



ESTRUCTURAS ENTERRADAS Y SU IMPERMEABILIZACIÓN SEGÚN EL CTE

Carles Ibáñez Brugués

La introducción del Código Técnico de la Edificación (CTE) ha supuesto una estandarización de la calidad de los proyectos constructivos, lo que conllevará una serie de cambios y aumento de los parámetros de calidad de los mismos. Hasta su entrada en vigor existía una cierta indefinición que comportaba una indefensión tanto de los redactores de los proyectos como de los usuarios finales, ya que los criterios de calidad de la construcción dependía de los criterios dispares de entidades como los Organismos de Control Técnico (OCT) de las compañías de seguros.

El presente artículo analiza los criterios de calidad del CTE en relación con la impermeabilización y drenaje de las cimentaciones de los edificios, incidiendo sobre la naturaleza de los productos a implementar. Asimismo se exponen ciertas observaciones a los planteamientos del CTE para la estanqueización de las estructuras enterradas.

1. GENERALIDADES

El Código Técnico de la Edificación (CTE) es el marco normativo por el que se regulan las exigencias básicas de calidad que deben cumplir los edificios según la disposición adicional segunda de la Ley 38/1999 de Ordenación de la Edificación (LOE). Asimismo, el CTE proporciona los procedimientos que permiten acreditar el cumplimiento de las exigencias básicas para cada uno de los requisitos con suficientes garantías técnicas. De hecho, las exigencias técnicas deben cumplirse tanto en el proyecto, como en proceso de construcción, como en el mantenimiento y la conservación de los edificios.

El ámbito de aplicación del CTE incluye las obras de edificación de nueva construcción a excepción de construcciones de escasa entidad constructiva, que no tengan carácter residencial o público, que se desarrollen en una sola planta y no afecten a la seguridad de las personas. También es aplicable a las obras de ampliación, modificación, reforma o rehabilitación que se realicen en edificios existentes. En estos casos, la posible incompatibilidad de la aplicación deberá justificarse en el proyecto y compensarse con medidas alternativas viables.

El CTE se estructura en dos grandes partes; la primera contiene las disposiciones y condiciones generales de aplicación y las exigencias básicas que deben cumplir los edificios para satisfacer los requisitos de habitabilidad y seguridad. La segunda parte está formada por los Documentos Básicos (DB) en los que se caracteriza y se cuantifica la exigencia básica en la medida que el desarrollo científico y técnico lo permite. Se establecen valores límite de

las prestaciones concretas de los edificios o sus partes a fin de determinar su aptitud para cumplir las exigencias básicas correspondientes. El DB también incluye procedimientos cuya utilización acredita el cumplimiento de las exigencias básicas, concretados en forma de métodos de verificación o soluciones sancionadas por la práctica.

Para justificar el cumplimiento del CTE el proyectista puede optar entre adoptar las soluciones técnicas de los DB, cuya aplicación es suficiente para acreditar el cumplimiento de las exigencias básicas, o adoptar soluciones alternativas bajo responsabilidad del proyectista, debiendo justificar que cumplen los requisitos básicos.

Los productos incorporados en la construcción con carácter permanente deberán llevar el marcado CE acorde con su uso previsto. Hay que tener en cuenta que no todos los materiales de construcción cuentan con normativa para la conformidad del producto para un uso previsto concreto. Por ejemplo, para la protección de una impermeabilización podemos disponer un geotextil, el cual sí debe disponer de marcado CE para la protección, o una lámina nodular de PEAD, producto que por su naturaleza no entra dentro de la misma norma de conformidad que los geotextiles para el mismo uso. Al mismo tiempo, un geotextil puede contar con marcado CE pero no para el uso de protección, sino para otros usos como drenaje, filtro o separación. En estos casos el geotextil no será el idóneo para tareas de protección de membranas de impermeabilización.

También se consideran conformes al CTE los productos, sistemas y equipos que cuenten con una evaluación técnica favorable de su idoneidad para el uso previsto. La EOTA (European Organisation of Technical Approvals) cuenta con dos entidades homologadas en España para la emisión de documentos de esta naturaleza: el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc) que emite el Documento de Idoneidad Técnica (DIT) y Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya (ITeC) que emite el Documento de Adecuación al Uso (DAU). Ambos documentos son equivalentes en todo el territorio nacional.

En cuanto al control de recepción de productos, el suministrador proporcionará la documentación precisa sobre los distintivos de calidad que ostenten los productos suministrados, que aseguren las características técnicas de los mismos exigidas en el proyecto y de las evaluaciones técnicas de idoneidad para el uso previsto de productos innovadores. El director de la ejecución de la obra verificará que la documentación ofrecida es suficiente para la aceptación de los productos.

No obstante, en determinados casos, para la verificación de las exigencias básicas del CTE puede ser preciso realizar ensayos sobre los productos según lo establecido en la reglamentación vigente, o bien según lo especificado en proyecto u ordenados por la dirección facultativa.

2. ESPECIFICACIONES DEL CTE RESPECTO A LA IMPERMEABILIZACIÓN Y DRENAJE

El CTE establece como exigencia básica a satisfacer por los edificios la exigencia básica HS 1 Protección frente a la Humedad según la cual se *“limitará el riesgo previsible de presencia inadecuada de agua o humedad en el interior de los edificios y en sus cerramientos como consecuencia del agua procedente de precipitaciones atmosféricas, de escorrentías, del terreno o de condensaciones, disponiendo de medios que impidan su penetración o, en su caso permitan su evacuación sin producción de daños”*.

