MANUAL

El control de calidad del hormigón

(Adaptado al Código Estructural)

2ª Edición

IECA
INSTITUTO ESPAÑOL DEL CEMENTO
Y SUS APLICACIONES

Índice

1. Introducción **3**

2. El control del hormigón en producción conforme a RD 163/195 **5**

2.1. Garantía de cumplimiento del control de producción 5

2.2. Control de los materiales componentes del hormigón 6

2.3. Control del hormigón 7

2.3.1. Control de la durabilidad 7

2.3.2. Control de la docilidad y resistencia 8

3. El control de recepción en obra según el CodE-2113 **12**

3.1. Documentación del control del hormigón 12

3.2. Fabricación, conservación y rotura de las probetas y otros ensayos 13

3.3. Ensayos previos al suministro 14

3.4. Control de la resistencia del hormigón durante el suministro 14

3.4.1. Control estadístico del hormigón 14

3.4.2. Otros controles no estadísticos 18

3.5. Control de la durabilidad del hormigón durante el suministro 18

3.6. Decisiones derivadas del control y ensayos de información complementaria 19

3.6.1. Ensayos de información complementaria 20

ANEXO I **27**

Ejemplos de lotificación y control de aceptación. Comparación del proceso según el CodE-21 sin DCOR, con DCOR y con dispersión certificada.

Elaborado por Rosario Martínez Lebrusant.
Revisado y aprobado por el GT Hormigón y otros derivados de IECA.

1ª Edición: Marzo de 2023
2ª Edición: Diciembre de 2024

ISBN: 978-84-89702-32-5

1. Introducción

La legislación española regula el control del hormigón desde una doble vertiente: el control de producción y el control de recepción.

La presente guía práctica describe de forma sencilla pero completa la realización del control de producción del hormigón conforme al Real Decreto 163/2019[1] y de su control de recepción en obra según lo indicado en el Código Estructural (en adelante CodE-21)[2].

Es importante entender que el control de producción realizado por el fabricante de hormigón conforme el RD 163/2019 comprende no únicamente el control del hormigón desde el punto de vista de producto final, sino adicionalmente el control de los materiales componentes, el control de las instalaciones y el control de la documentación y trazabilidad, aunque en esta guía nos centraremos en los aspectos relacionados con el producto final.

Por otra parte, en cuanto al control de recepción en obra conforme al CodE-21, esta guía recoge el control del producto en el momento de su puesta en obra, en concreto de la consistencia y resistencia a compresión del hormigón, así como del control de la documentación que acompaña al suministro.

La realización de estos dos controles en cascada (producción realizado por la central de hormigón y recepción realizado por la persona encargada de la recepción del material en obra) sobre el mismo hormigón en lo que se refiere a sus especificaciones da lugar en muchos casos a resultados diferentes que pueden llevar a cuestionar la calidad del mismo producto y clasificarlo como no conforme. Esta diferencia en el resultado entre el control de producción y el control de recepción puede ser motivado por distintas causas:

- La población analizada es distinta: el primer control comprende toda la producción y el segundo es una muestra parcial (lote de una obra proveniente de una parte discontinua de la población original).
- Los laboratorios de ensayo son distintos por lo que existen diferencias en la confección de la muestra, fabricación, conservación y ensayo de las probetas aún cuando se tratan de ensayos normalizados.
- Los estimadores utilizados en cada uno de los controles son diferentes extrayéndose conclusiones erróneas por parte de la persona encargada de la recepción a partir de los resultados obtenidos.

Por lo que se acaba de comentar, un sistema de control alternativo debería considerar la posibilidad de plantear una integración de estas dos etapas de control para conseguir un resultado final plenamente coherente, incidiendo en el control de producción para descargar el control de recepción.

Con este objetivo, el CodE-21 introduce, al igual que la anterior EHE-08[3], el control de identificación en el control de recepción en obra para los hormigones con Distintivo de Calidad Oficialmente Reconocido (DCOR)[4] al considerar la garantía que conllevan todos los controles que se realizan sobre la producción.

A este respecto, los DCOR del hormigón suponen la posesión de un nivel de garantía adicional al exigido tanto por el RD 163/2019 como por el CodE-21, dado que se aseguran por organismos certificadores con reconocimiento oficial y con requisitos específicos, la posesión de estos permite aplicar consideraciones especiales en el control del hormigón tal y como veremos a lo largo de esta guía.

