

Documento:



Eh-10

UNIDAD CONSTRUCTIVA

**ENSAYOS DE INFORMACION
COMPLEMENTARIA.
TESTIGOS DE HORMIGÓN**

DESCRIPCIÓN

Procedimientos y métodos de ensayos para determinar la resistencia a compresión del hormigón endurecido in situ.

ENSAYOS Y PRUEBAS

PROBETAS TESTIGOS DE HORMIGÓN

ZONAS AFECTADAS

Cimentaciones y estructuras de hormigón armado.

INTRODUCCIÓN

El **control estadístico de la resistencia del hormigón durante el suministro** es la modalidad de control generalmente aplicada a todas las obras de hormigón estructural (artículo 57.5.4 del Código Estructural).

El nuevo Código Estructural, en su artículo 57.7 señala las **decisiones derivadas del control de la resistencia del hormigón** durante el suministro y puesta en obra del hormigón:

La dirección facultativa, valorará la aceptación, refuerzo o demolición de los elementos constructivos con el hormigón del lote a partir de la información obtenida mediante la aplicación gradual de los siguientes procedimientos, una vez que el lote ha resultado no conforme:

- Para hormigones que no dispongan de un distintivo de calidad oficialmente reconocido, se podrá disponer de las dos probetas no ensayadas de las amasadas del lote no conforme y hacer una nueva estimación de la resistencia.
- La dirección facultativa podrá disponer la realización de **ensayos de información complementaria**, conforme a lo dispuesto en el apartado 57.8 del Código Estructural, al objeto de **comprobar si la resistencia característica del hormigón real de la estructura corresponde con la especificada en el proyecto**. Dichos ensayos serán realizados por laboratorio acordado por las partes y conforme con el apartado 17.2.2 del dicho Código.
- En el caso de que a partir de los ensayos de información se deduzca que la resistencia característica estimada del hormigón de la estructura es inferior a la especificada en el proyecto, por iniciativa propia o a petición de cualquiera de las partes, la dirección facultativa podrá encargar la realización de un **estudio específico de la seguridad de los elementos afectados por el hormigón del lote sometido a aceptación**, en el que se **compruebe que es admisible el nivel de seguridad** que se obtiene con el valor de resistencia del hormigón realmente colocado en la obra.

Para ello, deberá estimarse la resistencia característica del hormigón a partir de los resultados del control o, en su caso, a partir de ensayos de información complementaria,

- En casos muy específicos y una vez realizado el estudio de seguridad, la dirección facultativa podrá ordenar el **ensayo del comportamiento estructural** del elemento realmente construido, mediante la realización de **pruebas de carga**, de acuerdo con el apartado 23.2 del Código Estructural.

La realización de los ensayos de información, su planificación, así como los estudios de seguridad y los proyectos de refuerzo, en su caso, requieren la intervención de técnicos especializados.



Fig. 1: Extracción probeta testigo de hormigón



Fig. 2: Rotura a compresión probeta hormigón

Hay que indicar, que los valores obtenidos de la extracción y rotura a compresión de las probetas testigos de hormigón nos proporciona información del hormigón tal y como está en el elemento estructural en el momento de la extracción, en la que influye tanto la calidad del hormigón suministrado como la colocación, compactado y curado del hormigón en la obra por parte de la empresa constructora. (Ver Fig. 3).