Por otro lado, del Documento Básico HS 1 del CTE se derivan los elementos necesarios para la impermeabilización en función de las estructuras de cimentación y contención considerados en la construcción del edificio y el grado de impermeabilidad exigido de los elementos constituyentes de la cimentación del edificio. El grado de impermeabilidad exigido a las estructuras en contacto directo con el terreno se determina en función de dos factores:

- La presencia de agua, que viene dada por la diferencia entre la cota del nivel freático y la cota base de la cimentación.
- El coeficiente de permeabilidad del terreno.

2.1. Presencia de agua

La presencia de agua viene dada por la diferencia de cota entre la cota base de la cimentación y la posición del nivel freático. Sin embargo, el nivel freático sufre variaciones de cota puesto que es de carácter estacional. Estas variaciones de cota son debidas a diferencias en el balance entre recargas y descargas de agua del terreno a lo largo del año. Los principales factores de recarga del agua subterránea vienen dados por el agua de lluvia, la infiltración de excedente de riego, las pérdidas en la red de saneamiento. Las principales descargas vienen dadas por los pozos de industrias, de abastecimiento o de riego.

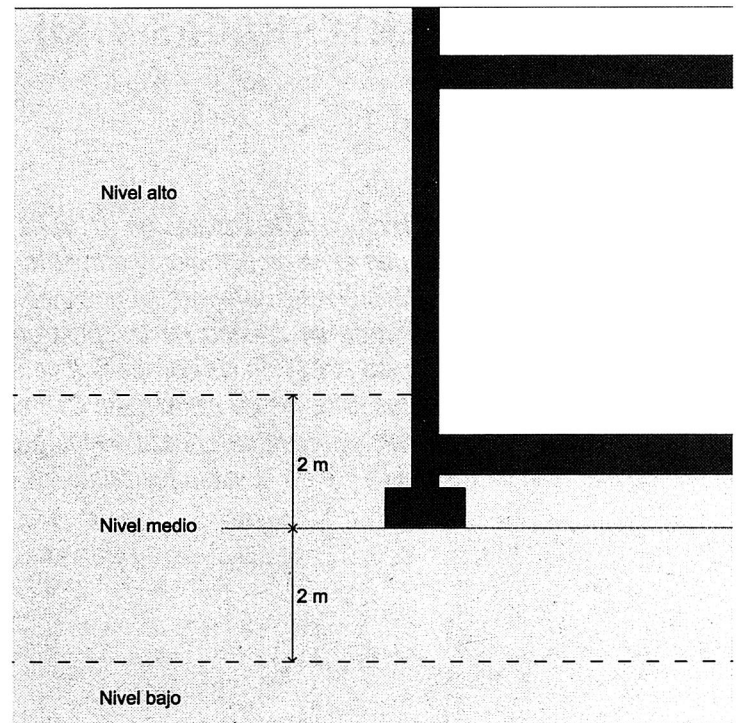


Fig.1. Presencia de agua en cimentación

El nivel freático se determina en edificación en el estudio geológico-geotécnico. Una correcta observación del nivel freático consiste en un registro prolongado en el tiempo a fin de observar el rango de variación del mismo.

En cualquier caso, la presencia de agua se considera de la siguiente manera en el CTE: (Fig. 1)

- a) Presencia baja: el nivel freático se sitúa a más de 2 metros por debajo de la cota de base de cimentación.
- b) Presencia media: el nivel freático está a menos de 2 metros de la cota base de cimentación, tanto por encima como por debajo.
- c) Presencia alta: la cota del nivel freático se sitúa a más de 2 metros por encima de la cota base de cimentación.

2.2. Permeabilidad

La permeabilidad de un suelo está ligado al tamaño de grano del mismo. Generalmente, a mayor tamaño de grano, mayor permeabilidad, por lo que el agua fluye con más facilidad. En este sentido, unas gravas limpias presentan una permeabilidad alta; en cambio, las arcillas presentan una permeabilidad tan baja que son prácticamente impermeables. En realidad, el factor determinante que condiciona la permeabilidad es la porosidad, parámetro ligado al tamaño de grano constituyente del suelo. A mayor tamaño de grano, empaquetamiento del suelo menos efectivo, por lo que quedan más espacios vacíos. Ahora bien, un suelo muy poroso no cuenta con una alta permeabilidad “per se”; es necesario que esta porosidad esté interconectada, que queden definidos una serie de conductos por donde pueda fluir el agua. Este concepto se conoce como Porosidad Efectiva. Por otro lado, la permeabilidad en rocas es otra historia. Para empezar, la roca matriz en sí suele ser muy poco permeable gracias a su cohesión o cementación. La permeabilidad depende del grado de fisuración de la roca —a fisuraciones más intensas, mayores permeabilidades— y del grado de recristalización o relleno de estas fisuras. Fisuras repletas de arcillas dan como resultado permeabilidades muy bajas.

De la misma manera que el nivel freático, la permeabilidad del entorno geológico encajante de la construcción debe quedar definido en el estudio geológico-geotécnico de la obra. La permeabilidad se determina con el ensayo de Lugeon o Lefranc en función de si se trata de un suelo granular o un macizo rocoso. En ambos casos se trata de inyectar agua al terreno y en función del caudal inyectado a una presión dada, se determina la permeabilidad. Para mayores precisiones de la permeabilidad los ensayos anteriores son insuficientes; es preciso la realización de ensayos de bombeo.

En cualquier caso, a mayor permeabilidad del entorno geológico de la construcción, mayor aporte de agua experimentará la estructura enterrada. El CTE establece una serie de rangos de permeabilidad del terreno. Los rangos de permeabilidad establecidos en el Documento Básico HS 1 son distintos para la impermeabilización de los elementos de contención (muros y pantallas) que para la impermeabilización de suelos. El grado de impermeabilidad requerido para muros se establece en base a tres rangos de permeabilidad y en el caso de los suelos, se establece en función de dos rangos solamente.

