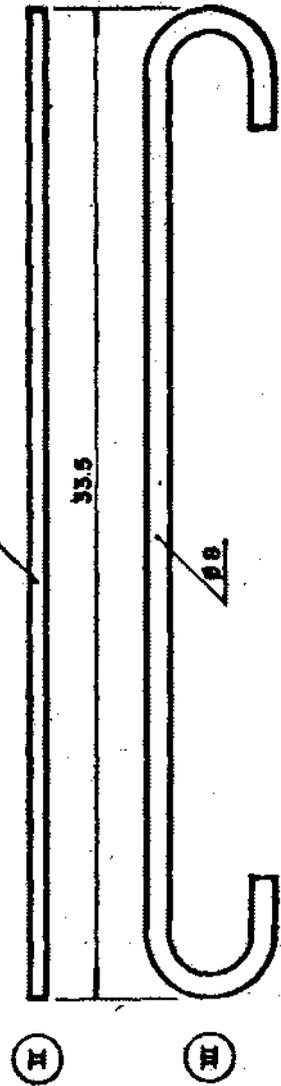
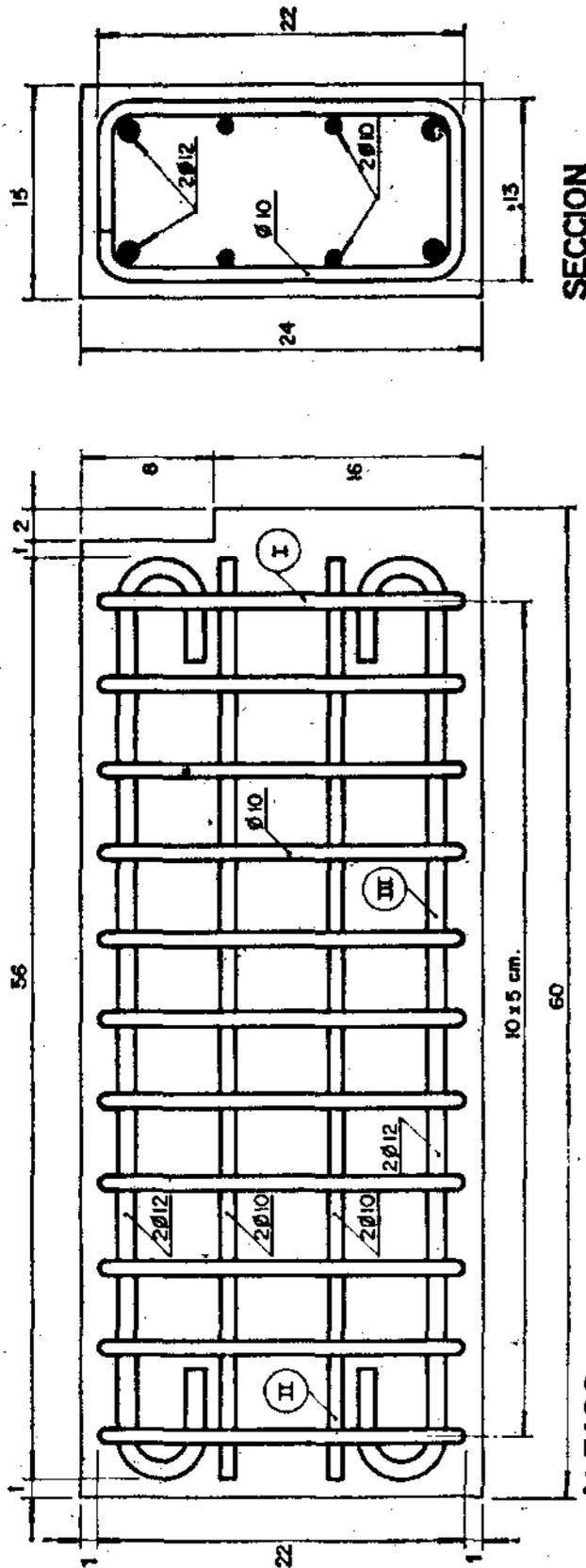
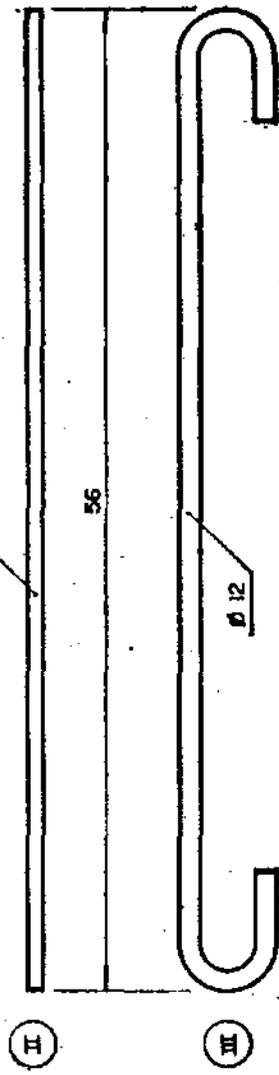


Figura 5

ENSAYO DE ADHERENCIA TIPO B ($\phi \geq 16$ mm.)



ARMADURAS DE LAS PROBETAS



ESCALA 1:5

Figura 6

etcétera kp/cm^2 . La carga total aplicada a la probeta en cada escalón de carga viene dada por una de las dos expresiones siguientes:

$$P = \frac{A \cdot \sigma_s}{1,25} \text{ para barras de } \varnothing < 16 \text{ mm.}$$

$$P = \frac{A \cdot \sigma_s}{1,50} \text{ para barras de } \varnothing \geq 16 \text{ mm.}$$

siendo A la sección nominal de la barra.

El incremento de carga en cada escalón se hará en medio minuto y cada escalón durará lo necesario para la estabilización del deslizamiento, o como máximo dos minutos.

Los deslizamientos se medirán al principio y al final de cada escalón de carga.

El ensayo se continuará hasta la rotura total de la adherencia de la barra en los dos bloques, o hasta la rotura de la barra. Como la rotura de la adherencia no se alcanza simultáneamente en los dos extremos de la barra, se colocarán pinzas de anclaje para que el extremo que deslice primero quede anclado después de deslizar 3 mm., para poder continuar el ensayo hasta la rotura de la adherencia en el otro extremo.

6. Obtención de los resultados.

6.1. Cálculo de las tensiones de adherencia: Si la carga total sobre la viga es P para un deslizamiento dado, la tensión de adherencia está dada por $\tau_b = \frac{\sigma_s}{40}$, estando dada la tensión σ_s

por una de las expresiones siguientes:

$$\sigma_s = \frac{1,25 P}{A} \text{ para } \varnothing < 16 \text{ mm.}$$

$$\sigma_s = \frac{1,50 P}{A} \text{ para } \varnothing \geq 16 \text{ mm.}$$

6.2. Valores característicos de la tensión de adherencia:

Serán τ_{bm} y τ_{bu} , siendo $\tau_{bm} = \frac{\tau_{0,01} + \tau_{0,1} + \tau_1}{3}$ y τ_{bu} la tensión de rotura.

$\tau_{0,01}$ = tensión de adherencia correspondiente a un deslizamiento de 0,01 mm.

$\tau_{0,1}$ = tensión de adherencia correspondiente a un deslizamiento de 0,1 mm.

τ_1 = tensión de adherencia correspondiente a un deslizamiento de 1 mm.

Si la rotura de adherencia o de la barra ocurre antes de que se alcance el deslizamiento de 1 mm., la tensión de rotura, τ_{bu} , constituye el tercer valor a introducir en el cálculo de τ_{bm} .

Para la obtención de los valores anteriores hay que disponer de las curvas «cargas-deslizamientos». Si éstas no se obtienen por registro directo, pueden trazarse por puntos a partir de las lecturas obtenidas en cada escalón.

CAPITULO III

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Los valores medios de cada serie de ensayos de la tensión media y de rotura de adherencia deberán cumplir simultáneamente las dos condiciones siguientes:

$$\tau_{bm} \geq 80 \cdot 1,2 \varnothing$$

$$\tau_{bu} \geq 130 \cdot 1,9 \varnothing$$

expresando \varnothing en mm. y τ_b en kp/cm^2 .

En ningún ensayo la rotura de adherencia se producirá para un deslizamiento último inferior a 0,5 mm

Si se cumplen todas las condiciones anteriores, el acero podrá ser calificado como acero de alta adherencia.

ANEJO 6

Valores orientativos para la dosificación de hormigones

El artículo 14 de esta Instrucción señala la necesidad de realizar ensayos previos en laboratorio para establecer la dosificación oportuna en cada caso. No obstante, en ciertas ocasiones (cuando se trata de obras de escasa importancia, por ejemplo) puede

resultar indicado prescindir de un estudio detallado previo y utilizar los cuadros de este anejo, que proporcionan unas dosificaciones aproximadas en función de la resistencia característica que se desee obtener. Bien entendido que la dosificación proporcionada en cada caso por dichos cuadros es menos confiable que la obtenida a través de ensayos previos e incluso que la que puede deducirse de una amplia experiencia constructiva juiciosamente aplicada.

VARIABLES CONSIDERADAS

Cemento: Categorías 250, 350 y 450.

Árido: Dividido en dos tamaños, uno de arena (árido fino) y otro de grava (árido grueso).

Origen del árido: Rodado y machacado.

Tamaño máximo de la grava: 20 mm., 40 mm. y 80 mm.

Consistencia: Para vibrar y para picar con barra.