1. Real Decreto 163/2019, de 22 de marzo, por el que se aprueba la Instrucción Técnica para la realización del control de producción de los hormigones fabricados en central.
2. RD 470/2021 de 29 de junio, por el que se aprueba el Código Estructural.
3. RD 1247/2008 de 18 de julio, por el que se aprueba la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08).
4. Nueva denominación con objeto de diferenciarlo del DSOR.

INMASTEC-LAB
INMASTEC-LAB, S. L.

2. El control del hormigón en producción conforme a RD

Mediante el Real Decreto 163/2019, de 22 de marzo, se aprueba la Instrucción Técnica para la realización del control de producción de los hormigones[5] (ITCPH-19) de tal manera que, a partir del 1 de abril del 2021, todas las centrales de hormigón en España deben evidenciar el cumplimiento del RD 163/2019 mediante el certificado correspondiente.

Adicionalmente el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo realizó un informe guía[6] que recoge los requisitos de evaluación de conformidad del control de producción de los hormigones fabricados en central, que tiene como objeto aclarar dudas y facilitar el cumplimiento de la normativa aplicable para la puesta en práctica de la certificación con este Real Decreto.

Con esta Instrucción Técnica se pone de manifiesto el interés general que supone el incremento en la trazabilidad y las mejoras en el control de la producción de los hormigones. Su objetivo es garantizar la correcta elaboración del hormigón, con el consiguiente incremento en la seguridad, siendo el instrumento más adecuado para garantizar su consecución.

2.1. Garantía de cumplimiento del control de producción

Para evidenciar el cumplimiento del control de producción, la central de hormigón debe disponer del certificado correspondiente emitido por un organismo de control acreditado conforme al Real Decreto 2200/1995 y conforme a las condiciones establecidas en la norma ISO 17020 para entidades de Inspección tipo A en cuyo alcance se recoja el RD 163/2019. Este certificado se referirá a cada suministrador de hormigón y central, y tendrá una validez de 4 años teniendo en cuenta que cada dos años se realizará una visita adicional donde se comprobará los aspectos más importantes del control del hormigón.

Una copia de este certificado debe ser entregada al usuario junto con la documentación previa al suministro, bien en papel, bien por vía electrónica, o bien mediante acceso a la página web del fabricante[7]. Tal y como se ha comentado, en España el DCOR del hormigón supone un nivel de garantía adicional por lo que las centrales que fabriquen hormigones que dispongan de este distintivo, o de marca de calidad, emitido por una

5. Se entiende que las referencias hechas a la EHE-08 en la ITCPH-19 se refieren a los apartados correspondientes de la nueva normativa en vigor (Code-21).
6. Informe MINCOTUR: requisitos de evaluación de conformidad del control de producción de los hormigones fabricados en central, en el marco de la instrucción técnica aprobada por el real decreto 163/2019 (ITCPH-19). Versión 2 (15-03-2023).
7. Para las plantas de nueva apertura ver el informe guía realizado por el MINCOTUR.

entidad de certificación acreditada por ENAC conforme a la norma UNE-EN ISO 17065 (entendido como DCOR conforme al CodE-21.). En los casos en que la central tenga algunos de sus hormigones con sello o marca de calidad (DCOR) y otros no, para los que no posean dicho DCOR se debe disponer del certificado al que hace referencia la ITCPH-19.

2.2. Control de los materiales componentes del hormigón

Dentro del control del hormigón, el control de los materiales componentes es muy importante pues de éste depende que se consigan las garantías adecuadas en el producto final.

El responsable de la recepción debe comprobar si el material constituyente corresponde al solicitado junto con su idoneidad respecto al uso al que va a ir destinado. Para ello se debe comprobar la documentación de suministro y si corresponde con la indicada en la reglamentación vigente.

Los materiales deben almacenarse adecuadamente en silos estancos o acopios correctamente identificados evitando su contaminación. Los silos de cemento deben estar protegidos de la humedad y tener un sistema o mecanismo de apertura para la adecuada descarga desde los vehículos de transporte, sin riesgo de alteración.

La documentación de suministro, contemplada en el anejo 4 del CodE-21, debe archivarse de forma que se disponga de la relativa a los últimos tres meses o bien del último suministro si este fuera anterior a los tres meses.

A continuación, se expone la documentación que debe controlarse para cada uno de los constituyentes.

Cemento:
Documentación (albarán y certificados) conforme con la Instrucción de recepción de cementos RC-16.