Rangos de permeabilidad para muros:

- $K_s \geq 10^{-2}$ cm/s
- $10^{-5} < K_s < 10^{-2}$ cm/s
- $K_s \leq 10^{-5}$ cm/s

Rangos de permeabilidad para suelos:

- $K_s > 10^{-5}$ cm/s
- $K_s \leq 10^{-5}$ cm/s

2.3 Grado de impermeabilidad

En función del grado de exposición al agua de la estructura enterrada se establece el grado de impermeabilidad requerido a suelos y a muros para satisfacer la exigencia básica de protección frente a la humedad.

En concreto, se determinan grados de impermeabilidad para muros por un lado, para suelos por otro.

En resumen, para situaciones adversas, se exigirá un grado de impermeabilidad de la estructura enterrada de 5 y cuando la situación no es nada comprometida, el grado de impermeabilidad exigido es 1.

Presencia de agua	Coeficiente de permeabilidad del terreno (cm/s)		
	$K_s \geq 10^{-2}$	$10^{-5} < K_s < 10^{-2}$	$K_s \leq 10^{-5}$
Alta	5	5	4
Media	3	2	2
Baja	1	1	1

Grado de impermeabilidad exigido para muros

Presencia de agua	Coeficiente de permeabilidad del terreno (cm/s)	
	$K_s > 10^{-5}$	$K_s \leq 10^{-5}$
Alta	5	4
Media	4	3
Baja	2	1

Grado de impermeabilidad exigido para suelos

2.4. Condiciones de las soluciones constructivas

El CTE contempla una serie de condiciones para alcanzar el grado de impermeabilidad requerido para muros por un lado, para suelos por el otro. De hecho, las condiciones para suelos son diferentes en función del tipo de elemento de contención del perímetro de la excavación. Es decir, el mismo suelo con el mismo grado de impermeabilidad requerido contará con condiciones diferentes en función de si cuenta con muros o con pantallas como estructura de contención.

Las condiciones exigidas a cada solución constructiva en muros dependen de:

- Tipo de muro.
- Tipo de impermeabilización.
- Grado de impermeabilidad exigido.

Las condiciones exigidas a cada solución constructiva en suelos dependen de:

- Tipo de muro.
- Tipo de suelo.
- Tipo de intervención en el terreno.
- Grado de impermeabilidad exigido.

Las condiciones exigidas a cada solución constructiva se exponen en una tabla para cada uno de tres casos (muros, suelos con muros y suelos con pantallas). Las tablas se muestran a continuación.

Las siglas que aparecen en las tablas corresponden a diferentes tipos de condiciones, las cuales se agrupan en bloques homogéneos: C, I, D, P, S y V.

- C: incluye condiciones referentes a la constitución del hormigón de los muros y de los suelos o a tratamientos que modifican algún aspecto del mismo.

- I: incluye condiciones para la impermeabilización tanto de muros como de suelos.

- D: incluye condiciones de drenaje y evacuación de aguas.

- P: incluye condiciones en relación con el tratamiento perimétrico, es decir, como tratar los encuentros de suelos con muros o si es necesaria la realización de aceras en la superficie para limitar el aporte de agua.

- S: incluye condiciones referentes al sellado de juntas.

- V: incluye condiciones de ventilación de la cámara o sótano.

Las condiciones incluidas en los grupos P y S hacen referencia solamente al tratamiento de los suelos, no a los muros.

Cada una de las condiciones viene definida con una breve explicación. Con frecuencia una condición presenta diversas alternativas de actuación para satisfacer la condición.

3. SELECCIÓN DE PRODUCTOS

3.1. Tratamientos en muros

3.1.1. Tratamientos de impermeabilización con sistemas líquidos adheridos

Los morteros impermeabilizantes satisfacen la condición I1 del DB HS 1. En función de las características del mortero se configurarán membranas rígidas o elásticas y flexibles o podrán aplicarse por trasdós o intradós.

		Muro de gravedad			Muro flexorresistente			Muro pantalla		
		Imp. Interior	Imp. Exterior	Parcialmente estanco	Imp. Interior	Imp. Exterior	Parcialmente estanco	Imp. Interior	Imp. Exterior	Parcialmente estanco
Grado de impermeabilidad	≤1	I2+D1+D5	I2+I3+D1+D5	V1	C1+I2+D1+D5	I2+I3+D1+D5	V1	C2+I2+D1+D5	C2+I2+D1+D5	
	≤2	C3+I1+D1+D3 ⁽³⁾	I1+I3+D1+D3	D4+V1	C1+I1+D1+D3	I1+I3+D1+D3	D4+V1	C1+C2+I1	C2+I1	D4+V1
	≤3	C3+I1+D1+D3 ⁽³⁾	I1+I3+D1+D3	D4+V1	C1+C3+I1+D1+D3 ⁽³⁾	I1+I3+D1+D3	D4+V1	C1+C2+I1	C2+I1	D4+V1
	≤4		I1+I3+D1+D3	D4+V1		I1+I3+D1+D3	D4+V1	C1+C2+I1	C2+I1	D4+V1
	≤5		I1+I3+D1+D2+D3	D4+V1 ⁽¹⁾		I1+I3+D1+D2+D3	D4+V1	C1+C2+I1	C2+I1	D4+V1