OBSERVACIONES

- Para las variables no especificadas en el apartado anterior se han considerado condiciones medias.
- En los cuadros no se han considerado las dosificaciones de más de 400 kilogramos de cemento por metro cúbico de hormigón ni las de menos de 150 kilogramos de cemento por metro cúbico de hormigón, de acuerdo con lo prescrito en el artículo 14 de esta Instrucción. Tampoco se han considerado las dosificaciones que exigen una relación agua/cemento menor de 0,36.
- Debe entenderse como tamaño máximo de la grava la abertura del tamiz más pequeño de la serie utilizada que retenga menos del 25 por 100 del peso de dicha grava.
- Los cuadros proporcionan las dosis necesarias de cada componente, en kilogramos, para obtener un metro cúbico de hormigón. Para pasar a valores en litros basta con determinar en obra las densidades correspondientes empleando un recipiente adecuado de poca base y mucha altura.

INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE EJECUCIÓN

La resistencia característica de un hormigón de obra es siempre inferior a la media, y tanto más cuanto menos cuidadas son las condiciones de ejecución. A su vez, la resistencia media de obra es inferior a la media que se obtiene en laboratorio con los mismos materiales y dosificación. Es decir, existen dos causas que justifican la diferencia entre el valor de la resistencia característica en obra y el de la resistencia media en laboratorio para un mismo hormigón: por un lado, el paso de la resistencia media de laboratorio a la obra, y por otro, la dispersión que producen las condiciones de ejecución.

Si a lo anterior se añade el hecho de que la resistencia característica, tal como se define en esta Instrucción (véase apartado 28.1), equivale prácticamente a la resistencia mínima, puesto que la probabilidad de obtener valores de rotura de probetas más bajos que el característico es sólo de un 5 por 100, se comprende que el valor de la resistencia característica de un hormigón en obra ha de ser bastante inferior al de su resistencia media en laboratorio.

Dicho esto, téngase en cuenta que los cuadros de este anejo están preparados en el supuesto de unas condiciones de ejecución «medias» (véase su definición en el comentario al artículo 62 de esta Instrucción). Con esas condiciones de ejecución, la dispersión de los resultados de los ensayos correspondientes al hormigón es apreciable, por lo que es necesario conseguir en laboratorio una resistencia media bastante más elevada que la resistencia característica en obra, con objeto de que esta última sea realmente alcanzada. Como las dosificaciones que proporcionan los cuadros están calculadas a partir de la resistencia media de laboratorio, las condiciones de ejecución influyen notablemente en los valores resultantes.

Si se mejorasen las condiciones de ejecución se obtendrían valores para la dosificación mucho más ventajosos, al reducirse el valor de la resistencia media que es necesario obtener en laboratorio para conseguir la misma resistencia característica en obra. Pero no sería correcto preparar unos cuadros de dosificación para condiciones «buenas» o «muy buenas», porque tales condiciones suponen precisamente que los estudios previos son cuidadosos, es decir, que se realizan ensayos en laboratorio, con lo que los cuadros serían inoperantes.

Las siguientes fórmulas experimentales que a falta de otros datos (1) (tales como la clase de instalaciones de hormigonado,

(1) Un constructor experimentado conoce muchos de estos datos y puede establecer la fórmula correspondiente a sus condiciones habituales de ejecución apoyándose en su experiencia. Esto le permitirá corregir convenientemente los cuadros de dosificación de este Anejo y sacar más ventaja de ellos.

la calidad de la mano de obra, etc., etc.) pueden utilizarse en los estudios previos como una primera aproximación para relacionar la resistencia media en laboratorio f_{bm} y la característica en obra f_{ck} dan una idea clara de la desventaja que supone el trabajar en condiciones poco cuidadas:

- En condiciones medias: $f_{cm} = 1,50 f_{ck} + 20 \text{ kp/cm}^2$.
- En condiciones buenas: $f_{cm} = 1,35 f_{ck} + 15 \text{ kp/cm}^2$.
- En condiciones muy buenas: $f_{cm} = 1,20 f_{ck} + 10 \text{ kp/cm}^2$.

El cuadro de la página siguiente, obtenido a partir de esas fórmulas, muestra cómo van variando los valores de f_{cm} y f_{ck} en los distintos casos:

Todo lo dicho justifica que en los cuadros de dosificación que a continuación se incluyen se llegue, como máximo, a una resistencia característica de 175 kp/cm^2 . Para alcanzar valores apreciablemente más elevados convendría mejorar las condiciones de ejecución y estudiar en laboratorio la dosificación adecuada, empleando incluso más tamaños de áridos. La idea de que la forma más económica y técnicamente idónea de mejorar la resistencia del hormigón consiste en aumentar la dosis de cemento no es, ni mucho menos, cierta en todos los casos.

Resistencia característica en obra, f_{ck} (kp/cm^2)	Resistencia media necesaria en laboratorio, f_{cm} (kp/cm^2)		
	Condiciones medias	Condiciones buenas	Condiciones muy buenas
60	110	96	82
100	170	150	130
150	245	218	190
200	320	285	250
250	395	353	310
300	470	420	370

Interpretación de los cuadros

Predecir la resistencia que va a tener un hormigón conociendo solamente su consistencia, la categoría del cemento, el tamaño máximo del árido y el origen de este último no puede hacerse más que de un modo aproximado, por las siguientes razones, todas ellas fáciles de comprender:

a) Uno de los factores de mayor influencia en la resistencia del hormigón es la cantidad de agua necesaria en cada caso para que la masa tenga una consistencia determinada. Pero esta cantidad de agua no depende sólo de los factores citados en el párrafo anterior, sino también de otros, tales como la forma de las piedras y granos de arena, la cantidad de finos que contiene ésta, el agua que puede absorber el árido, la que necesita cada cemento para la pasta de consistencia normal, las adiciones utilizadas e incluso de otras causas ajenas a las características de los materiales, como son la temperatura y las condiciones del ambiente en el momento en que se amasa el hormigón.

b) El hecho de que un cemento sea de una categoría determinada indica, únicamente, que el fabricante se compromete, en lo que a resistencia se refiere, a que dicho cemento, en el momento de su entrega al almacenista o al utilizador, dé una resistencia en mortero normal que, como mínimo, sea la que figura para su categoría en el correspondiente Pliego General de Condiciones. Esto significa que es perfectamente lícito que, por ejemplo, con un conglomerante de la categoría 250 se obtenga una resistencia a veintiocho días, en mortero normal, variable entre 250 y 349 kp/cm^2 , lo cual puede traducirse en una variación importante de la resistencia del hormigón.

c) El mayor o menor cuidado con que se efectúe el proceso de fabricación del hormigón influye también de modo importante en su resistencia.

Cuando se trata de una fabricación cuidada, los áridos tienen, en el momento de su empleo, una humedad conocida; sus granulometrías se mantienen prácticamente constantes a lo largo del proceso del hormigonado; todos los materiales se dosifican en peso; la duración del amasado no varía y, en fin, se toman todas las precauciones para asegurar en lo posible que, masa tras masa, el hormigón obtenido con los materiales y maquinaria de que concretamente se dispone, no presentará oscilaciones grandes en su resistencia.

Pero cuando el proceso de hormigonado no se lleva a cabo con tanto rigor por no existir ni los medios adecuados para dosificar bien ni una vigilancia constante de todos los factores

antes enumerados, entonces el envejecimiento del cemento en la obra, tan variable con la duración del almacenamiento y la humedad del ambiente; la mayor o menor oscilación del agua contenida por los áridos y, en especial, por la arena; las variaciones en la granulometría de éstos; los errores en la dosificación de los materiales que deben formar parte de cada amasada, originados por los procedimientos de medida utilizados; las variaciones en la duración del amasado y otras cuestiones hacen que la resistencia del hormigón obtenido en las distintas amasadas varíe sensiblemente.

d) Finalmente, la distinta adherencia de la pasta de cemento con los áridos, según la clase de éstos el papel que juega el tipo de hormigonera utilizada y otros factores que sería prolijo enumerar, son nuevas causas de incertidumbre a la hora de predecir la resistencia que va a tener un hormigón del que se conocen tan sólo las cuatro variables consideradas en los cuadros.

El presente anejo, que como queda dicho está dedicado a la dosificación de hormigones en obras realizadas en las condiciones de ejecución menos favorables, dentro de las que se consideran en esta Instrucción (que son las llamadas «medias»), debe considerarse, por tanto, como una tentativa de facilitar dicha dosificación en esas obras, y no como un conjunto de datos a los que hay que atenerse siempre. Menos aún debe pensarse que, empleando las dosis indicadas en los cuadros, se obtendrá necesariamente en todos los casos la resistencia característica deseada.

Es decir, que las cifras que figuran en los cuadros que aparecen al final de este anejo, aunque en muchas ocasiones den, sin corrección alguna, buenos resultados, no son, ni pretenden ser, más que fórmulas de entrada, que ni eximen al constructor de modificarlas, en el sentido que en cada caso resulte necesario, ni, como es natural, pueden servirle de base para justificar los posibles perjuicios que pudieran derivarse del hecho de considerar dichas cifras como definitivas.

De todas formas, en la mayor parte de las obras a las que va destinado este anejo, las correcciones necesarias no suelen ser tan importantes como para invalidar los datos que figuran en el mismo, especialmente si el constructor añade a ellos su buen juicio y las enseñanzas que le dicte su propia experiencia.

En general, bastará realizar ciertas modificaciones, teniendo en cuenta las indicaciones del apartado que sigue.

Correcciones que deben introducirse

Habrán ocasiones en las que no será uno sólo el defecto que haya de corregir, sino varios. Otras veces, al corregir una de las variables se descorregirá otra. En todos estos casos será preciso ir aplicando, sucesivamente, las correcciones correspondientes hasta lograr un hormigón satisfactorio. Si a pesar de las correcciones no se consigue obtener un resultado aceptable, deberá recurrirse a un laboratorio especializado en estas cuestiones, ya que las causas pueden ser muy complejas y quedar fuera del campo de aplicación de este anejo.