- Marcado CE, emitido mediante sistema de evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones 1+ según norma armonizada correspondiente.
- Declaración de prestaciones correspondiente al marcado CE de cada cemento o certificado de garantía firmado por el fabricante para cementos no sometidos al marcado CE.
- En su caso, el Certificado de la Marca de Calidad y DCOR vigente.
- Ficha de seguridad y documentación que asegure el cumplimiento del Cr (VI) soluble en agua.

Áridos:

- Marcado CE, emitido mediante un sistema de evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones 2+ según UNE-EN 12620+A1 para áridos naturales, reciclados y siderúrgicos y UNE-EN 13055-1 para áridos ligeros.
- Declaración de prestaciones y en su caso los ensayos que permiten evidenciar el cumplimiento del CodE-21.
- En su caso, el certificado de DCOR.

Aditivos:

- Marcado CE, emitido mediante un sistema de evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones 2+ según UNE-EN 934-2.
- Declaración de prestaciones que permita deducir el cumplimiento del CodE-21.
- Certificado del fabricante que garantice que el producto satisface los requisitos prescritos en la citada norma, el intervalo de eficacia (proporción a emplear) y su función principal.
- En el caso de aditivos que, por no estar incluidos en las normas armonizadas, no disponen de marcado CE, la central debe aportar un certificado de ensayo, con antigüedad inferior a seis meses, junto con la declaración firmada por persona física que garantice el cumplimiento de todas las especificaciones mediante un tratamiento estadístico equivalente al exigido en el marcado CE, en la que se identificará al laboratorio que ha efectuado los ensayos, de tal manera que se adjunte la declaración del laboratorio de cumplir los requisitos contemplados en el CodE-21.

Adiciones:

- Marcado CE, emitido mediante un sistema de evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones 2+ según la norma correspondiente (cenizas tipo A: UNE-EN 450 y humo de sílice: UNE-EN 13263-1)
- Declaración de prestaciones que permita deducir el cumplimiento del CodE-21.

Agua:

- Si el agua utilizada para la fabricación del hormigón no es agua potable de red de suministro se realizarán los correspondientes ensayos, que aseguren el cumplimiento del Artículo 29 del CodE-21, con una periodicidad semestral.

2.3. Control del hormigón

Para poder llevar a cabo la correcta producción del hormigón y su control, se exige personal técnico competente con formación, experiencia y titulación académica suficiente, en concreto para establecer las recetas de dosificación. Además, debe haber una persona responsable de la fabricación, con formación y experiencia suficiente.

2.3.1. Control de la durabilidad

El control del hormigón comprende el control y garantía de la durabilidad de este material, tal y como recoge el capítulo 9 del CodE-21, conforme a los siguientes requisitos:

- Dosificación en función de la clase de exposición (contenidos mínimos de cemento y de máxima relación agua/cemento) y del tipo de elemento (masa, armado y pretensado).
- Utilización de un cemento idóneo para el uso al que va a estar destinado el hormigón (por ejemplo, con la característica adicional de resistencia a los sulfatos o al agua de mar cuando corresponda).
- Impermeabilidad del hormigón para el ambiente en el que va a estar ubicado.
- Contenido mínimo de aire ocluido en su caso.
- Ausencia de reacciones árido-álcali.
- Resistencia frente a la erosión, en su caso.

En cuanto a la dosificación, las plantas de hormigón deben estar automatizadas de tal manera que se asegure que se pueda acreditar que se han respetado los contenidos mínimos de cemento y de máxima relación agua/cemento (tabla 43.2.1.a[8]) en todas las cargas y que la resistencia característica mínima alcanzable corresponde a la indicada en la tabla 43.2.1.b[8].

La relación agua/cemento debe tomarse como el valor impreso por el registrador del dispositivo de dosificación o de los registros de producción en relación con las instrucciones de la amasada que deben ser calculadas según los criterios recogidos en la Instrucción Técnica vigente.

El contenido mínimo de cemento lo comprueba el pertinente dispositivo asociado a la báscula o los certificados del fabricante de software y fabricante de hormigón.