(1) Solución no aceptable para más de un sótano

(2) Solución no aceptable para más de dos sótanos

(3) Solución no aceptable para más de tres sótanos

		Muro flexorresistente o de gravedad								
		Suelo elevado			Solera			Placa		
		Sub-base	Inyecciones	Sin intervención	Sub-base	Inyecciones	Sin intervención	Sub-base	Inyecciones	Sin intervención
Grado de impermeabilidad	≤1			V1		D1	C2+C3+D1		D1	C2+C3+D1
	≤2	C2		V1	C2+C3	C2+C3+D1	C2+C3+D1	C2+C3	C2+C3+D1	C2+C3+D1
	≤3	I2+S1+S3+V1	I2+S1+S3+V1	I2+S1+S3+V1+D3+D4	C1+C2+C3+I2+D1+D2+S1+S2+S3	C1+C2+C3+I2+D1+D2+S1+S2+S3	C2+C3+I2+D1+D2+C1+S1+S2+S3	C2+C3+I2+D1+D2+C1+S1+S2+S3	C1+C2+C3+I2+D1+D2+S1+S2+S3	C1+C2+I2+D1+D2+S1+S2+S3
	≤4	I2+S1+S3+V1	I2+S1+S3+V1+D4		C2+C3+I2+D1+D2+P2+S1+S2+S3	C2+C3+I2+D1+D2+P2+S1+S2+S3	C1+C2+C3+I1+I2+D1+D2+D3+D4+P1+P2+S1+S2+S3	C2+C3+I2+D1+D2+P2+S1+S2+S3	C2+C3+I2+D1+D2+P2+S1+S2+S3	C1+C2+C3+D1+D2+D3+D4+I1+I2+P1+P2+S1+S2+S3
	≤5	I2+S1+S3+V1+D3	I2+P1+S1+S3+V1+D3		C2+C3+I2+D1+D2+P2+S1+S2+S3	C2+C3+I1+I2+D1+D2+P1+P2+S1+S2+S3		C2+C3+D1+D2+I2+P2+S1+S2+S3	C2+C3+I1+I2+D1+D2+P1+P2+S1+S2+S3	C1+C2+C3+I1+I2+D1+D2+D3+D4+P1+P2+S1+S2+S3

		Muro pantalla								
		Suelo elevado			Solera			Placa		
		Sub-base	Inyecciones	Sin intervención	Sub-base	Inyecciones	Sin intervención	Sub-base	Inyecciones	Sin intervención
Grado de impermeabilidad	≤1			V1		D1	C2+C3+D1			C2+C3+D1
	≤2			V1	C2+C3	C2+C3+D1	C2+C3+D1	C2+C3	C2+C3+D1	C2+C3+D1
	≤3	S3+V1	S3+V1	S3+V1	C1+C2+C3+D1+P2+S2+S3	C1+C2+C3+D1+P2+S2+S3	C1+C2+C3+D1+D4+P2+S2+S3	C1+C2+C3+D1+D2+D4+P2+S2+S3	C1+C2+C3+D1+D2+P2+S2+S3	C1+C2+C3+D1+D2+D3+D4+P2+S2+S3
	≤4	S3+V1	D4+S3+V1	D3+D4+S3+V1	C2+C3+D1+S2+S3	C2+C3+D1+S2+S3	C1+C3+I1+D2+D3+P1+S2+S3	C2+C3+S2+S3	C2+C3+D1+D2+S2+S3	C1+C2+C3+I1+D1+D2+D3+D4+P1+S2+S3
	≤5	S3+V1	D3+D4+S3+V1		C2+C3+D1+P2+S2+S3	C2+C3+D1+P2+S2+S3	C1+C2+C3+I1+D1+D2+D3+D4+P1+P2+S2+S3	C2+C3+P2+S2+S3	C2+C3+D1+D2+P2+S2+S3	C1+C2+C3+I1+D1+D2+D3+D4+P1+P2+S2+S3

Las emulsiones bituminosas y epoxi-bituminosas satisfacen tanto la condición I1 como la I2.

Todos los sistemas líquidos de impermeabilización dan lugar a sistemas de impermeabilización adheridos, los cuales solamente deben ser protegidos ante punzonamientos por parte del terreno.

3.1.2. Tratamientos de impermeabilización con láminas preformadas de impermeabilización

Los tratamientos de impermeabilización mediante colocación de membranas preformadas satisfacen la condición I1 del DB HS 1. Tanto pueden ser constituidas de PVC o elastoméricas modificadas. En caso de no ser adheridas al soporte, deberán protegerse por ambos lados, por un lado para protegerla de los punzonamientos que pueda ejercer el terreno y por el otro, para protegerla del hormigón.

En caso de establecer un drenaje con lámina a trasdós de la membrana impermeabilizante, se entiende que la lámina de drenaje ya protege la membrana y no es necesaria la colocación de geotextil antipunzonamiento.

3.1.3. Geocompuestos de drenaje

Con los geocompuestos de drenaje se satisface la condición D1 del tratamiento de los muros. Los geocompuestos de drenaje deberán contar con un geotextil soldado a los nódulos. Tanto podrán ser de estructura nodular con geotextil soldado, como de filamento drenante y geotextil en uno de los lados o en ambos.

Si se emplean láminas nodulares con malla soldada, se podrán satisfacer las condiciones D4 de drenaje y V1 de ventilación.

3.1.4. Geosintéticos de protección de los sistemas de impermeabilización

La condición I1 establece que la impermeabilización debe protegerse. En principio la manera más rápida y común de proteger una membrana es cubriéndola con un geotextil antipunzonamiento. Para ello deberá tenerse en cuenta que dentro de la declaración de conformidad del geotextil deberá figurar como uso previsto la protección. Los geotextiles antipunzonamiento suelen ser no tejidos y pueden estar constituidos tanto de polipropileno como de poliéster. Los geotextiles tejidos suelen emplearse en otros usos, más bien de refuerzo de tierras. Una impermeabilización también puede protegerse con una lámina nodular de polietileno de alta densidad. Como ya se ha comentado anteriormente, si se coloca un geocompuesto drenante se considera que la impermeabilización ya está protegida.