Defecto que presenta el hormigón fabricado con arreglo a la dosificación dada en los cuadros	Forma en que se deben realizar las correcciones
1.º La consistencia obtenida es distinta a la prevista.	Se varía la cantidad de agua en lo que resulte necesario para que el hormigón tenga la consistencia deseada.
2.º Se observa que al hormigón le sobra o falta algo de arena.	Se varía el peso de arena en la cantidad que se juzgue necesaria, y se modifica el de la grava de forma que se mantenga constante el peso del árido total.
3.º La resistencia característica obtenida es mayor o menor que la esperada.	Se determina la diferencia entre la resistencia obtenida y la esperada. Se corrige la primera columna del cuadro, aumentando o disminuyendo, respectivamente, en dicha diferencia todos los valores de esa columna. Se entra en el cuadro corregido y se leen las dosis necesarias de cemento y áridos (o se calculan, si hace falta interpolar). Se conserva la dosis de agua empleada anteriormente.

CUADRO 1

Cemento categoría-250 árido rodado

Dosis necesarias de cada componente, en kilogramos, para obtener un metro cúbico de hormigón

Resistencia característica en obra (kp/cm ²)	CONSISTENCIA ADECUADA PARA VIBRAR				CONSISTENCIA ADECUADA PARA PICAR CON BARRA			
	Cemento	Agua	Arena	Grava	Cemento	Agua	Arena	Grava
Tamaño máximo del árido: 20 mm.								
50	215	180	685	1.370	245	205	655	1.310
100	310	180	660	1.320	355	205	625	1.250
125	360	180	645	1.290	—	—	—	—
150	—	—	—	—	—	—	—	—
175	—	—	—	—	—	—	—	—
Tamaño máximo del árido: 40 mm.								
50	190	160	710	1.420	220	185	680	1.360
100	275	160	685	1.370	320	185	650	1.300
125	320	160	675	1.350	370	185	635	1.270
150	380	160	660	1.320	—	—	—	—
175	—	—	—	—	—	—	—	—
Tamaño máximo del árido: 80 mm.								
50	185	140	735	1.470	195	165	705	1.410
100	240	140	715	1.430	285	165	680	1.360
125	280	140	700	1.400	330	165	665	1.330
150	315	140	690	1.380	375	165	655	1.310
175	355	140	680	1.360	—	—	—	—

Las cifras de este cuadro son puramente orientativas, y pueden sufrir alteración según el tipo de ejecución, cemento o árido empleados en cada caso particular

CUADRO 2

Cemento categoría-250 árido machacado

Dosis necesarias de cada componente, en kilogramos, para obtener un metro cúbico de hormigón

Resistencia característica en obra (kp/cm ²)	CONSISTENCIA ADECUADA PARA VIBRAR				CONSISTENCIA ADECUADA PARA PICAR CON BARRA			
	Cemento	Agua	Arena	Grava	Cemento	Agua	Arena	Grava
Tamaño máximo del árido: 20 mm.								
50	185	200	675	1.350	210	225	645	1.290
100	255	200	655	1.310	290	225	625	1.250
125	290	200	645	1.290	325	225	615	1.230
150	325	200	635	1.270	365	225	605	1.210
175	360	200	625	1.250	—	—	—	—
Tamaño máximo del árido: 40 mm.								
50	170	160	700	1.400	190	205	670	1.340
100	230	160	680	1.360	265	205	650	1.300
125	260	160	670	1.340	300	205	640	1.280
150	295	160	660	1.320	335	205	630	1.260
175	325	160	655	1.310	370	205	620	1.240
Tamaño máximo del árido: 80 mm.								
50	150	160	720	1.440	175	185	690	1.390
100	205	160	705	1.410	235	185	675	1.350
125	235	160	695	1.380	270	185	665	1.330
150	260	160	690	1.360	300	185	655	1.310
175	290	160	680	1.360	335	185	645	1.290

Las cifras de este cuadro son puramente orientativas, y pueden sufrir alteración según el tipo de ejecución, cemento o árido empleados en cada caso particular

CUADRO 3

Cemento categoría 350 árido rodado

Dosis necesarias de cada componente, en kilogramos, para obtener un metro cúbico de hormigón

Resistencia característica en obra (kp/cm ²)	CONSISTENCIA ADECUADA PARA VIBRAR				CONSISTENCIA ADECUADA PARA PICAR CON BARRA			
	Cemento	Agua	Arena	Grava	Cemento	Agua	Arena	Grava
Tamaño máximo del árido: 20 mm.								
50	180	180	695	1.390	210	205	665	1.330
100	255	180	675	1.350	260	205	640	1.280
125	290	180	665	1.330	330	205	630	1.260
150	330	180	650	1.300	375	205	615	1.230
175	385	180	640	1.280	—	—	—	—
Tamaño máximo del árido: 40 mm.								
50	160	160	720	1.440	185	185	690	1.380
100	225	160	700	1.400	260	185	670	1.340
125	260	160	690	1.380	300	185	655	1.310
150	290	160	680	1.360	335	185	645	1.290
175	325	160	670	1.340	375	185	635	1.270
Tamaño máximo del árido: 60 mm.								
50	140	140	740	1.480	165	165	715	1.430
100	200	140	725	1.450	235	165	695	1.390
125	225	140	720	1.440	265	165	685	1.370
150	255	140	710	1.420	300	165	675	1.350
175	285	140	700	1.400	335	165	665	1.330

Las cifras de este cuadro son puramente orientativas, y pueden sufrir alteración según el tipo de ejecución, cemento o árido empleados en cada caso particular

CUADRO 4

Cemento categoría 350 árido machacado

Dosis necesarias de cada componente, en kilogramos, para obtener un metro cúbico de hormigón

Resistencia característica en obra (kp/cm ²)	CONSISTENCIA ADECUADA PARA VIBRAR				CONSISTENCIA ADECUADA PARA PICAR CON BARRA			
	Cemento	Agua	Arena	Grava	Cemento	Agua	Arena	Grava
Tamaño máximo del árido: 20 mm.								
50	165	200	680	1.360	185	225	655	1.310
100	220	200	665	1.330	245	225	635	1.270
125	245	200	660	1.320	275	225	630	1.260
150	270	200	650	1.300	305	225	620	1.240
175	300	200	645	1.290	335	225	610	1.220
Tamaño máximo del árido: 40 mm.								
50	150	180	705	1.410	170	205	675	1.350
100	195	180	690	1.380	225	205	660	1.320
125	220	180	685	1.370	250	205	655	1.310
150	245	180	675	1.350	280	205	645	1.290
175	270	180	670	1.340	305	205	635	1.270
Tamaño máximo del árido: 60 mm.								
50	135	160	725	1.450	155	185	700	1.400
100	175	160	715	1.430	205	185	685	1.370
125	195	160	710	1.420	225	185	680	1.360
150	215	160	705	1.410	250	185	670	1.340
175	240	160	695	1.390	275	185	665	1.330

Las cifras de este cuadro son puramente orientativas, y pueden sufrir alteración según el tipo de ejecución, cemento o árido empleados en cada caso particular

CUADRO 5

Cemento categoría-450 árido rodado

Dosis necesarias de cada componente, en kilogramos, para obtener un metro cúbico de hormigón

Resistencia característica en obra (kp/cm ²)	CONSISTENCIA ADECUADA PARA VIBRAR				CONSISTENCIA ADECUADA PARA PICAR CON BARRA			
	Cemento	Agua	Arena	Grava	Cemento	Agua	Arena	Grava
Tamaño máximo del árido: 20 mm.								
50	165	180	700	1.400	190	205	670	1.340
100	230	180	680	1.360	260	205	650	1.300
125	260	180	670	1.340	295	205	640	1.280
150	290	180	665	1.330	330	205	630	1.260
175	320	180	655	1.310	365	205	620	1.240
Tamaño máximo del árido: 40 mm.								
50	150	160	720	1.440	170	185	695	1.390
100	200	160	705	1.410	235	185	675	1.350
125	230	160	700	1.400	265	185	665	1.330
150	255	160	690	1.380	295	185	660	1.320
175	285	160	685	1.370	330	185	650	1.300
Tamaño máximo del árido: 80 mm.								
50	130	140	745	1.490	155	165	715	1.430
100	175	140	730	1.460	210	165	700	1.400
125	200	140	725	1.450	235	165	695	1.380
150	225	140	720	1.440	265	165	685	1.370
175	250	140	710	1.420	290	165	675	1.350

Las cifras de este cuadro son puramente orientativas, y pueden sufrir alteración según el tipo de ejecución, cemento o árido empleados en cada caso particular

CUADRO 6

Cemento categoría-450 árido machacado

Dosis necesarias de cada componente, en kilogramos, para obtener un metro cúbico de hormigón

Resistencia característica en obra (kp/cm ²)	CONSISTENCIA ADECUADA PARA VIBRAR				CONSISTENCIA ADECUADA PARA PICAR CON BARRA			
	Cemento	Agua	Arena	Grava	Cemento	Agua	Arena	Grava
Tamaño máximo del árido: 20 mm.								
50	155	200	685	1.370	175	225	655	1.310
100	200	200	670	1.340	225	225	645	1.290
125	225	200	665	1.330	255	225	635	1.270
150	245	200	660	1.320	280	225	625	1.250
175	270	200	650	1.300	305	225	620	1.240
Tamaño máximo del árido: 40 mm.								
50	140	180	705	1.410	180	205	680	1.360
100	180	180	695	1.390	205	205	665	1.330
125	200	180	690	1.380	230	205	660	1.320
150	220	180	685	1.370	255	205	650	1.300
175	245	180	675	1.350	275	205	645	1.290
Tamaño máximo del árido: 80 mm.								
50	125	160	730	1.460	145	185	700	1.400
100	160	160	720	1.440	185	185	690	1.380
125	180	160	715	1.430	210	185	680	1.350
150	200	160	705	1.410	230	185	675	1.350
175	215	160	705	1.410	250	185	670	1.340

Las cifras de este cuadro son puramente orientativas, y pueden sufrir alteración según el tipo de ejecución, cemento o árido empleados en cada caso particular

Esta ecuación de equilibrio de momentos, unida a la de equilibrio de fuerzas [3] anteriormente obtenida, resuelve el cálculo de la sección. Pero debe tenerse en cuenta que la última ecuación mencionada, es decir la [3], es válida tan sólo cuando $\frac{y}{d}$

resulta igual o menor que $\left[\frac{y}{d} \right]_{lim}$. Si resultase mayor, sería necesario introducir una tercera ecuación, la de compatibilidad de deformaciones, ya que en tal caso la armadura A_s no alcanzaría su límite elástico en el momento de la rotura de la sección, sino una tensión menor desconocida σ_s .