El fabricante de hormigón tiene dos opciones para asegurar la dosificación de cada uno de los hormigones fabricados:

a) disponer de un dispositivo no manipulable asociado al sistema de la báscula de cemento y los silos de almacenamiento de cemento, así como la apertura y cierre de estos elementos, de manera que se garantice que el registro de la pesada y tipo de cemento coinciden con lo que figura en el albarán. El fabricante de hormigón deberá disponer del certificado del fabricante del dispositivo que garantice estas especificaciones, o alternativamente,

b) estar en posesión de:

i. Certificado del fabricante del software de dosificación y carga en el que se certifique que la versión de su programa instalada en la planta asegura que los valores realmente pesados y suministrados de todos los componentes del hormigón coinciden con los valores registrados en el software y en los albaranes de suministro. Es decir, el fabricante del software[9] debe certificar que el sistema informático instalado en la planta no permite ninguna diferencia entre los valores de la carga registrados en la aplicación y los realmente suministrados, y no debe facilitar ningún medio para que el suministrador del hormigón pueda modificar dichos registros.

8. Tabla del capítulo 9 del CodE-21.
9. Aquel que lo ha desarrollado y posee su propiedad intelectual.

ii. Certificado del fabricante de hormigón firmado por persona física (apoderado) en el que se garantice que los datos de dosificación y carga, tanto teóricos como reales, recogidos en sus bases de datos no han sufrido alteración y se corresponden con lo cargado[10].

Por otra parte, en los casos en que sea necesario la utilización de un cemento con la característica adicional de resistencia a los sulfatos o al agua de mar, conforme a los apartados 43.3.4.1 y 43.3.4.2 del CodE-21, el fabricante debe garantizar su uso dejando constancia en la declaración responsable previa al suministro, en la ficha técnica del hormigón (requerida para estas clases de ambiente) y aportando la documentación justificativa que acredite su cumplimiento, por ejemplo mediante la documentación que avale la recepción de cemento de estas características concordante en fechas y la declaración de prestaciones del fabricante de cemento, según se recoge en el anejo 4 del CodE-21. Se debe dejar constancia en el albarán u hoja de suministro del hormigón de la referencia a la ficha técnica anteriormente aportada y a la identificación completa del cemento y su proveedor.

En el caso particular de que se utilicen adiciones en la fabricación del hormigón, se tendrá en cuenta lo recogido en el CodE-21, a los efectos del cálculo del contenido de cemento y de la relación agua/cemento.

En el caso de que la central suministre hormigones para las clases de exposición XA, XS, XD, XF y XM, se debe asegurar adicionalmente el cumplimiento de la durabilidad del hormigón mediante el ensayo de penetración de agua a presión según la norma UNE EN 12390-8 y los criterios recogidos en el anejo 13 del CodE-21. Para ello el fabricante debe disponer de los ensayos cada seis meses y previamente, al inicio del suministro, el responsable de la recepción del hormigón debe coordinar también su realización.

En el caso de que la central suministre hormigones para la clase de exposición XF2 y XF4, se debe asegurar de la misma manera que en el caso anterior el cumplimiento de la durabilidad del hormigón mediante el aire ocluido mínimo es del 4,5 %, determinado según la norma UNE-EN 12350-7.

2.3.2. Control de la docilidad y resistencia

El control de las características de docilidad y resistencia comienza con la correcta toma de muestra conforme a la norma UNE-EN 12350-1. La docilidad del hormigón, en general, se comprueba mediante la determinación de la consistencia del hormigón fresco por el método del asentamiento, según la norma UNE-EN 12350-2 excepto para hormigones autocompactantes[11] y la resistencia a compresión del hormigón de acuerdo con lo indicado en la norma UNE-EN 12390-3 sobre probetas fabricadas y curadas según UNE-EN 12390-2. Se permite utilizar tanto las probetas cilíndricas tradicionales como las probetas cúbicas de 15 cm o, incluso, 10 cm para hormigones de alta resistencia ($f_{ck} \geq 50$ N/mm²) y siempre que el tamaño máximo del árido sea inferior a 12 mm. El fabricante debe tener en cuenta que para poder comparar con los resultados en recepción, si se opta por probetas cúbicas, el resultado debe transformarse mediante un factor de corrección que será de 0,9 si $f_{ck} < 60$ MPa; 0,95 si $60 \geq f_{ck} < 80$ MPa, o 1 si $f_{ck} \geq 80$ MPa.

El fabricante debe tomar muestra al menos cada 300 m³ de hormigón suministrado de cada resistencia tipificada o agrupación de dosificaciones de hormigón, debiendo haber como mínimo una muestra mensual de estas características.

10. Actualizado al menos cada 4 años y siempre que se produzca un cambio de la persona que lo firma.
11. En el caso de hormigones autocompactantes se requiere determinar la autocompactabilidad a través de ensayos específicos conforme el Art. 33.5 del CodE-21.