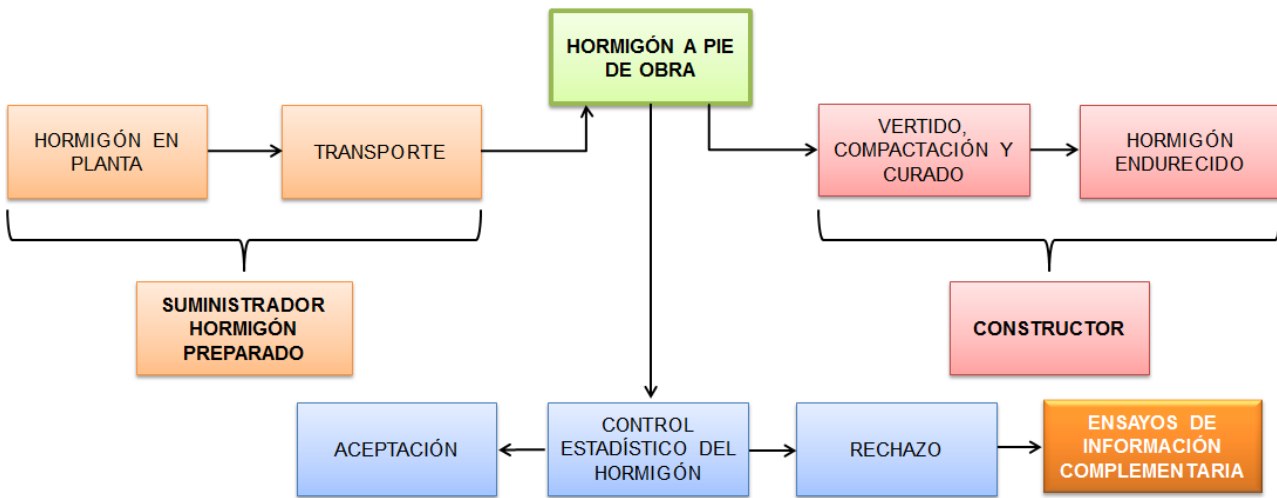


Fig. 3: Esquema del suministro, vertido, compactado y curado del hormigón preparado hasta su endurecimiento en obra.

En la interpretación de los resultados hay que entender que los **valores de las probetas testigos** extraídas del hormigón in situ, **no pueden ser directamente comparables con los resultados obtenidos en el control estadístico** (probetas cilíndricas) del hormigón en su fase de vertido, **ya que las condiciones de compactación y curado son totalmente diferentes.**

Hay que indicar, que las probetas cilíndricas se fabrican con un compactado y curado óptimo (28 días en cámara de húmedo con humedad y temperatura ideal), mientras que el compactado y el curado de la obra, por sus propios condicionantes, es siempre más desfavorable que las que presentan las probetas para el control estadístico.

En este sentido, en la extracción de probetas testigos de hormigón en elementos verticales, como pilares y muros, dependiendo donde se produzca la extracción (parte superior o inferior), se pueden obtener valores de resistencia de los hormigones con diferencias notables (10 a 30%), como consecuencia del asentamiento del hormigón debido a una inadecuada consistencia y/o compactado.



Fig. 4: Compactado de probetas cilíndricas



Fig. 5: Vertido y compactado del hormigón en obra



Fig. 6: Curado de probetas cilíndricas en cámara de húmedos



Fig. 7: Curado del hormigón en obra

▶ ENSAYOS DE INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA DEL HORMIGÓN

Según el artículo 57.8 del Código Estructural los **ensayos de información complementaria del hormigón** pueden consistir en:

- La **rotura de probetas testigo extraídas del hormigón endurecido**, conforme a UNE-EN 12504-1. Este ensayo no deberá realizarse cuando la extracción pueda afectar de un modo sensible a la capacidad resistente del elemento en estudio, hasta el punto de resultar un riesgo inaceptable. En estos casos puede estudiarse la posibilidad de realizar el apeo del elemento, previamente a la extracción.
- El empleo de **métodos no destructivos** fiables, como complemento de los anteriormente descritos y debidamente correlacionados con los mismos.

Entre los ensayos no destructivos pueden considerarse los ensayos normalizados en UNE-EN 12504-2 relativos a la **determinación del índice de rebote** y la UNE-EN 12504-4, a la **velocidad de propagación de ultrasonidos**. La fiabilidad de sus resultados está condicionada a combinar estos ensayos con la extracción de probetas testigo.

La dirección facultativa juzgará en cada caso los resultados, teniendo en cuenta que para la obtención de resultados de resultados fiables la realización, siempre delicada de estos ensayos, deberá estar a cargo de personal especializado.



Fig. 8: Extracción de probeta testigo de hormigón



Fig. 9: Índice de rebote. Esclerómetro



Fig. 10: Velocidad de propagación de ultrasonidos

En este documento nos vamos a centrar en los ensayos de información mediante la extracción y rotura a compresión de probetas testigos de hormigón.

▶ PROBETAS TESTIGOS. EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN

El Código Estructural establece entre otras medidas, en su artículo 57.8 que, en el caso de requerir estimar la resistencia del hormigón de una parte determinada de la obra, porque se haya producido **un incumplimiento al aplicar los criterios de aceptación en el caso de control estadístico del hormigón**, o cuando existan **dudas justificadas sobre la representatividad de dichos resultados**, la **D.F. podrá ordenar la extracción de testigos del hormigón** de la estructura para evaluar dicha resistencia.