Por tanto:

Si resulta $\frac{y}{d} \leq \left[\frac{y}{d} \right]_{lim}$ la sección se puede calcular mediante las ecuaciones:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{y}{d} &= \frac{N + A_s \cdot f_y - A'_s \cdot f_{yc}}{f_{ck} \cdot b_m \cdot d} & [3] & \left[\begin{array}{l} \text{válida si resulta} \\ \frac{y}{d} \leq \left[\frac{y}{d} \right]_{lim} \end{array} \right] \\ M = N \cdot e = f_{ck} \cdot b_m \cdot d^2 \cdot \frac{y}{d} \left[1 - \lambda \frac{y}{d} \right] + A'_s \cdot f_{yc} \cdot (d-d') & [5] \end{aligned} \right.$$

si resulta:

$$\frac{y}{d} > \left[\frac{y}{d} \right]_{lim}$$

el sistema que resuelve el cálculo de la sección es el siguiente:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{y}{d} &= \frac{0,75 \cdot 0,0035 \cdot \sigma_s}{0,0035 + \frac{\sigma_s}{2.100.000}} & [6] & \left[\begin{array}{l} \text{válida si resulta} \\ \frac{y}{d} > \left[\frac{y}{d} \right]_{lim} \end{array} \right] \\ N = f_{ck} \cdot b_m \cdot y - A_s \cdot \sigma_s + A'_s \cdot f_{yc} & [7] \\ M = N \cdot e = f_{ck} \cdot b_m \cdot d^2 \cdot \frac{y}{d} \left[1 - \lambda \frac{y}{d} \right] + A'_s \cdot f_{yc} \cdot (d-d') & [5] \end{aligned} \right.$$

En este caso en que la rotura se produce por deficiencia del hormigón existe una nueva incógnita, que es la tensión σ_s del acero en tracción.

No obstante, el problema se simplifica en la mayoría de los casos al introducir una hipótesis no considerada hasta ahora: la existencia del momento tope.

1.3. Momento tope

De acuerdo con las hipótesis del artículo 33 de la Instrucción, una sección de hormigón armado no puede resistir un momento superior al «momento tope», cuyo valor es:

$$M_{tope} = 0,70 f_{ck} \int_0^a b (d-y) dy + A'_s \cdot f_{yc} \cdot (d-d') \quad [8a]$$

El valor del momento tope se alcanza para una cierta profundidad $\left[\frac{y}{d} \right]_{tope}$ del diagrama de compresiones en el hormigón. Esa profundidad se obtiene igualando la expresión general [4] del momento a la expresión [8a] con lo que resulta:

$$f_{ck} \int_0^y b (d-y) dy = 0,70 f_{ck} \int_0^a b (d-y) dy$$

De esta igualdad se obtiene $\left[\frac{y}{d} \right]_{tope}$

Para efectuar el cálculo de una sección se utilizarán unas u otras fórmulas según resulte el valor de $\frac{y}{d}$, en comparación con los valores de $\left[\frac{y}{d} \right]_{lim}$ y de $\left[\frac{y}{d} \right]_{tope}$.

El caso más sencillo y también el más frecuente es aquel en que se verifica

$$\left[\frac{y}{d} \right]_{tope} \leq \left[\frac{y}{d} \right]_{lim}$$

En este caso, la ecuación [3] proporciona el valor de $\frac{y}{d}$ que debe compararse con los dos de referencia

$$\left[\frac{y}{d} \right]_{lim} \text{ , } \left[\frac{y}{d} \right]_{tope}$$

A este caso corresponden las secciones rectangulares y en T, armadas con acero de $f_y \leq 5.000 \text{ kp/cm}^2$.

Caso menos frecuente y en ocasiones más complicado es aquel en que se verifica

$$\left[\frac{y}{d} \right]_{tope} < \left[\frac{y}{d} \right]_{lim}$$

correspondiente a secciones del tipo T invertida, armadas con aceros de límite elástico elevado. En este caso, si el valor $\frac{y}{d}$ obtenido de la ecuación [3] resulta mayor que $\left[\frac{y}{d} \right]_{lim}$

dicha ecuación [3] no es válida y conviene entonces comparar valores de N, en vez de valores de y, para poder conocer el estado de la sección. Dicha comparación es válida porque los valores de N y los de y se mueven en el mismo sentido, a igualdad de las restantes variables. De acuerdo con ello, se define N_{tope} como aquel valor de N que corresponde a una profundidad del rectángulo de compresiones igual al y_{tope}

$$N_{tope} = f_{ck} \int_0^{y_{tope}} b dy + A'_s \cdot f_{yc} - A_s \cdot \sigma_s$$

expresión en la que σ_s tiene un valor que puede obtenerse de [6] haciendo $y = y_{tope}$. Dicho valor es:

$$\sigma_s = 7.350 \left[\frac{0,75}{\left[\frac{y}{d} \right]_{tope}} - 1 \right] ; (\sigma_s \text{ en } \text{kp/cm}^2)$$

En cualquiera de los dos casos indicados, es decir, cualquiera que sea el sentido de la desigualdad entre $\left[\frac{y}{d} \right]_{lim}$

y $\left[\frac{y}{d} \right]_{tope}$ siempre que resulte $\frac{y}{d} \geq \left[\frac{y}{d} \right]_{tope}$

o, lo que es equivalente, $N \geq N_{tope}$ el momento permanece invariable e igual al dado por [8a]. Por otra parte, la expresión [8a] es el valor del momento que corresponde al caso de compresión uniforme sobre todo el canto útil (es decir, al caso en que ambas armaduras se encuentran en compresión al límite elástico y el hormigón está sometido a una tensión uniforme

de compresión igual $0.7 f_{ck}$ extendida a todo el canto útil). Por tanto, en los casos de grandes profundidades de la fibra neutra, es decir, cuando

$$\frac{y}{d} > \left[\frac{y}{d} \right]_{\text{tope}} \quad \text{deberá verificarse}$$

$$N \leq 0,70 f_{ck} \int_a^d b \, dy + A_s \cdot f_{ya} + A'_s \cdot f_{ya} \quad (8b)$$

Con todo lo expuesto hasta aquí, se está en condiciones de resolver cualquier sección sometida a una fuerza N actuando con cualquier excentricidad.

1.4. Resumen

Se calcularán $\left[\frac{y}{d} \right]_{\text{tope}}$; $\left[\frac{y}{d} \right]_{\text{lim}}$

y con la fórmula [3], $\frac{y}{d}$

A) Si resulta $\left[\frac{y}{d} \right]_{\text{tope}} \leq \left[\frac{y}{d} \right]_{\text{lim}}$

deben considerarse dos casos:

A.1) $\frac{y}{d} < \left[\frac{y}{d} \right]_{\text{tope}}$

El sistema [3] [5] soluciona este caso.

A.2) $\frac{y}{d} \geq \left[\frac{y}{d} \right]_{\text{tope}}$

La ecuación [8a], con la limitación [8b], soluciona este caso.

B) Si resulta $\left[\frac{y}{d} \right]_{\text{tope}} > \left[\frac{y}{d} \right]_{\text{lim}}$

deben considerarse los casos siguientes:

B.1) $\frac{y}{d} \leq \left[\frac{y}{d} \right]_{\text{lim}}$

El sistema [3] [5] soluciona este caso.

B.2) $\frac{y}{d} > \left[\frac{y}{d} \right]_{\text{lim}}$

B.2a) $N < N_{\text{tope}}$.

En este caso debe recurrirse al sistema [6] [7] [5].

B.2b) $N \geq N_{\text{tope}}$.

La ecuación [8a], con la limitación [8b], soluciona este caso.