3.2. Tratamientos en suelos

3.2.1. Tratamientos de impermeabilización con sistemas líquidos adheridos

Los morteros de obturación de poros satisfacen la condición C3 de impermeabilización de suelos. Son tratamientos que no configuran una membrana, sino que al reducir la porosidad se reduce la permeabilidad del hormigón. Es un sistema rígido, por lo que si el suelo fisura, la aplicación de esta naturaleza de productos no puentea la fisura, por lo que se presenta un punto de filtración en la estructura enterrada.

Hay que tener en cuenta que en la aplicación de obturadores de porosidad cementosos, para que la aplicación sea efectiva el soporte debe estar completamente saturado de agua y el poro del hormigón debe estar abierto.

Para ello debe realizarse un granallado, un chorro de arena o chorro de agua a presión a fin de eliminar la lechada de cemento superficial. El obturador de poros en estas condiciones puede penetrar en la red capilar del hormigón con facilidad e iniciar el proceso de recristalización dentro de los poros, reaccionando a partir del hidróxido cálcico libre del hormigón. En caso de hormigones carbonatados, los obturadores de porosidad del hormigón no inician las reacciones dado que no hay presencia de hidróxido cálcico libre.

3.2.2. Tratamientos de impermeabilización con láminas preformadas

Los tratamientos para la impermeabilización de las estructuras enterradas mediante láminas preformadas se realizan siempre a presión positiva. Con membranas de PVC-P, láminas elastoméricas modificadas o geocompuestos bentoníticos se satisfacen las condiciones I1 e I2 de impermeabilización de suelos.

Hay que tener en cuenta que si las láminas impermeables son adheridas, solamente se requiere un geotextil antipunzonamiento. En cambio, si la lámina es no adherida será necesario colocar geotextiles antipunzonamiento por ambos lados. Los geocompuestos bentoníticos ya cuentan con geotextiles, por lo que no son susceptibles de ser punzonados cuando se confinan.

3.2.3 Láminas de polietileno para suelos drenados con enchachados

La condición D1, en la que se admite la posibilidad de realización de un enchachado de gravas para el drenaje, disponiendo a techo del enchachado una lámina de polietileno y a base un geotextil separador.

La lámina de polietileno evita que los flujos ascendentes de agua vayan más allá del enchachado y que a nivel de éste, el agua sea conducida hacia el sistema de evacuación. Sin embargo, el CTE no detalla qué tipo de lámina de polietileno.

3.2.4. Sellado de juntas

Para satisfacer las condiciones S2, S3 se podrán emplear masillas de poliuretano, bandas de PVC de estanqueización de juntas, perfiles hidroexpansivos o incluso bandas de termoplástico de sellado exterior de la junta.

4. SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS

En los apartados anteriores se han expuesto las condiciones generales del CTE así como la exigencia básica relativa a la protección frente a la humedad. Asimismo se han expuesto cómo se caracteriza la humedad del suelo en el DB HS 1, obteniendo el grado de impermeabilidad requerido para los distintos elementos constituyentes de la estructura enterrada. Una vez obtenido el grado de impermeabilidad, el DB HS 1 proporciona una serie de procedimientos para satisfacer la exigencia básica (ver punto 2.4) a base de condiciones a tener en cuenta según el grado de exposición

al agua. El presente documento no repasa cada una de las condiciones establecidas en dichas tablas, puesto que el gran número de casos y combinaciones lo haría interminable. Sin embargo se presentan a continuación tres casos acordes con el DB HS 1, tres casos en los que se ha considerado presencia de agua baja, media y alta y con elementos constructivos distintos. En los tres casos se ha considerado la permeabilidad alta.

4.1. Ejemplo 1: Condiciones poco adversas

El primer ejemplo considera un muro flexoresistente como paramento vertical, una solera en el suelo, todo ello construido con hormigón in situ. A su vez se considera un nivel freático 2 metros por debajo de la cota base de cimentación, por lo que la presencia de agua es baja. Como ya hemos dicho, la permeabilidad en todos los ejemplos se considera alta, por lo que $k \geq 10^{-2}$ cm/s. Por último se incluye la realización de inyecciones en el terreno a fin de limitar los aportes de agua hacia la estructura enterrada.

En el contexto constructivo considerado el grado de impermeabilidad requerido en muros es de 1, por lo que las condiciones a implementar en diseño de la impermeabilización de los muros de la obra según la tabla 2.2 del DB HS-1 son I2, I3, D1 y D5. Estas condiciones son las siguientes:

I2: La impermeabilización debe realizarse mediante la aplicación de pintura impermeabilizante.

I3: Cuando el muro sea de fábrica debe recubrirse por su cara interior con un revestimiento hidrófugo, tal como una capa de mortero hidrófugo sin revestir, una hoja de cartón-yeso sin yeso higroscópico u otro material no higroscópico.

D1: Debe disponerse una capa drenante y una capa filtrante entre el muro y el terreno o, cuando existe una capa de impermeabilización, entre ésta y el terreno. La capa drenante puede estar constituida por una lámina drenante, grava, una fábrica de bloques de arcilla poroso u otro material que produzca el mismo efecto.

D5: Debe disponerse una red de evacuación del agua de lluvia en las partes de la cubierta y el terreno que pueden afectar al muro y debe conectarse aquélla a la red de saneamiento o a cualquier sistema de recogida para su reutilización posterior.

De la misma manera, el grado de impermeabilidad requerido para el suelo, teniendo en cuenta la presencia de agua y la permeabilidad del medio geológico anteriormente expuestos, es de 2. En esta circunstancia las condiciones a tener en cuenta según la tabla 2.4 del DB HS-1 son C2, C3 y D1, las cuales se exponen a continuación.