Hay que indicar que en el Código Estructural no contempla procedimiento alguno para realizar esta evaluación. Tan solo hace referencia a la norma UNE EN 12540-1 que se limita a describir el método de extracción y conservación de testigos, no especificando nada sobre el muestreo o la posible interpretación de los resultados.

Ante esta ausencia de reglamentación o guías sobre los procedimientos a seguir para evaluar la resistencia a compresión del hormigón de la obra in situ, hemos tenido presente para este documento el artículo publicado por el Instituto de Ciencia de la Construcción Eduardo Torroja. C.S.I.C., denominado: **“Ensayos de información complementaria del hormigón: Evaluación de la resistencia a compresión del hormigón mediante probetas testigos de hormigón”**.

En primer lugar, para definir la intervención que evalúe la resistencia a compresión del hormigón de obra, mediante la extracción y rotura de probetas testigos de hormigón, es recomendable convocar una **reunión de todos los agentes que puedan incurrir en alguna responsabilidad** al respecto (dirección facultativa, empresa constructora, suministrador del hormigón, laboratorio de ensayo, etc.), al objeto de poder establecer el procedimiento a seguir, teniendo presente, entre otros, los siguientes aspectos:



- Objetivo y necesidad de realizar ensayos de extracción y rotura de probetas testigos.
- Localización del lote de hormigón objeto de estudio.
- Determinación del número de testigos, diámetro y lugar de la extracción.
- Medidas a adoptar en base a los resultados obtenidos.

❖ Características dimensionales de los testigos y número de muestras

La Norma UNE-EN 12504-1:2020 recomienda el empleo de **testigos de 100 mm de diámetro**, para hormigones con un **tamaño máximo de árido igual o inferior a 25 mm**. Se acepta en general que la relación entre el tamaño máximo del árido y el diámetro del testigo debe ser mayor que 3 para poder considerar los resultados fiables.

En los casos de estructuras densamente armadas pueden emplearse testigos de un diámetro de **75 mm si el tamaño máximo del árido es igual o menor de 20 mm**.



Fig. 11: Testigo de hormigón de 75 mm de diámetro en pilar



Fig. 12: Testigos de hormigón de 100 mm de diámetro

La norma UNE-EN 13791:2020 sugiere que la evaluación de la resistencia del hormigón en una región determinada (uno o varios elementos estructurales que forman parte de la misma población), debe estar basada en los resultados de **al menos tres testigos** de 100 mm de diámetro. Para testigos de 50 mm de diámetro, el número se triplica.

Otras normas como la **CSTR Nº 11** (Concrete Society Technical Report) Concrete core testing for strength, propone un mínimo de **cuatro testigos tomados de cada lote de hormigón**.

❖ Localización y procedimiento de extracción de testigos de hormigón

Este tipo de ensayo de información complementaria es **generalmente utilizado para evaluar la resistencia del hormigón por incumplimiento al aplicar los criterios de aceptación, en el caso del control estadístico de la resistencia del hormigón durante el suministro**, establecidos en el apartado 57.5.4.3 del Código Estructural. En primer lugar, debemos localizar la zona donde se encuentra la partida de hormigón no aceptable, para ello se puede recabar la información proporcionada por la documentación generada por el control de los hormigones durante el suministro y del personal implicado en el proceso constructivo de los elementos estructurales afectados, de tal manera que se puedan extraer testigos de dicha zona.

En otras ocasiones, se utilizan para **estimar la resistencia in situ en elementos estructurales con síntomas de deterioro o que han estado sometidas a determinadas acciones que podrían haber afectado a su capacidad resistente (fuego, explosión, ataque químico, heladas, etc.)**. En este caso, se ha de delimitar previamente el área afectada mediante la aplicación de ensayos no destructivos como pueden ser el ultrasonido o el índice de rebote (esclerómetro Schmidt), para proceder posteriormente a la extracción de los testigos de hormigón y poder evaluar tanto la resistencia in situ del hormigón como la disminución de dicha resistencia causada por el daño correspondiente.