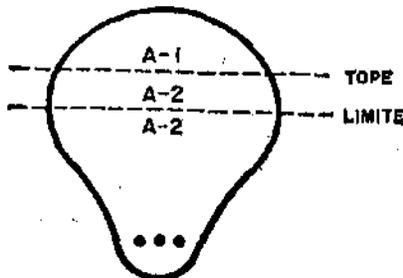


Figura A.7.3

CAPÍTULO II

APLICACIÓN PRÁCTICA DEL MÉTODO

2. Observaciones previas para la aplicación práctica del método.

2.1. Introducción de la seguridad.

En las fórmulas del capítulo I anterior se han considerado las resistencias de los materiales y los valores de las solicitaciones, sin introducir coeficiente de seguridad; es decir, que tales fórmulas corresponden a las condiciones reales de rotura de las secciones. En los apartados 3 y 4 siguientes, donde se resuelven las secciones rectangulares y en I, se ofrecen las fórmulas prácticas de cálculo, que incluyen ya los coeficientes de mayoración y minoración correspondientes a las solicitaciones y a los materiales, respectivamente; es decir, se sustituye:

f_{ck}	por	f_{cd}
f_{ya}	por	$f_{y,c,d}$
f_y	por	$f_{y,d}$
N	por	N_d

Las mencionadas fórmulas prácticas de cálculo se agrupan en dos familias distintas; unas corresponden a dimensionamiento de secciones y otras a comprobación. Si se utilizan las primeras es, por supuesto, innecesario comprobar después la sección así dimensionada.

2.2. Notación y convenio de signos.

El significado de los símbolos de la notación utilizada en los apartados 3, 4 y 5 siguientes puede consultarse en el anejo 1 de esta Instrucción. En particular, conviene recordar aquí el concepto de «capacidad mecánica» de una armadura, que se define como el producto de su sección por la resistencia de cálculo del acero, en tracción o en compresión según corresponda al trabajo de la armadura. Las capacidades mecánicas se designan por U_s , reservándose U_s para representar un concepto análogo, pero aplicado al hormigón:

$U_{s1} = A_s \cdot f_{y,d}$ = capacidad mecánica de la armadura de tracción o menos comprimida. Por brevedad, se designa a veces también por U_{s1} a la propia armadura (1).

$U_{s2} = A'_s \cdot f_{y,c,d}$ = capacidad mecánica de la armadura de compresión o más comprimida. Por brevedad se designa a veces también U_{s2} a la propia armadura.

$U_o = f_{cd} \cdot b \cdot d$ = capacidad mecánica de la sección útil del hormigón, en sección rectangular.

$U_{ot} = f_{cd} \cdot b \cdot h$ = capacidad mecánica de la sección total de hormigón, en sección rectangular.

La fuerza N_d exterior actuante se considera como positiva si es de compresión y como negativa si es de tracción.

Dada una sección sometida a una fuerza N_d , se designará por U_{s1} la armadura más alejada del borde comprimido (o del más comprimido si los dos lo están) y por U_{s2} a la otra. Con esto quedan definidas las magnitudes d (canto útil) y e (excentricidad de la fuerza N_d con respecto al c. de g. de la armadura U_{s1}).

(1) Para aquellos estados de sollicitación en los que la armadura U_s trabaja en compresión, la capacidad mecánica aplicable no es $A_s \cdot f_{y,d}$ sino $A_s \cdot f_{y,c,d}$. Esta última expresión es la que se utiliza (en lugar de U_{s1}) en las fórmulas de los capítulos siguientes para tales casos. Naturalmente, para aquellos aceros en los que $f_{y,d} \leq 4000$ kp/cm² (valor límite máximo admitido en esta Instrucción para $f_{y,c,d}$) los valores de $f_{y,d}$ y $f_{y,c,d}$ son idénticos.

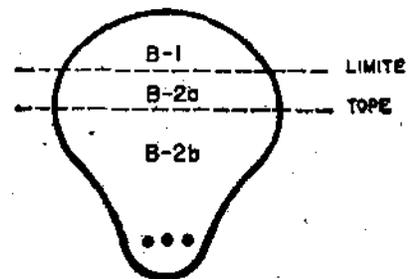


Figura A.7.4

En cuanto al signo de e , será positivo si la fuerza N_d y el borde más comprimido caen al mismo lado de U_{s1} , y será negativo si caen a lado distinto.

Con estas convenciones (figura A.7.5), el producto $N_d \cdot e$ siempre será positivo (2).

Puede ocurrir que por ser la fuerza $N_d > 0$ y actuar relativamente centrada en la sección, no se sepa de antemano cuál sea el borde más comprimido. En tal caso, se adoptará como tal cualquiera de ellos, a reserva de comprobar en el momento oportuno que la elección ha sido acertada. Esta comprobación de borde, que se estudia más adelante, no siempre resulta necesaria, por lo que en el cuerpo de fórmulas del apartado 3.º se avisa en cada uno de los casos en que es imprescindible hacerla.

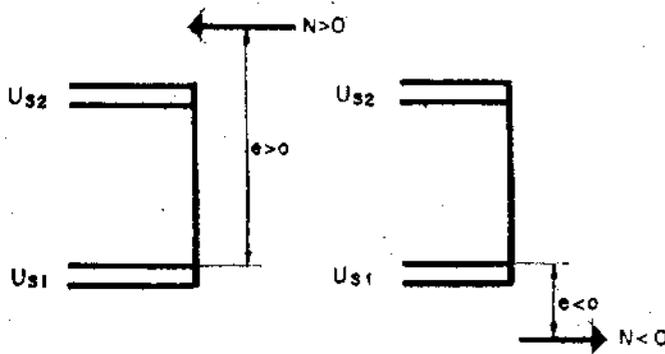


Figura A.7.5

2.3. Campo de validez de las fórmulas.

Las fórmulas de los apartados 3, 4 y 5 siguientes son válidas cuando se emplea acero de límite elástico característico no superior a 5.000 kp/cm² y dicho acero posee escalón de cedencia. Estas fórmulas corresponden a la teoría general del momento tope. Si el acero no posee escalón de cedencia, las citadas fórmulas son igualmente aplicables, admitiendo que el diagrama de cálculo del acero tiene el segundo tramo horizontal, a la altura del límite elástico convencional. Para aprovechar algo mejor estos últimos aceros (utilizando el segundo tramo ascendente de su diagrama tensión-deformación), así como para resolver los casos en los que $f_y > 5.000$ kp/cm², habría que acudir a la ecuación de compatibilidad de deformaciones (ecuación (6) del apartado 1 anterior).

En las fórmulas de los apartados siguientes se supone también que la distancia d del centro de gravedad de la armadura de compresión a la fibra extrema más comprimida no es superior al 20 por 100 del canto útil, con lo que dicha armadura trabaja siempre a su límite elástico. Si no fuera así, habría que corregir las fórmulas, encontrando la tensión en la armadura de compresión por medio de la ecuación de compatibilidad de deformaciones.

Conviene recordar, por último, las siguientes prescripciones establecidas en el articulado de esta Instrucción

1. La resistencia de cálculo del acero en compresión está limitada superiormente por el valor $f_{y,c,d} = 4.000$ kp/cm².
2. La resistencia de cálculo del hormigón en las piezas hormigonadas verticalmente debe reducirse en un 10 por 100.

2.4. Observación final.

La lectura de este subapartado no es necesaria para la aplicación práctica del método. Se trata simplemente de una aclaración encaminada a salvar ciertas anomalías de orden lógico que podrían presentarse al calculista en alguna ocasión especial.

Al emplear las fórmulas de los apartados que siguen, puede obtenerse en algún caso particular, poco frecuente, el resultado aparentemente absurdo de que, a igualdad de las restantes variables, secciones con más armadura de compresión se agotan antes que otras de armadura de compresión menor.

La explicación de este hecho reside en que las fórmulas se han obtenido considerando siempre la colaboración total de la armadura U_{s2} , aun cuando su recubrimiento no esté comprimido por entero según la teoría del momento tope. En rigor, debería procederse al contrario; es decir, la armadura no debería contarse en el cálculo más que cuando la totalidad de su recubri-

(2) Se exceptúa el caso de fuerza de tracción ($N_d < 0$) actuando entre las dos armaduras. Este caso de tracción simple o compuesta se resuelve en el apartado 3.1.3 de la Instrucción.

miento esté en compresión. Si se procede de esta última forma, no se llega a la paradoja indicada en el párrafo anterior.

No obstante, se ha seguido el primero de los criterios enunciados porque conduce a fórmulas más sencillas. Y como la diferencia entre los valores numéricos que se obtienen con uno y otro procedimiento es muy pequeña, las fórmulas de los apartados 3, 4 y 5 siguientes son utilizables en todos los casos sin ninguna reserva.

CAPITULO III

SECCIÓN RECTANGULAR

3. Formulas para sección rectangular con acero

de $f_y \leq 5.000$ kp/cm².

En secciones rectangulares armadas con acero de $f_y \leq 5.000$

kp/cm², se verifica siempre $\left[\frac{y}{d} \right]_{tope} = 0.45 \leq \left[\frac{y}{d} \right]_{lim}$

por lo que se está en el caso A del subapartado 1.4 de este anejo.

3.1. Flexión simple sin armadura de compresión.

3.1.1. Dimensionamiento.

Armadura de tracción necesaria con $M_d \leq 0.35 U_c \cdot d$ (si fuese $M_d > 0.35 U_c \cdot d$ sería necesaria la armadura de compresión).

Fórmula exacta:

$$U_{s1} = U_c \left[1 - \sqrt{1 - 2 \frac{M_d}{U_c \cdot d}} \right]$$

Fórmula aproximada para la aplicación:

$$U_{s1} = 0.97 \frac{M_d}{d} \left[1 + \frac{M_d}{U_c \cdot d} \right] < 0.04 U_c$$

Para: $M_d = 0.35 U_c \cdot d$ resulta $U_{s1} = 0.45 U_c$ [10]

El método simplificado del momento tope sólo exige armadura de compresión para momentos elevados $M_d > 0.35 U_c \cdot d$, es decir, para zonas del hormigón comprimido demasiado grandes.