Se pueden agrupar hormigones de distintas denominaciones cuyas dosificaciones cumplan:

a) que la diferencia en la relación agua/cemento no exceda de 0,04.
b) que la cantidad de cemento por m³ abarque un espectro de 30 Kg/m³.

Los resultados que se obtengan de estas características se refieren a la unidad de producto o amasada.

Para cada muestra realizada, el ensayo de consistencia debe cumplir los límites indicados en el Art. 33.5 del CodE-21 para el tipo especificado y se considera conforme cuando el ensayo se encuentre dentro de los intervalos definidos en la tabla 57.5.2.2

En cuanto al resultado de resistencia a compresión obtenido para cada muestra, este viene dado por la media de un grupo de dos o tres probetas debiéndose comprobar que el recorrido relativo en el caso de tres probetas no puede exceder del 20 % y en el caso de dos probetas del 13 %, con el fin de asegurar la uniformidad de la fabricación y ensayos de dichas probetas.

Para la evaluación de la resistencia característica de producción requerida, el fabricante debe conocer la resistencia media y la variabilidad de la producción y debe disponer de un criterio estadístico que le permita realizar un seguimiento continuo de la producción y un control de los suministros, de forma que pueda cumplir con el control de recepción requerido en las diferentes obras suministradas tal y como prevé el CodE-21 o, en su caso, de las condiciones específicas que pueda pactar con su cliente. En el caso de disponer de un DCOR para alguno de los hormigones fabricados, se realizará el control exigido en el reglamento del distintivo y en el caso de ser la central específica para una obra, se deben tener en cuenta las indicaciones de la dirección facultativa. Ante cualquier inspección administrativa de comprobación del cumplimiento de esta norma, el fabricante de hormigón debe acreditar documentalmente el tratamiento que está efectuando.

Los criterios de evaluación definidos, tanto en la fabricación inicial (sin experiencia previa) como en la fabricación continua, deben basarse en la probabilidad de aceptación permitida para el hormigón estricto y deben ser coherentes con los criterios de aceptación del hormigón definidos con un riesgo del consumidor del 50 % que se recogen en el apartado 57.5.4.3 del CodE-21.

La evaluación continua[12] comprende como máximo el periodo de un año y se realiza sobre un número determinado de muestras agrupadas y obtenidas durante el periodo móvil. Una vez realizada la primera agrupación, sucesivas agrupaciones se formarán quitando el primer resultado obtenido cada vez que se obtenga uno nuevo.

Se recomienda que para hacer una correcta implantación de este sistema de evaluación se disponga del mayor número posible de muestras y al menos de 15 resultados. A modo de ejemplo, uno de los criterios estadísticos que se pueden utilizar para evaluar la resistencia característica requerida es el siguiente:

$$f_{c,est} = (\overline{x}_n - k_n . s_n) \geq f_{ck}$$

donde:

$\overline{x}_n$ es la media de n resultados.

s_n es la desviación típica de n resultados.

f_{ck} es la resistencia característica especificada del hormigón.

k_n es la constante de aceptabilidad (variando el valor de k_n se obtienen diferentes probabilidades de aceptación).

A continuación, se dan los valores de k_n para una probabilidad de aceptación del 50 por ciento y distinto número de muestras (Tabla 1) calculados mediante simulación de Montecarlo.

Si la fabricación de un hormigón tipificado, o de una agrupación, se ha suspendido durante un periodo superior a 12 meses, se recomienda que el fabricante adopte los criterios y el plan de muestreo y ensayo correspondientes a la producción inicial de un nuevo tipo de hormigón.

En función del criterio estadístico aplicado por la central, se deberían implantar unas limitaciones a partir de las cuales sea necesario realizar la revisión o corrección del proceso de producción del hormigón o agrupación objeto de control. Se recomienda que el fabricante esté especialmente vigilante si aparecen de manera repetida resultados individuales $X_i \leq f_{ck} + 4$ o si el coeficiente de variación $\delta = s_n / \overline{x}_n \geq 13\ \%$.

En el caso de agrupaciones de hormigón[13], el fabricante debe controlar todos los miembros de la agrupación, debiéndose llevar a cabo el muestreo, sobre todo el rango de composiciones de hormigón fabricadas dentro de la agrupación. El muestreo debe distribuirse de forma proporcional a la cantidad fabricada de cada una las distintas dosificaciones incluidas en cada agrupación. Todos los hormigones que se incluyan en una misma agrupación deben cumplir con los requisitos aplicables a la designación más desfavorable.