Se relacionan a continuación unas series de premisas a considerar a la hora de proceder a la extracción de las probetas testigos de hormigón, como son:

- La altura del vertido del hormigón influye en su compactación y, por tanto, en su densidad, repercutiendo en su resistencia.

- Hay que tener en cuenta la **orientación de extracción del testigo respecto a la dirección de hormigonado**. El valor de resistencia de un testigo extraído verticalmente respecto a la dirección de hormigonado puede, dependiendo de la estabilidad del hormigón fresco, ser mayor que la resistencia de un testigo extraído horizontalmente sobre el mismo hormigón. La diferencia en magnitud está típicamente entre el 0% y el 8%, según la UNE EN 13791: 2020, si bien no considera ninguna corrección en el resultado. La norma británica BS6089 estima un coeficiente de reducción de 0,92 para los testigos extraídos en la dirección perpendicular al hormigonado.
- Que el hormigón esté **suficientemente endurecido** como para no perturbar la adherencia entre el mortero y el árido grueso (realizar la extracción con una edad del hormigón igual o superior a 28 días).
- Antes de iniciar la extracción debemos intentar **localizar las armaduras del elemento a ensayar** mediante un pachómetro, o, en casos puntuales, ejecutando una roza superficial en el elemento estructural correspondiente.
- La **longitud** de las **probetas** será **aproximadamente el doble del diámetro**.
- La profundidad de perforación ha de ser algo mayor que la altura del testigo previsto, ya que la pieza necesitará un corte, al menos en la cara interior para desechar la zona fractura por la extracción.

Finalizada la extracción se procederá al **relleno del orificio con mortero epoxídico**, de alta resistencia, ligeramente expansivo y retracción controlada, aplicado por personal especializado y siguiendo las instrucciones del fabricante, al objeto de conseguir que el elemento no se vea afectado por la extracción.

❖ Preparación de los testigos para su ensayo a compresión

Una vez extraído el testigo de hormigón, se realizará una inspección visual para anotar cualquier anomalía que se observe mediante una inspección visual, medición de su longitud y diámetro e identificar, en su caso, la existencia de barras embebidas y su diámetro, según establece la norma UNE-EN 12504-1: 2020.

Además, se podrán indicar otros aspectos, como: la presencia de coqueas, fisuras, irregularidades en la sección, desprendimientos de áridos, granulometría de los áridos, etc.

Seguidamente se procederá al corte de los extremos de las probetas, para conseguir una superficie lisa y perpendicular al eje longitudinal de la misma.

Si el elemento estructural va a permanecer en ambiente seco en condiciones normales de servicio, las muestras se mantendrán, previamente a la rotura, **3 días en ambiente de laboratorio** (condiciones normales de humedad y temperatura).

Si el elemento va a permanecer en ambiente saturado de agua, se mantendrán los testigos 48 horas sumergidas en agua a $20 \pm 2^\circ\text{C}$. La resistencia de un testigo saturado es de un 10% a un 15% inferior a la de un testigo comparable seco al aire, que por lo general tiene un contenido en humedad entre el 8% y el 12%. (UNE-EN 13791: 2020).

Los extremos de los testigos han de prepararse para proceder al ensayo de rotura a compresión, bien mediante el pulido de las caras o el refrentado de mortero de azufre fundido. (UNE EN 12390-2: 2020).

❖ Determinación de la densidad y la porosidad en las muestras

La **densidad** del testigo en condiciones de **saturación**, una vez saturada la probeta y seca la superficie, se determina como:

$$D_s = M_s / V_t$$

Siendo:

M_s : peso de la probeta al aire en condiciones de saturado con superficie seca (gramos).

V_t : volumen del testigo (cm^3).

Para determinar la **densidad en seco** de la probeta testigo, una vez conocida la densidad de los testigos saturados, se seca la probeta durante 48 horas en estufa a $50 \pm 5^\circ\text{C}$, y se calcula la densidad en seco:

$$D_{seco} = M_{seco} / V_t$$

Siendo:

M_{seco} : peso de la probeta seca (gramos).

V_t : volumen del testigo (cm^3).

Conociendo las densidades en estado saturado y seco de los testigos, podemos conocer el coeficiente de **absorción de agua aparente** y la **porosidad aparente** del hormigón, calculados con las expresiones:

$$Ab (\%) = D_{saturada} - D_{seco} / D_s \times 100$$

$$P (\%) = M_{saturada} - M_{seco} / V_t \times 100$$

En general, los hormigones bien compactados, suelen presentar valores de absorción de agua aparente entre el 8 y 12% y una porosidad que oscila entre el 10 y el 15%.