Canto mínimo:

$$d_{min} = \sqrt{\frac{M_d}{0.35 f_{cd} \cdot b}} \quad \text{cuando } b \text{ es dato; [11]}$$

$$d_{min} = \sqrt[3]{\frac{M_d}{0.35 f_{cd}} \cdot \left[\frac{d}{b} \right]} \quad \text{cuando } \frac{d}{b} \text{ es dato; [12]}$$

3.1.2. Comprobación.

Siendo M_u el momento de agotamiento, debe ser:

$$M_d \leq M_u = U_{s1} \left[1 - \frac{U_{s1}}{2 U_c} \right]$$

d entrando en ella con $U_{s1} \geq 0.45 U_c$ [13]

Debiéndose verificar la condición de armadura mínima $U_{s1} \geq 0.04 U_c$.

Para $U_{s1} \geq 0.45 U_c$ la fórmula [13] da $M_u = 0.35 U_c \cdot d$ (momento tope).

3.2. Flexión simple con armadura de compresión.

3.2.1. Dimensionamiento

La armadura U_{s2} debe cumplir la condición:

$$U_{s2} \geq \frac{M_d - 0.35 U_c \cdot d}{d - d'}$$

[14]

Caso A: La armadura U_c es dada.

Se comprobará la relación (14). La armadura de tracción vale:

Fórmula exacta:

$$U_{st} = U_c \left[1 - \sqrt{1 - 2 \frac{M_d - U_{c2} \cdot (d-d')}{U_c \cdot d}} \right] + U_{c2} \leq 0,04 U_c$$

Fórmula aproximada:

$$U_{st} = 0,97 \frac{M_d - U_{c2} \cdot (d-d')}{d} \left[1 + \frac{M_d - U_{c2} \cdot (d-d')}{U_c \cdot d} \right] + U_{c2} \leq 0,04 U_c \quad (15)$$

En estas fórmulas debe entrarse con $U_{c2} \geq \frac{M_d}{d-d}$. Si fuese

$U_{c2} > \frac{M_d}{d-d}$ (exceso de armadura U_{c2}) resultaría:

$$U_{st} = \frac{M_d}{d-d} \leq 0,04 U_c \quad (16)$$

Si fuese $U_{c2} = \frac{M_d - 0,35 U_c \cdot d}{d-d}$ (máximo aprovechamiento del

hormigón) resultaría:

$$U_{st} = 0,45 U_c + U_{c2} \quad (17)$$

Caso B: La armadura U_c no es dada.

Si fuese $M_d \leq 0,35 U_c \cdot d$ la armadura de compresión no sería necesaria. Deberá hacerse $U_{c2} = 0$ y entrar en el apartado 3.1. Si fuese $M_d > 0,35 U_c \cdot d$ se aprovecharía el hormigón al máximo haciendo:

$$U_{c2} = \frac{M_d - 0,35 U_c \cdot d}{d-d} \quad U_{st} = 0,45 U_c + U_{c2}$$

3.2.2. Comprobación.

Siendo M_u el momento de agotamiento debe ser:

$$M_d \leq M_u = (U_{st} - U_{c2}) \left[1 - \frac{U_{st} - U_{c2}}{2 U_c} \right] d + U_{c2} \cdot (d-d') \quad (18)$$

entrando en ella con $\begin{cases} U_{c2} \geq U_c \\ U_{st} \geq 0,45 U_c + U_{c2} \end{cases}$

debiéndose verificar, además, la condición de armadura mínima $U_{st} \geq 0,04 U_c$.

Para $U_{c2} \geq U_c$ (exceso de armadura de compresión) la fórmula (18) da:

$$M_u = U_{st} \cdot (d-d')$$

con la condición $U_{st} \geq 0,04 U_c$.

Para $U_{c2} = 0,45 U_c + U_{c2}$ (máximo aprovechamiento del hormigón) la fórmula (18) da:

$$M_u = 0,35 U_c \cdot d + U_{c2} \cdot (d-d') \quad (19)$$

El mismo valor (19) resultaría para $U_{st} > 0,45 U_c + U_{c2}$ (exceso de armadura de tracción).

3.3. Compresión simple.

El método del momento tope resuelve también la compresión compuesta, así como en el límite la compresión simple.

Cuando la compresión es centrada, es decir, cuando la sollicitación exterior N_d actúa en el baricentro plástico de la sección

(véase su definición en el anejo 2), resulta más ventajoso efectuar la comprobación mediante la relación:

$$N_d \geq N_u = 0,7 \cdot b \cdot h \cdot f_{cd} + A'_s \cdot f_{yc,d} + A_s \cdot f_{yd}$$

La excentricidad e_b correspondiente al baricentro plástico de la sección es:

$$e_b = \frac{0,35 \cdot U_c \cdot d (1-\rho^2) + U_{c2} \cdot (d-d')}{0,7 U_{st} + A_s \cdot f_{yc,d} + U_{c2}} = \frac{0,35 U_c \cdot d + U_{c2} (d-d')}{0,7 \cdot U_{st} + A_s \cdot f_{yc,d} + U_{c2}} \quad (20)$$

3.4. Comprobación de borde.

Si no se cumple la relación (20), la compresión no es simple, sino compuesta, y debe resolverse dentro de la teoría general del momento tope, con las fórmulas de los apartados que siguen.

Cuando la fuerza N_d actúa sensiblemente centrada en la sección y no es posible conocer de antemano cuál es el borde más comprimido (casos de dimensionamiento en los que alguna de las armaduras es desconocida), debe adoptarse como tal uno cualquiera de los bordes, a reserva de comprobar posteriormente que la elección ha sido acertada. Dicha comprobación es la siguiente:

La elección inicialmente hecha de borde más comprimido será correcta si se verifica $e \geq e_b$, siendo el e_b el valor (20) que corresponde a la excentricidad del baricentro plástico. Si no se verifica $e \geq e_b$, el borde más comprimido es el opuesto al que se eligió inicialmente.

En los apartados siguientes, se avisa en cada uno de los casos en los que es obligado hacer la comprobación de borde.

3.5. Flexión y compresión compuestas.

3.5.1. Dimensionamiento.

La armadura U_{s2} debe cumplir $U_{s2} \geq U_{s \text{ min}}$, siendo $U_{s \text{ min}}$ el mayor de los tres valores siguientes:

$$0; 0,05 N_d; U_{s \text{ crit}} = \frac{N_d \cdot e - 0,35 U_c \cdot d}{d-d'}$$

Además $U_{s2} \leq 0,5 U_s$

(en rigor, el valor $0,05 N_d$ es de obligada consideración tan solo en compresión compuesta, pudiendo prescindirse de él en flexión compuesta).

Caso A: La armadura U_{s2} es dada.

$$1^\circ \quad N_d - U_{s2} \geq 0,7 U_c$$

Se trata de un caso de compresión compuesta. La armadura U_{s1} trabaja en compresión, y su capacidad mecánica será, por tanto, $A_s \cdot f_{yc,d}$.

Se comprueba: $U_{s2} \geq U_{s \text{ min}}$

y se hace: $A_s \cdot f_{yc,d} = N_d - 0,7 U_c - U_{s2} \leq 0,05 N_d \quad (21)$

Si fuese $U_{s2} > U_{s \text{ crit}}$ habría que hacer comprobación de borde (fórmula (20) citada en el apartado 3.4).

$$2^\circ \quad N_d - U_{s2} \leq 0,45 U_c$$

se comprueba: $U_{s2} \geq U_{s \text{ min}}$.

y se hace:

Fórmula exacta:

$$U_{st} = U_c \left[1 - \sqrt{1 - 2 \frac{N_d \cdot e - U_{s2} \cdot (d-d')}{U_c \cdot d}} \right] + U_{s2} - N_d$$

Fórmula aproximada:

$$U_{st} = 0,97 \frac{N_d \cdot e - U_{s2} \cdot (d-d')}{d} \left[1 + \frac{N_d \cdot e - U_{s2} \cdot (d-d')}{U_c \cdot d} \right] + U_{s2} - N_d \quad (22)$$

Si resulta $U_{st} \geq 0$, se trata de un caso de flexión compuesta. La armadura U_{s1} trabaja en tracción y debe cumplir la condición $U_{s1} \leq 0,04 U_c$.

Si resulta $U_{s1} < 0$, basta con poner un mínimo de armadura. Se está al lado de la seguridad colocando el mayor de los dos valores siguientes:

$$\begin{aligned} U_{s1} &\geq 0,04 U_c \\ U_{s1} &\geq 0,05 N_d \end{aligned}$$

Si es $N_d > 0$ y el valor de U_{s1} resulta negativo (prescindiendo de la armadura mínima $0,04 U_c$ ó $0,05 N_d$), es preciso hacer comprobación de borde (apartado 3.4).

En la fórmula [22] debe entrarse con

$$U_{s2} > \frac{N_d \cdot e}{d - d'}$$

si fuese $U_{s2} > \frac{N_d \cdot e}{d - d'}$ (exceso de armadura U_{s2}), resultaría:

$$U_{s1} = \frac{N_d [e - (d - d')]}{d - d'} < 0,04 U_c \quad [23]$$

Si fuese $U_{s2} = U_{s2, \text{crit}} = \frac{N_d \cdot e - 0,35 U_c \cdot d}{d - d'}$ (máximo aprovechamiento del hormigón), resultaría:

$$U_{s1} = 0,45 U_c + U_{s2} - N_d < 0,04 U_c \quad [24]$$

$$3.^\circ \quad | \quad 0,7 U_c > N_d - U_{s1} > 0,45 U_c$$

Se trata de un caso intermedio en el que, teóricamente, no es necesaria la armadura U_{s1} . Por ello se dispondrá la armadura mínima.