La central debe disponer de un registro por cada resistencia tipificada o agrupación de hormigón, donde se deben anotar tanto los valores individuales como los valores medios del resultado de la consistencia del hormigón fresco y de la resistencia a compresión. El mínimo de datos que debe figurar en el registro de ensayos debe estar acorde con lo establecido en el Instrucción Técnica.

Tabla 1. Valores de k_n según el nº de muestras

Prob. Aceptación	k_n (n=15)	k_n (n=20)	k_n (n=25)	k_n (n=30)	k_n (n=35)
50%	1,675	1,67	1,665	1,66	1,655

12. El tamaño del lote de producción es decisión del responsable técnico de la central que tendrá en cuenta cambios en las características de las materias primas, dosificación especial para una obra, etc. Para producciones continuas se recomienda entre 6 meses y 12 meses.

13. El concepto de agrupaciones no es de aplicación a hormigones de alta resistencia. Los hormigones ligeros no deben incluirse en agrupaciones de hormigones de densidad normal. Los hormigones ligeros con áridos similares pueden agruparse formando su propia agrupación.

3. El control del hormigón en obra según el CodE-21

Las obligaciones que aquí se describen pertenecen a la persona encargada de la recepción del material en obra (Dirección Facultativa, Dirección de Obra, Dirección de Ejecución...), aunque es de gran interés para el resto de agentes implicados en el proceso constructivo (Constructor, Entidad de Control de Calidad, Suministrador del hormigón), dadas las consecuencias que para todos puede tener una no aceptación.

El planteamiento del control del hormigón en el CodE-21 se centra en efectuar las comprobaciones recogidas en esta guía que permiten asumir la conformidad de la estructura en relación con los requisitos básicos para lo que ha sido concebida y proyectada. Esto implica, de hecho, que prevalece el control de recepción con respecto al control de producción si bien el artículo 17 recoge que la Dirección Facultativa puede optar también por otras alternativas de control siempre que se demuestre, bajo su supervisión y responsabilidad, que son equivalentes y no suponen una disminución de las garantías para el usuario.

Antes de que se inicie el suministro del hormigón, la dirección facultativa debe comunicar al constructor, y éste al suministrador de hormigón, el tipo de control, el criterio de aceptación aplicable, los lotes de control previstos, etc.

Es importante que se establezca una buena comunicación entre el peticionario del hormigón que debe especificar al suministrador los requisitos requeridos al producto por escrito (Art. 51.3.4) de tal manera que sean congruentes entre sí, el responsable de la recepción del hormigón si es diferente al anterior y el fabricante de tal manera que este último pueda disponer del pedido por escrito, de copia de las actas de toma de muestra de hormigón, así como de los resultados obtenidos por el laboratorio.

En caso de que aparezca un resultado no conforme es de interés que se comunique el lote afectado al fabricante y que se solicite su participación en las distintas fases derivadas de las decisiones que se hayan acordado ante esta no conformidad.

Antes del inicio del suministro, la dirección facultativa debe valorar la conveniencia de efectuar una visita a la planta para comprobar la idoneidad de la instalación y de su control siendo obligatorio para centrales de obra (Art. 56.2).

3.1. Documentación del control del hormigón

La documentación que el fabricante debe presentar (a la Dirección Facultativa directamente o a través del Constructor) se organiza en función de cuándo debe ser presentada. Siempre que se produzca un cambio en el suministrador del hormigón es preceptivo presentar la documentación correspondiente al nuevo hormigón.

a. Previa al suministro

i. Con DCOR.

1. Copia del certificado vigente del DCOR del hormigón que se va a suministrar[14] donde figure la dosificación nominal, $D_{certificada}$.

2. Protocolo de comprobación de volumen, a disposición del cliente.

ii. Sin DCOR.

1. Certificado del cumplimiento RD 163/2019 de la planta suministradora emitido por un organismo de control acreditado por ENAC con validez de

14. Comprobar en https://www.mitma.gob.es/organos-colegiados/mas-organos-colegiados/comision-permanente-del-hormigon/cph/reconocimiento-de-distintivos/distintivo-de-calidad-de-hormigon

hasta 4 años y documento que acredite que ha superado la auditoría bienal.