C2: Cuando el suelo se construya in situ debe utilizarse hormigón de retracción moderada.

C3: Debe realizarse una hidrofugación complementaria del suelo mediante la aplicación de un producto líquido colmatador de poros sobre la superficie terminada del mismo.

D1: Debe disponerse una capa drenante y una capa filtrante sobre el terreno situado bajo el suelo. En el caso de que se utilice como capa drenante un encachado, debe disponerse una lámina de polietileno por encima de ella.

El diseño considerando estas condiciones de tratamiento de impermeabilización y drenaje se reflejan en la figura 2.

A modo de aclaración se comentan los detalles que las condiciones según tablas del DB se deben incorporar en la estructura enterrada. En primer lugar, empezando por el suelo, debajo de la solera se deberá disponer como elemento separador un geotextil.

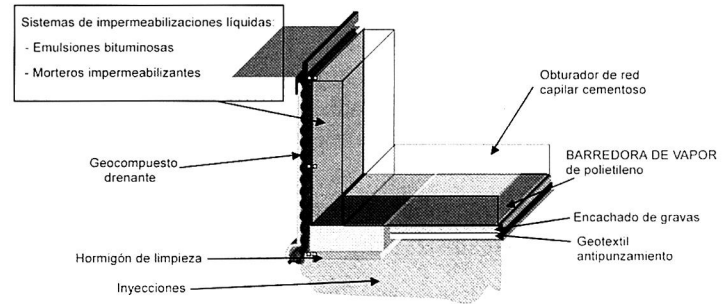


Fig. 2. Impermeabilización en condiciones poco adversas

Dado que el contexto no es muy desfavorable, la barrera de vapor de polietileno será suficiente para interceptar humedades ascendentes. A techo de la solera se aplicará un colmatador de poros, el cual al introducirse dentro de la porosidad del hormigón desencadena una reacción de recristalización aprovechando el hidróxido cálcico libre en el hormigón. Esta recristalización obtura la porosidad, con lo que reduce la permeabilidad del hormigón. Por ello no forma una membrana, sino que hace el hormigón impermeable. Para la correcta consecución del proceso de recristalización es preciso que el hormigón cuente con hidróxido cálcico libre, por lo que, en caso de hormigones con cierta edad, se deberá comprobar la alcalinidad del hormigón. Es decir, en hormigones afectados por procesos de carbonatación, dicha recristalización no se lleva a cabo ya que no hay hidróxido cálcico libre puesto que la carbonatación es la transformación de hidróxido cálcico en carbonato cálcico.

Por otro lado, debido a que se requiere la condición I2 y no la I1 de impermeabilización de muros, como elemento de impermeabilización solamente se podrá optar por sistemas de impermeabilizantes líquidos, los cuales pueden ser tanto bituminosos o cementosos. Como elemento drenante, la opción más sencilla es la colocación de un geocompuesto drenante (Fig. 3). Éste está constituido por una lámina nodular de PEAD, a la que se incorpora en su proceso de fabricación un geotextil termosoldado. Las láminas nodulares por sí solas (sin geotextil soldado a los nódulos) no constituyen un geocompuesto drenante y no cuentan con marcado CE a tal efecto. En cambio, los geocompuestos de lámina nodular y geotextil cuentan con la conformidad CE como elemento drenante. Por otro lado, es importante resaltar la naturaleza del geotextil. Es aconsejable que el geotextil soldado a la lámina cuente con escasas deformaciones puesto que al recibir el empuje de las tierras, su deformación no comporte una drástica reducción de la sección drenante del geocompuesto y como resultado de todo ello, la capacidad de drenaje se reduzca significativamente. En este sentido es recomendable que el geocompuesto drenante se componga de un geotextil no tejido cuyo proceso de ligado sea por termosoldadura. En este sentido, los geotextiles no tejidos con proceso de punzonado como proceso de unión de fibras son recomendables en otras aplicaciones, pero no para implementarlo en un geocompuesto drenante de estructura nodular.

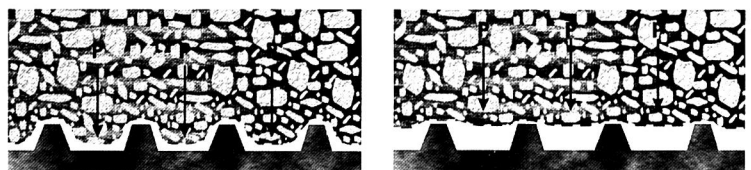


Fig. 3. Geocompuesto drenante

4.2. Ejemplo 2: Condiciones medianamente adversas

En este caso se contemplaría una estructura enterrada compuesta por pantalla y una placa, una presencia de agua media y una permeabilidad $k \geq 10^{-2}$ cm/s. En este contexto, la pantalla de la excavación deberá contar con un grado 3 de impermeabilización y grado 4 para la placa. Luego, las condiciones a tener en cuenta son C1, C2 e II para la pantalla y C1, C2, C3, I1, D1, D2, D3, D4, P1, S2, S3 para la placa. De manera análoga se precedería al diseño de las medidas de impermeabilización y drenaje de la estructura enterrada. El resultado de todo ello se expone en la figura 4.

En este caso puede apreciarse que la impermeabilización de la pantalla se efectúa por el interior con el mismo producto colmatador de poros que se aplica sobre el suelo, ya que es la única alternativa para la correcta impermeabilización de las pantallas, las cuales solamente se tratan por el interior. Es de especial importancia el tratamiento de las juntas entre paneles de pantalla puesto que suelen representar puntos de filtración de agua. Las juntas se repicarán en forma de cola de milano o cajón, se aplicará el obturador de poros, se rellenará la cavidad con mortero de reparación estructural, se aplicará de nuevo el obturador de poros sobre la zona reparada, para finalmente aplicar sobre toda la superficie de la pantalla el mismo obturador (Fig. 5).