Se comprueba: $U_{s2} > U_{s2, \text{mín}}$.

y se hace: $U_{s1} \geq \begin{cases} 0,05 N_d \\ 0,04 U_c \end{cases} \quad [25]$

Si fuese $U_{s2} > U_{s2, \text{crit}}$ habría que hacer comprobación de borde (apartado 3.4).

Caso B: La armadura U_{s2} no es dada.

Conviene hacer $U_{s2} = U_{s2, \text{máx}}$ para aprovechar el hormigón al máximo.

Caso C: Dimensionamiento con armadura simétrica ($A_s = A'_s$).

Las fórmulas siguientes son válidas para fuerza N_d de compresión, suponiendo

$$f_{y0} = f_{y0,d}$$

$$1.^\circ \quad | \quad N_d \leq 0,45 U_c$$

$$A'_s \cdot f_{y0,d} = \frac{N_d}{d - d'} \left[e_0 + \frac{d - d'}{2} \right] - \frac{d}{d - d'} N_d$$

$$\left[1 - \frac{1}{2} \frac{N_d}{U_c} \right] < \begin{cases} 0,04 U_c \\ 0,05 N_d \end{cases} \quad [26]$$

estando e_0 referida al punto medio del canto total; es decir, siendo

$$e = e_0 + \frac{d - d'}{2}$$

$$2.^\circ \quad | \quad N_d \geq 0,45 U_c$$

$$A'_s \cdot f_{y0,d} = \frac{N_d}{d - d'} \left[e_0 + \frac{d - d'}{2} \right] - \frac{d}{d - d'} 0,35 U_c < A \begin{cases} 0,04 U_c \\ 0,05 N_d \end{cases}$$

3.5.2. Comprobación.

Se determina primero cuál es el borde más comprimido (ver apartado 3.4).

La sección está en buenas condiciones cuando se cumplen las que en cada caso se expresan:

$$1.^\circ \quad | \quad N_d + U_{s1} - U_{s2} \leq 0$$

Hay exceso de armadura de compresión.

$$\begin{aligned} U_c &\geq 0,04 U_c \\ N_d \cdot e &\leq (N_d + U_{s1}) (d - d') \end{aligned} \quad [28]$$

$$2.^\circ \quad | \quad 0 \leq N_d + U_{s1} - U_{s2} \leq 0,45 U_c$$

En este caso, el agotamiento se produce en flexión compuesta

$$N_d \cdot e \leq \left[N_d + U_{s1} - U_{s2} \right] \left[1 - \frac{N_d + U_{s1} - U_{s2}}{2 U_c} \right] d + U_{s2} (d - d') \quad [29]$$

$$3.^\circ \quad | \quad N_d - U_{s1} - U_{s2} \geq 0,45 U_c$$

$$\begin{aligned} U_c &\geq 0,05 N_d \\ N_d \cdot e &\leq 0,35 U_c \cdot d + U_{s2} (d - d') \end{aligned} \quad [30]$$

$$N_d \leq A_s \cdot f_{y0,d} + U_{s2} + 0,7 U_c \quad [31]$$

$$U_{s1} \geq \begin{cases} 0,04 U_c \\ 0,05 N_d \end{cases}$$

CAPITULO IV

SECCIÓN EN T

4. Fórmulas para sección en T con acero de $f_y \leq 5.000 \text{ kp/cm}^2$.

4.1. Planteamiento general.

El estudio de la sección en T se reduce al de la sección rectangular en todos los casos, y en muchos de ellos resulta más sencillo. En efecto:

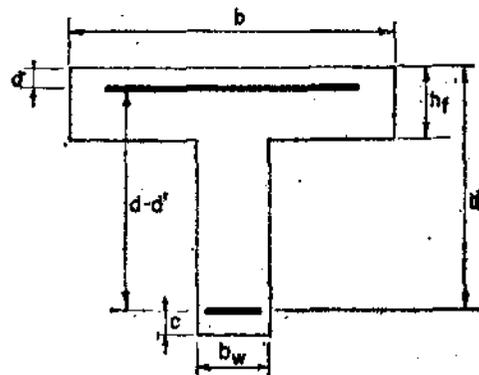


Figura A.7.6

A) En una sección en T armada con cualquier tipo de acero, el valor $\left[\frac{y}{d} \right]_{\text{topo}}$ es menor que el correspondiente a una sección rectangular de anchura b y canto útil d, armada con el mismo acero. Por tanto, la necesidad de recurrir a la ecuación de compatibilidad de deformaciones para encontrar el valor de

La tensión de la armadura de tracción (caso B.2 a del subapartado 1.4 de este anejo) se presenta en menos ocasiones en las secciones en T; y, naturalmente, no se presenta nunca con acero de $f_r \leq 5.000 \text{ kp/cm}^2$.

En lo sucesivo se supone $f_r \leq 5.000 \text{ kp/cm}^2$.

B) Si la profundidad de la zona comprimida de hormigón es menor o igual que el espesor de la cabeza de la sección; es decir, si:

$$\frac{y}{d} \leq \frac{h_f}{d} \quad [32]$$

la sección se comporta como una rectangular de anchura b y canto d , pudiendo utilizarse las ecuaciones correspondientes expuestas en el apartado 3 anterior, pero teniendo en cuenta que el valor del momento tope es diferente dada la forma de la sección.

C) Si la profundidad de la zona comprimida de hormigón es mayor que el espesor de la cabeza de la sección (caso poco frecuente en flexión simple, pues corresponde a secciones fuertemente armadas); es decir, si:

$$\frac{y}{d} > \frac{h_f}{d} \quad [33]$$

la sección en T puede reducirse para su cálculo a una sección rectangular (salvo para calcular el valor del momento tope, que debe hallarse directamente en la sección en T) de dos maneras distintas, a saber:

C-1) Se considera la parte de las alas que sobresale del alma como una armadura de compresión ficticia U_{2f} de valor:

$$U_{2f} = (b - b_w) h_f \cdot f_{cd} \quad [34]$$

colocada a una distancia $\frac{d}{2}$ del borde más comprimido. La

sección rectangular equivalente tiene entonces una anchura b_w , un canto útil d y una armadura virtual de compresión igual a

$$U_{2r} = U_{2real} + U_{2f} \quad [35]$$

C-2) Se considera la totalidad de las alas como una armadura de compresión ficticia $U_{2f,tot}$ de valor:

$$U_{2f,tot} = b \cdot h_f \cdot f_{cd} \quad [36]$$

colocada en la misma posición del caso anterior. La sección rectangular equivalente tiene, entonces, una anchura b_w , un canto útil d y una armadura virtual de compresión igual a:

$$U_{2r,tot} = U_{2real} + U_{2f,tot} \quad [37]$$

colocada fuera de la sección, lo que no afecta al cálculo de la misma.

De todo lo expuesto resultan las fórmulas prácticas de los subapartados siguientes.

4.2. Valores de partida y comprobación de borde.

La contribución del hormigón al momento tope en una sección en T vale:

$$M_c = 0,7 f_{cd} \left[bh_f (d - \frac{h_f}{2}) + 0,5 b_w (d - h_f)^2 \right] \quad [38]$$

y considerando la armadura de compresión, el momento tope M_{tope} resulta:

$$M_{tope} = M_c + U_{s2} (d - d') \quad [39]$$

El área útil de la sección vale:

$$A_{ce} = bh_f + b_w (d - h_f) \quad [40]$$

y el área total:

$$A_o = b \cdot h_f + b_w (h - h_f) \quad [41]$$

En los subapartados 4.3 y 4.4 se dan fórmulas válidas para el caso general; y en el subapartado 4.5 se definen las «secciones en T normales» y se dan fórmulas simplificadas para su cálculo en flexión simple.

Para todo lo que sigue se supone que el borde más comprimido es el correspondiente a las alas (sección en T propiamente dicha); es decir, no se trata el caso de secciones en T invertidas.

La comprobación correspondiente se realiza verificando que $e \geq e_b$, siendo:

$$e_b = \frac{M_{c,0} - 0,35 f_{cd} \cdot b_w \cdot c^2}{0,7 f_{cd} A_{ce} + A_s \cdot f_{y,c,d} + U_{s2}} \quad [42]$$

En las fórmulas siguientes se advierte, en los lugares oportunos, cuando es necesario realizar la comprobación de borde.

4.3. Flexión simple o compuesta con fuerza N_d actuando fuera de canto útil.

Incluye los dos casos siguientes:

$$N_d \geq 0 \quad \left\{ \begin{array}{l} N_d < 0 \\ e \geq d \end{array} \right\} \quad \text{y} \quad \left\{ \begin{array}{l} N_d < 0 \\ e < 0 \end{array} \right.$$

Las fórmulas que siguen son válidas para flexión simple, haciendo en ellas:

$$N_d = 0 \quad \text{y} \quad N_d \cdot e = M_d$$

4.3.1. Dimensionamiento.

La armadura U_{s2} debe cumplir: $U_{s2} \geq U_{s,min} = \frac{N_d \cdot e - M_0}{d - d'} \leq 0$

Caso A: La armadura U_{s1} es dada.

Se define el valor: $M_0 = U_{s1} \cdot (d - d') + f_{cd} \cdot b \cdot h_f \left[d - \frac{h_f}{2} \right]$

que representa el momento de la armadura virtual $U_{2r,tot}$ (fórmula [37] respecto al c. de g. de la armadura U_{s1}).

Pueden ocurrir dos casos:

$$1.^\circ \quad | N_d \cdot e \leq M_0$$

La zona comprimida de hormigón se localiza en las alas ($y \leq h_f$). Se comprueba: $U_{s2} \geq U_{s,min}$

y se toma:

$$U_{s1} = 0,97 \frac{N_d \cdot e - U_{s2} (d - d')}{d} \left[1 + \frac{N_d \cdot e - U_{s2} (d - d')}{f_{cd} \cdot b \cdot d^2} \right] + U_{s2} - N_d \leq 0,04 f_{cd} \cdot A_{ce} \quad [44]$$

En la fórmula [44] debe entrarse con $U_{s2} \geq \frac{N_d \cdot e}{d - d'}$.