El aumento de la porosidad disminuye la resistencia. Por cada 1% de porosidad disminuye la resistencia entre el 5% y el 8%. Nos podemos encontrar porosidades aparentes por encima del 30% en hormigones mal compactados.

❖ Determinación de la resistencia a compresión de probetas testigos

Antes del ensayo de rotura a compresión, conoceremos el diámetro y la longitud de la probeta previo al refrentado del testigo, redondeado al milímetro.

El ensayo a compresión se realiza en una máquina de ensayo conforme a la Norma UNE-EN 12390-4: 2020, siguiendo el procedimiento descrito en la Norma UNE EN 12390-3: 2020.

La tensión de rotura se obtendrá dividiendo la carga máxima soportada por la probeta, por la sección de esta, expresado en MPa.

A los valores de rotura de las probetas testigos, se les ha de aplicar **unos factores de corrección** en función de:

- a) La **esbeltez** del testigo, la norma UNE EN 13791:2020 expone la necesidad de corrección de testigos con diámetro inferior a 10 mm y relación $l/d=1$, mediante interpolación o factores de conversión en vigor. La norma UNE 83302 recogía dichos factores, pero fue sustituida por la UNE EN 13971: 2020 y la UNE EN 12504-1: 2020.

Relación h/d	Factor de corrección		
	UNE 83302	ASTM C42/C42M	BS1881
2.00	1.00	1.00	1.00
1.75	0.98	0.98	0.97
1.50	0.96	0.96	0.92
1.25	0.94	0.93	0.87
1.10	0.90	--	--
1,00	--	0,87	0,80

Tabla. 1: Referencias sobre factores de corrección para la relación altura/diámetro (esbeltez) de las probetas

- b) La **dirección de la extracción** respecto al hormigonado, en el caso de que la extracción sea perpendicular a la dirección del hormigonado se le aplica un coeficiente que suele oscilar entre el 1,05 y 1,08, ya que la resistencia de testigos extraídos en la dirección de hormigonado puede considerarse del orden de un 5% a un 8% superior a la de los extraídos en dirección horizontal.
- c) La **presencia de armaduras** en el testigo que, en algunos casos por las características del armado del elemento estructural, la vamos a tener presente en la probeta, en estos casos se puede considera la propuesta del CSTR N° 11:

$$K_{acero} = \left[1 + 1,5 * \sum_i \left(\frac{\varnothing_{bi}}{\varnothing_t} * \frac{h_i}{l} \right) \right]$$

\varnothing_{bi} : diámetro de la barra
 \varnothing_t : diámetro del testigo
 h_i : distancia del eje de la barra al extremo más cercano del testigo
 l : longitud del testigo

Una vez aplicados los factores de corrección, los valores obtenidos corresponden a la **resistencia a compresión del hormigón in situ**.

Veamos a continuación un **ejemplo** sobre una estructura de hormigón armado donde los valores de resistencia estimada $f(\bar{x})$ para un hormigón HA-25/F/20/XC3 ha sido de 24,30 MPa en un lote de pilares y de 23,50 MPa en forjado, menores que el valor de la resistencia característica ($f_{ck} = 25$ MPa).

A petición de la dirección facultativa, se procede a la extracción de probetas testigos al objeto de determinar la resistencia a compresión del hormigón in situ.

Testigo	Elemento	Edad hormigón (días)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Peso (g)	Esbeltez (A/D)	Densidad en seco (g/cm ³)
1	Pilar 9	67	7,89	15,90	48,90	777,51	1701	2,01	2,19
2	Pilar 7	67	7,88	15,50	48,77	755,93	1673	1,97	2,21
3	Pilar 3	67	7,89	15,90	48,90	777,51	1720	2,01	2,21
4	Forjado 1	61	9,89	19,70	76,82	1513,35	3336	1,99	2,20
5	Forjado 1	61	9,90	19,90	76,98	1531,90	3356	2,01	2,19
6	Forjado 1	61	9,88	19,90	76,67	1525,73	3391	2,01	2,22

Tabla 2: Datos de las probetas testigos de hormigón: Localización, edad, diámetro, etc.