Por lo que respecta al suelo, de la misma manera que en el caso anterior, se dispone un plano de drenaje bajo la placa para la conducción del agua ascendente a la red de drenaje perimetral constituido con un geotextil como elemento filtrante y un enchado de gravas. Dado que el caso presente es de mayor adversidad, encima del enchado se dispone una lámina nodular de PEAD con altura de nódulo de 20 milímetros. El nódulo de este tamaño permite que el hormigón del recrecido se introduzca en él y por tanto, la lámina no se verá aplastada por la compresión debida al peso de la estructura.

Asimismo, este tipo de materiales son más robustos que la barrera de vapor, por lo que pueden hacer frente a mayores subpresiones con mayores garantías. Encima del recrecido se dispondrá una lámina de PVC-P protegida por geotextiles de protección a ambos lados. Hay que tener en cuenta que el poliéster se degrada con ambientes alcalinos. Por consiguiente, en aplicaciones en las que deba verter el hormigón directamente sobre el geotextil, éste deberá ser de polipropileno.

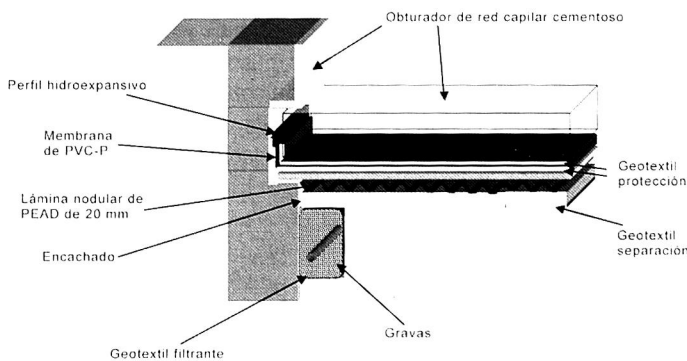


Fig. 4. Impermeabilización en condiciones medianamente adversas

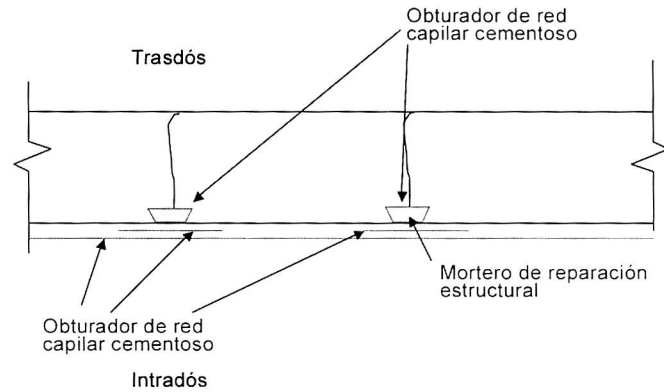


Fig. 5. Tratamiento de juntas entre paredes de pantalla

Por último, en el encuentro placa-pantalla se deberá colocar un perfil hidroe expansivo a fin de sellar dicho encuentro. En cuanto a este tipo de perfiles hay que considerar que inhiben el paso de agua por la junta donde se encuentran a base de presión ejercida contra el hormigón. La tendencia natural de este tipo de juntas es a expandir cuando entra en contacto con el agua. Si se les deja expandir pierden capacidad de ejercer presión contra el hormigón envolvente. Por lo que es de suma importancia contar con un soporte de máxima regularidad. En este sentido, las coqueras resultantes de un mal vibrado del hormigón pueden comprometer el encuentro o la junta donde se coloca los perfiles hidroe expansivos.

Por otro lado, es conveniente que los perfiles hidroe expansivos cuenten con retardadores de expansión a fin de evitar que hagan su función con el agua del hormigón en fresco. Interesa que inicie su expansión una vez el hormigón haya endurecido, puesto que se optimizará la capacidad del perfil de ejercer presión sobre el hormigón.

4.3. Ejemplo 3: Condiciones muy adversas

En último término se expone un ejemplo en un contexto muy desfavorable. En este caso se plantea una impermeabilización con una presencia de agua alta, una permeabilidad $k \geq 10^{-2}$ cm/s. La estructura enterrada contará con un muro flexoresistente y una solera. El grado de impermeabilidad a obtener tanto para el muro como para el suelo es de 5. Las condiciones a tener en cuenta son I1, I3, D1, D2 y D3 para muros y C2, C3, I2, D1, D2, P2, S1, S2 y S3 para los suelos. Además, se requiere una sub-base de bentonita o realización de inyecciones. En nuestro caso optamos por la realización de la sub-base. En estas condiciones el resultado de la impermeabilización es el que se presenta a continuación.

La impermeabilización del muro expuesta en la gráfica consta de una membrana de PVC-P. No obstante, el DB HS-1 en este contexto permite tanto la aplicación de una membrana impermeable preformada no adherida como es el caso, como una membrana preformada adherida al soporte –con la que no será necesario el geotextil de protección del lado hormigón–, como la aplicación de sistemas líquidos de impermeabilización como en el caso del apartado 4.1. Ello es consecuencia de que en este caso se contempla la condición I1 y no la I2.

En cuanto al suelo, cabe recalcar que la colocación de un geocompuesto bentonítico satisface la colocación de una sub-base a la vez que actúa como membrana impermeabilizante.