Si fuese $U_{s2} \geq \frac{N_d \cdot e}{d - d'}$ (exceso de armadura U_{s2}) resultaría:

$$U_{s1} = \frac{N_d (e - (d - d'))}{d \cdot d'} \leq 0,04 f_{cd} \cdot A_{ce} \quad [45]$$

$$2.^\circ \quad | N_d \cdot e \geq M_0$$

La zona comprimida de hormigón se extiende al alma ($y \geq h_f$). Se comprueba: $U_{s2} \geq U_{s,min}$

Y se toma:

$$U_{s1} = 0,97 \frac{N_d \cdot e - M_0}{d \cdot h_f} \left[1 + \frac{N_d \cdot e - M_0}{f_{cd} \cdot b_w (d - h_f)^2} \right] + f_{cd} \cdot b \cdot h_f + U_{s2} - N_d \leq 0,04 f_{cd} \cdot A_{ce} \quad [46]$$

Caso B: La armadura U_{s2} no es dada.

Conviene hacer $U_{s2} = U_{s,min}$ para aprovechar el hormigón al máximo.

4.3.2. Comprobación.

La sección está en buenas condiciones cuando se cumple que:

$$U_{s1} \geq 0,04 f_{cd} \cdot A_{ce} \quad [47]$$

y además lo que en cada caso se indica a continuación.

$$1.^\circ \quad | N_d + U_{s1} - U_{s2} \leq 0$$

Hay exceso de armadura de compresión.

$$N_d \cdot e \leq (N_d + U_{s1}) (d - d') \quad [48]$$

$$2.^\circ \quad 0 \leq N_d + U_{s1} - U_{s2} \leq f_{ct} \cdot b \cdot h_f$$

La zona comprimida de hormigón se localiza en las alas ($y \leq h_f$)

$$N_d \cdot e \leq (N_d + U_{s1} - U_{s2}) \left[1 - \frac{N_d + U_{s1} - U_{s2}}{2 f_{cd} \cdot b \cdot d} \right] \quad [49]$$

$$d + U_{s2} \cdot (d - d') \geq M_{top}$$

$$3.^\circ \quad N_d + U_{s1} - U_{s2} \geq f_{cd} \cdot b \cdot h_f$$

La zona comprimida de hormigón se extiende al alma ($y \geq h_f$)

$$\text{Se calcula: } U_0 = N_d + U_{s1} - U_{s2} - f_{cd} \cdot b \cdot h_f \quad [50]$$

y la condición es:

$$N_d \cdot e \leq f_{cd} \cdot b \cdot h_f \left[d - \frac{h_f}{2} \right] \quad [51]$$

$$+ U_{s2} \cdot (d - d') + U_0 \left[d - h_f - \frac{U_0}{2 f_{ct} \cdot b_w} \right] \geq M_{top}$$

4.4. Flexión o compresión compuestas, con fuerza N_d de compresión ($N_d > 0$) actuando dentro del canto útil.

$$\text{Incluye los casos: } \begin{cases} N_d > 0 \\ e < d \end{cases}$$

4.4.1. Dimensionamiento.

La armadura U_{s2} debe cumplir $U_{s2} \leq U_{s, \text{min}}$, siendo $U_{s, \text{min}}$ el mayor de los valores siguientes:

$$0,05 N_d; \quad U_{s, \text{crit}} = \frac{N_d \cdot e - M_c}{d - d'}$$

Caso A: La armadura U_{s1} es dada.

$$\text{Se define el valor: } U_s = N_d - 0,7 f_{ct} \cdot A_{ce} - U_{s2} \quad [52]$$

y pueden distinguirse dos casos:

$$1.^\circ \quad U_s \geq 0$$

Se trata de un caso de compresión compuesta. La armadura U_{s1} trabaja en compresión y su capacidad mecánica será, por tanto, $A_s \cdot f_{yc,d}$

Se comprueba: $U_{s2} \geq U_{s, \text{min}}$

$$\text{y se toma: } A_s \cdot f_{yc,d} = U_s \leq 0,05 N_d \quad [53]$$

Debe hacerse comprobación de borde (subapartado 4.2), salvo en el caso de ser

$$U_{s2} = U_{s, \text{min}} = U_{s, \text{crit}}$$

$$2.^\circ \quad U_s < 0$$

Se calcula U_{s1} que es el valor de U_{s1} dado por las fórmulas [44] o [46], según el caso, prescindiendo de la condición $U_{s1} \leq 0,04 f_{ct} \cdot A_{ce}$

Si resulta $U_{s1} \geq 0$ se trata de un caso de flexión compuesta y debe hacerse:

$$U_{s1} = U_{s1} \leq 0,04 f_{ct} \cdot A_{ce} \quad [54]$$

Si resulta $U_{s1} < 0$ debe hacerse:

$$U_{s1} \begin{cases} 0,05 N_d \\ 0,04 f_{ct} \cdot A_{ce} \end{cases} \quad [55]$$

y debe comprobarse el borde (subapartado 4.2).

Caso B: La armadura U_{s1} no es dada.

Conviene hacer $U_{s2} = U_{s, \text{min}}$ para aprovechar el hormigón al máximo.

4.4.2. Comprobación.

Se comprobará inicialmente que el borde más comprimido es el correspondiente a las alas. Para ello es de aplicación el subapartado 4.2.

La armadura U_{s2} debe cumplir $U_{s2} \geq U_{s, \text{min}}$ (véase 4.4.1. Dimensionamiento).

Cumplida esta condición se halla el valor de U_{s1} mediante las fórmulas de dimensionamiento para la U_{s2} dada. Si el valor de U_{s1} así calculado es igual o menor que el dado, la sección está en buenas condiciones.

4.5. Secciones en T normales en flexión simple.

Se denomina sección en T normal aquella que cumple:

$$b \cdot h_f \left[d - \frac{h_f}{2} \right] \leq \frac{7}{6} b_w (d - h_f)^2 \quad [56]$$

Dicha relación equivale a decir que $y_{top} \geq h_f$ y se cumple en cualquiera de los tres casos particulares siguientes:

$$a) \quad \frac{h_f}{d} \leq 0,25 \text{ con } \frac{b_w}{b} \geq 0,33 \quad [57]$$

$$b) \quad \frac{h_f}{d} \leq 0,20 \text{ con } \frac{b_w}{b} \geq 0,24 \quad [58]$$

$$c) \quad \frac{h_f}{d} \leq 0,15 \text{ con } \frac{b_w}{b} \geq 0,18 \quad [59]$$

Las fórmulas que siguen son aproximadas, por el lado de la seguridad. En ellas se cuenta como zona de hormigón disponible en la cabeza de compresión únicamente la que corresponda a las alas.

4.5.1. Dimensionamiento.

La armadura U_{s2} debe cumplir $U_{s2} \geq U_{s, \text{min}}$ siendo:

$$U_{s, \text{min}} = \frac{M_d - f_{cd} \cdot b \cdot h_f \left[d - \frac{h_f}{2} \right]}{(d - d')} \leq 0 \quad [60]$$

Caso A: La armadura U_{s1} es dada.

Se comprueba: $U_{s2} \geq U_{s, \text{min}}$

y se toma:

$$U_{s1} = 0,97 \frac{M_d - U_{s2} \cdot (d - d')}{d} \left[1 + \frac{M_d - U_{s2} \cdot (d - d')}{f_{ct} \cdot b \cdot d^2} \right] + \quad [61]$$

$$+ U_{s2} \leq 0,04 f_{ct} \cdot A_{ce}$$

En la fórmula [61] debe entrarse con $U_{s2} \geq \frac{M_d}{d \cdot d'}$. Si fuese

$$U_{s2} \geq \frac{M_d}{d \cdot d'} \text{ (exceso de armadura } U_{s2}) \text{ resultaría:}$$

$$U_{s1} = \frac{M_d}{d \cdot d'} \leq 0,04 f_{ct} \cdot A_{ce} \quad [62]$$

Caso B: La armadura U_{s2} no es dada.

Conviene hacer $U_{s2} = U_{s, \text{min}}$ para aprovechar el hormigón al máximo.

4.5.2. Comprobación.

Siendo M_u el momento de agotamiento, debe ser:

$$M_d \leq M_u = (U_{s1} \cdot U_{s2}) \left[1 - \frac{U_{s1} \cdot U_{s2}}{2 f_{cd} \cdot b \cdot d} \right] d + U_{s2} \cdot (d - d') \quad [63]$$

$$\text{Con } \begin{cases} U_{s2} \geq U_{s1} \\ U_{s1} \geq f_{ct} \cdot b \cdot h_f + U_{s2} \end{cases}$$

debiéndose verificar además la condición de armadura mínima:

$$U_{s1} \geq 0,04 f_{ct} \cdot A_{ce}$$

Si fuese $U_{s2} \geq U_{s1}$ (exceso de armadura de compresión) resultaría:

$$M_u = U_{s1} \cdot (d - d') \text{ con } U_{s1} \geq 0,04 f_{ct} \cdot A_{ce} \quad [64]$$

Si fuese $U_{s1} \geq f_{ct} \cdot b \cdot h_f + U_{s2}$ (exceso de armadura de tracción), resultaría:

$$M_u = f_{ct} \cdot b \cdot h_f \left[d - \frac{h_f}{2} \right] + U_{s2} \cdot (d - d') \quad [65]$$