2. Declaración Responsable[15] según modelo (apto.1.1.6 del Anejo 4), entre otra con la siguiente información:

   - Dosificación nominal[16] y cumplimiento tabla 43.2.1 (C_{min} cemento, max a/c y $Resist_{min}$ esperada).
   - Informe o acta de ensayo de laboratorio, con antigüedad inferior a 6 meses con los resultados de impermeabilidad al agua, para ambientes XA, XS, XD, XF y XM y aire ocluido para ambientes XF2 y XF4.
   - Materiales conformes a las especificaciones indicadas.

3. Ficha técnica según modelo (apto 1.1.6 del Anejo 4) para hormigones en ambientes XC3, XC4, XD, XS, XF, XA y XM a disposición del usuario: datos de identificación de materiales y dosificación nominal (para cada fórmula de trabajo).

4. Informe de ensayos previos y característicos conforme Anejo 13 si no hay historial de resultados para esa dosificación con los materiales declarados.

5. Declaración del laboratorio del cumplimiento de los requisitos establecidos en el apartado 17.2.2.1 en caso de adjuntar informes resultados.

6. Protocolo de comprobación de volumen, a disposición del cliente.

b. Durante el suministro

i. Con o sin DCOR.

1. Hoja de suministro (albaranes) (apartado 2.5 del Anejo 4) con la identificación completa (tipo, procedencia, proveedor, etc.) de los materiales componentes (cemento, aditivos y adiciones) y la dosificación real[17]. Debe de ser cotejada con la declaración responsable previa al suministro.

c. Posterior al suministro

i. Sin DCOR

1. Vigencia del certificado de conformidad según RD163/2019 de la planta suministradora de hormigón.

2. Certificado final de los hormigones suministrados (apto 3 del Anejo 4). El certificado de suministro deberá mantener la necesaria trazabilidad de los materiales o productos suministrados (identificación detallada).

ii. Con DCOR

1. Al certificado final se adjuntará la declaración de que durante el periodo transcurrido entre la declaración inicial de estar en posesión de un DCOR y el último suministro, no se ha producido ni suspensión, ni retirada del citado distintivo.

3.2. Fabricación, conservación y rotura de las probetas y otros ensayos

Tanto la toma de muestras como los ensayos se realizan de la misma manera que lo expuesto en el apartado 2.3 para el control del hormigón en producción. El control de la consistencia, que se sigue realizando por el método del asentamiento (cono de Abrams), se realiza en todas las amasadas que sean controladas en su resistencia.

15. En caso de cambio de suministrador o tipo de alguno de los componentes es necesario su comunicación y el envío de los nuevos documentos e informes.
16. Los valores "nominales" se refieren a los valores reflejados en la dosificación teórica empleada en la planta.
17. Debe incluir al menos la información especificada en el apartado 2.5 del Anejo.

Tal y como recoge el CodE-21, se fabricarán al menos 4 probetas, dos para la resistencia a compresión a 28 días y las otras dos para reserva pudiendo ser ensayadas si fuera necesario a edades superiores a 28 días. Estas últimas se desecharán transcurridos 60 días sin que nadie autorizado haya dispuesto de ellas. En cuanto a su conservación en la obra, el CodE-21 asigna al constructor la responsabilidad de asegurar que las probetas se encuentran protegidas de impactos, vibraciones, del viento, del asoleo directo deshidratación y de encontrarse en todo momento en el intervalo de 20˚C±5˚C (25˚C ±5˚C en tiempo caluroso). Con objeto de evitar la desecación, la superficie de la probeta expuesta debe cubrirse con una arpillera húmeda o similar, y los moldes deben permanecer en una bolsa sellada. En caso de que no se puedan cumplir las condiciones de temperatura durante un periodo superior a 2 horas mientras las probetas se encuentran en la obra, el constructor deberá disponer una habitación o recinto donde depositar las probetas y que sea capaz de mantener las temperaturas de conservación establecidas. La existencia de dicho recinto deberá quedar debidamente documentada en los correspondientes partes de fabricación de probetas.

Tal y como recoge el Art. 57.3.2, el periodo de permanencia de las probetas en la obra será de al menos 16 horas, sin superar las 72 horas hasta la entrada en la cámara de curado. Es recomendable que el periodo máximo de permanencia hasta la entrada en la cámara de curado no supere las 48 horas, especialmente en los meses de verano. En los meses de invierno, el periodo mínimo de permanencia de las probetas en la obra será de 24 horas.