5. OBSERVACIONES ADICIONALES AL DOCUMENTO BÁSICO HS-1 DEL CTE

5.1. Condición D1 para suelos

La condición D1 para suelos dice lo siguiente:

Debe disponerse una capa drenante y una capa filtrante sobre el terreno situado bajo el suelo. En el caso de que se utilice como capa drenante un encachado, debe disponerse una lámina de polietileno por encima de ella.

La condición D1 debe ser considerada en multitud de casos según las tablas; aparece tanto en presencia de agua baja como alta, tanto en soleras como en placas.

Tal y como queda descrita la condición D1 se puede interpretar que se puede disponer bajo suelo tanto una lámina drenante, como un encachado con una barrera de vapor a techo, como un encachado y una lámina nodular de 8 o de 20 milímetros a techo de los gravas.

En primer lugar, la introducción de láminas de drenaje o láminas nodulares de 8 milímetros puede suponer una rotura del elemento puesto que no resisten la compresión a las que se las puede exponer, especialmente si son colocadas bajo placas. En cambio, el tamaño de nódulo de las láminas nodulares de 20 milímetros permite la introducción del hormigón en el interior del nódulo, por lo que no se ven afectadas por altas compresiones puesto que el mismo hormigón del interior del nódulo quien asume las cargas.

En segundo lugar, la condición D1 permite la colocación de una barrera de vapor en presencia de agua alta, solución considerada inadecuada dado el contexto tan desfavorable que representa.

Por último, cabe hacer hincapié en la importancia del geotextil filtrante y separador cuando se dispone de un encachado de gravas. Disponer un geotextil en la base del encachado inhibe la introducción de finos por flujos ascendentes de agua o por variaciones del nivel freático. La contaminación con finos de unas gravas reduce su transmisividad hidráulica por lo que la capacidad de drenaje del paquete de gravas se ve reducido.

Este geotextil en la base de las gravas debe contar con el uso previsto de separación dentro de la declaración de conformidad. El geotextil a emplear en este caso no será válido si en su declaración de conformidad no se especifica el uso previsto de separación. Es decir, geotextiles con declaración de conformidad pero con otros previstos, como por ejemplo drenaje o filtración, no se podrán emplear en este tipo de aplicaciones de separación entre diferentes tipos de material granular.

5.2. Condición P2 para suelos

La condición P2 para suelos establece que se debe encastar el borde de la placa o de la solera en el muro. Cuando se trata de solera-muro y placa-pantalla tiene sentido. No obstante, cuando se trata de placa-muro, frecuentemente el muro arranca de la placa, por tanto no es posible encastarlo.

Por otro lado, al encastar una placa contra la pantalla hay que considerar que las placas asientan cuando entran en carga. En cambio, las pantallas no asientan sino que trabajan a flexión. El hecho de encastar la losa en la pantalla puede ocasionar fisuras en la losa en las zonas próximas al encuentro dada la incompatibilidad de movimientos entre ambos elementos, lo que puede comprometer la estanqueización de la estructura enterrada.

Por otro lado, la condición P2 para suelos es necesaria según CTE para grados de impermeabilidad 5 y 3 cuando se emplean pantallas, tanto con solera como con placa, pero no lo es para grado de impermeabilidad 4. Este hecho es paradójico teniendo en cuenta que el grado de impermeabilidad 3 es de menor exposición al agua que grado 4.

5.3. Condición I1 para muros

La condición I1 para impermeabilización de muros permite la aplicación por la cara interior de láminas de impermeabilización mientras éstas sean adheridas. Este tipo de láminas no suelen estar preparadas para trabajar a contrapresión y la susceptibilidad de que la membrana acabe desvinculándose del soporte es más que alta. La misma condición no prevé la aplicación de morteros de cristalización en la red capilar de hormigón –solución que se considera adecuada puesto que resiste altas presiones a contra presión-. En cambio, la condición I3 sí lo prevé pero solamente para muros prefabricados.

5.4. Condición S2 para suelos

En el DB HS-1 se insta a colocar bien perfiles hidroexpansivos o bandas de PVC en todas las juntas de los suelos en situaciones muy adversas. En cambio, para muros no se da tal condición cuando en situaciones de gran exposición al agua subterránea es recomendable tratar las juntas del muro. Simplemente hay que observar que las condiciones S solamente se consideran en las tablas relativas a suelos y no en las que hacen referencia a los muros.

5.5. Condición D1 & I1 para muros

La condición D1 e I1 para muros se incluye en casos de construcción con pantallas y presencia de agua baja para tratar la pantalla por el trasdós. La disposición de láminas drenantes a trasdós de pantallas así como su impermeabilización por trasdós es inviable en obra.

5.6. Drenajes

Tanto para muros como para suelos se establece una gran cantidad de drenajes. En los casos en que la presencia de agua es baja, el agua infiltrada tras eventos de lluvia simplemente se conduce sin más por los sistemas de drenaje, evitando que el agua llegue al acuífero. En presencia de agua alta, un drenaje intensivo comporta un descenso del nivel freático, lo cual puede conducir a dos problemas. En primer lugar, rebajes incontrolados del nivel pueden provocar asientos en el entorno; en caso de que estos sean asientos diferenciales es posible afectar a edificaciones presentes en el entorno. No solamente esto, descensos del nivel en zonas de costa pueden facilitar la introducción o el desarrollo de intrusiones salinas, por lo que la calidad química del agua de estos acuíferos costeros puede variar significativamente, y afectar a captaciones de terceros. Asimismo, un principio rector del Código Técnico es la sostenibilidad, el cual es bien aplicado en cuanto a ahorro energético. En cambio, el drenaje masivo de la estructura enterrada comporta el vertido directo de estas aguas subterráneas directamente a la red de saneamiento, lo cual es claramente paradójico en un país con escasez de agua dulce.