Testigo	Elemento	Carga de rotura (Kgf)	Resistencia del testigo (MPa)	Factor por esbeltez	Factor por dirección de carga	Factor corrección por armaduras	Resistencia in situ (MPa)
1	Pilar 9	9940	19,9	1,00	1,05	1,00	20,9
2	Pilar 7	10520	21,2	0,99	1,05	1,00	22,0
3	Pilar 3	10905	21,8	1,00	1,05	1,00	22,9
4	Forjado 1	16496	21,0	0,99	1,00	1,00	20,8
5	Forjado 1	17185	21,9	1,00	1,00	1,00	21,9
6	Forjado 1	17684	22,6	1,00	1,00	1,00	22,6

Tabla 3: Determinación de la resistencia a compresión del hormigón in situ

A partir de estos resultados, el apartado 57.7.3.2 del Código Estructural sobre las actuaciones consecuentes a las decisiones derivadas del control de resistencia, como se ha indicado con anterioridad, indica que:

“En el caso de que a partir de los ensayos de información se deduzca que la resistencia característica estimada del hormigón de la estructura es inferior a la especificada en el proyecto, por iniciativa propia o a petición de cualquiera de las partes, la dirección facultativa podrá encargar la realización de un estudio específico de la seguridad de los elementos afectados por el hormigón del lote sometido a aceptación, en el que se compruebe que es admisible el nivel de seguridad que se obtiene con el valor de resistencia del hormigón realmente colocado en la obra estimado a partir de los ensayos de información.”

En la determinación de la resistencia a compresión del hormigón para el estudio de seguridad de los elementos afectados, tendremos en cuenta lo indicado en la norma UNE-EN 13791: 2020 “Evaluación de la resistencia a compresión in-situ en estructuras y elementos prefabricados de hormigón”.

La citada norma proporciona técnicas para la estimación de la resistencia a compresión in-situ de estructuras de hormigón, teniendo en cuenta los efectos tanto de los materiales como de su ejecución (compactación, curado, etc.). Está indicada para:

- El caso de estructuras existentes que van a ser modificadas o rediseñadas.
- Para evaluar la aptitud estructural cuando surgen dudas sobre la resistencia a compresión de una estructura debido a una cualificación de la mano de obra deficiente, al deterioro del hormigón debido al fuego u otras causas.
- Cuando se requiere la evaluación de la resistencia a compresión in situ durante la ejecución.
- **Para evaluar la aptitud estructural en caso de no conformidad de la resistencia a compresión del hormigón obtenida de probetas de ensayo normalizadas.**
- Evaluación de la conformidad de la resistencia a compresión del hormigón in-situ cuando así se indique en una especificación o norma de producto.

REFERENCIAS

FUNDACIÓN MUSAAT	
AUTOR ● Alberto Moreno Cansado	Calle del Jazmín, 66. 28033 Madrid
COLABORADOR ● Manuel Jesús Carretero Ayuso	www.fundacionmusaat.musaat.es

IMÁGENES
● Moreno Cansado, Alberto. Fig.1 a 12

BIBLIOGRAFÍA y NORMATIVA
● Código Estructural. Real Decreto 470/2021 de 29 de junio. ● Normas UNE-EN 12390-2, 3 y 4, UNE-EN 13791, UNE EN 12504-1-2 y 4, UNE 83302 (Derogada), ASTM C42/C42M, BS1881. ● Ensayos de información complementaria del hormigón: Evaluación de la resistencia a compresión del hormigón mediante probetas testigos. Eduardo Torroja, C.S.I.C. David Revuelta-J. Pedro Gutiérrez. ● CSTR N° 11 (Concrete Society Technical Report) Concrete core testing for strength. ● https://www.patologiaconstruccion.net . Resistencia in situ del hormigón (I). Testigos.

CONTROL: ISSN: 2340-7573 Data: 15/5 Ord: 9 Vol.: E N°: Eh-10 Ver.: 2 Mod: 03/23
--

NOTA: Los conceptos, datos y recomendaciones incluidas en este documento son de carácter orientativo y están pensados para ser ilustrativos desde el punto de vista divulgativo, fundamentados desde una perspectiva teórica, así como redactados desde la experiencia propia en procesos patológicos.

© del Autor

© de esta publicación, Fundación MUSAAT

Nota:

En este documento se incluyen textos de la normativa vigente