3.3. Ensayos previos al suministro

El CodE-21 en su Anejo 13 muestra los ensayos previos y característicos del hormigón. Los ensayos previos (apartado 1 del anejo) y los ensayos característicos de resistencia (apartado 2 del anejo) no serán necesarios salvo en aquellos casos que no pueda justificarse documentalmente el empleo previo del hormigón que va a ser suministrado.

Los ensayos característicos de durabilidad (apartado 3 del Anejo 13) tienen por objeto comprobar que las dosificaciones a emplear son conformes a los criterios de durabilidad establecidos para los ambientes XA, XS, XD, XF y XM. Consisten en la determinación de la profundidad de penetración de agua bajo presión y del contenido de aire ocluido[18]. En el caso de hormigón preparado el fabricante debe realizarlos con una periodicidad máxima de 6 meses con objeto de poder adjuntar el informe de resultados a la declaración responsable de dicho hormigón conforme a lo indicado en los puntos 9 y 10 (apartado 1.1.6 del Anejo 4). En el caso de que se fabrique el hormigón en obra, son preceptivos para estos ambientes y la dirección facultativa velará para que se efectúe su realización. Adicionalmente, hay que tener en cuenta que la dirección facultativa realizará dicho ensayo al inicio del suministro.

Debido a las coberturas de los distintivos, no es exigible a hormigones en posesión de un DCOR.

3.4. Control de la resistencia del hormigón durante el suministro

3.4.1. Control estadístico del hormigón

El control estadístico es el de aplicación general en la mayoría de los casos. Se fundamenta en la evaluación de las resistencias a compresión de una muestra que se extrae de una población mayor.

Lógicamente, la principal ventaja de tomar decisiones en función de un grupo de resultados individuales es el menor coste que supone este control. Sin embargo, tiene el inconveniente de que, al ser menor el número de datos disponibles, los criterios que se aplicarán serán más conservadores que los que se aplicarían a la población completa (control al 100 por 100).

¿Cómo extraer la muestra del total del hormigón? A través de la definición de lotes, amasadas controladas (camiones) y determinaciones (probetas).

18. El pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto o la dirección facultativa, podrán disponer la realización de otros ensayos para la determinación de características adicionales como, por ejemplo, la determinación de la velocidad de carbonatación o del coeficiente de difusión de iones cloruro.

- Lote (L): cantidad de hormigón que se acepta o no de forma única al aplicar un criterio de aceptación.

- Amasadas controladas (N): nº de camiones por cada lote a los que se les ha de sacar probetas.

- Determinaciones (n): nº de probetas extraídas por cada amasada controlada.

Las muestras se deben tomar de camiones no consecutivos de tal manera que se reparta el muestreo de manera uniforme a lo largo del lote.

a. Formación de lotes (L, N, n)

Así, el primer paso para aplicar un control estadístico es lotificar, es decir, dividir el total de hormigón que se dispondrá en la obra en sub-volúmenes que serán, de forma individual, aceptados o rechazados.

El nº de amasadas a controlar por Lote dependerá de si el hormigón dispone de un DCOR o no.

Criterios útiles para dividir una obra en lotes de hormigón (Art. 57.5.4.1):

- Los lotes procederán del mismo suministrador, estarán elaborados con los mismos materiales componentes y tendrán la misma dosificación nominal.

- La tabla 2 da el tamaño máximo razonable de los lotes y nº de amasadas a controlar según el tipo de elemento y según el volumen de hormigón, tiempo de hormigonado y nº de elementos.

- No se pueden mezclar en un lote hormigones que pertenezcan a filas distintas de la tabla 2.

- Para hormigones en posesión de un DCOR, se aumentará el tamaño del lote multiplicando los valores de la tabla 2 por cinco.

- Para hormigones pertenecientes a centrales cuya dispersión esté certificada, se aumentará su tamaño multiplicando los valores de la tabla 2 por dos.

- En estos casos de tamaño ampliado del lote, el número mínimo de lotes será de tres (cada lote de elementos de filas distintas de la tabla 2) y en caso de obras de edificación serán: 1 lote de cimentación, 1 lote de elementos a compresión y 1 lote de elementos a flexión.

- Las amasadas de un lote no podrán superar las seis semanas.

- Para hormigón de resistencia $f_{ck} \geq 50$ N/mm², el nº de amasadas será mínimo de 6.

El siguiente ejemplo, muy habitual, representa un lote convencional de hormigón HA-25 con 100 m³, con N=3 y un nº de probetas a 28 días n_{28}=2.

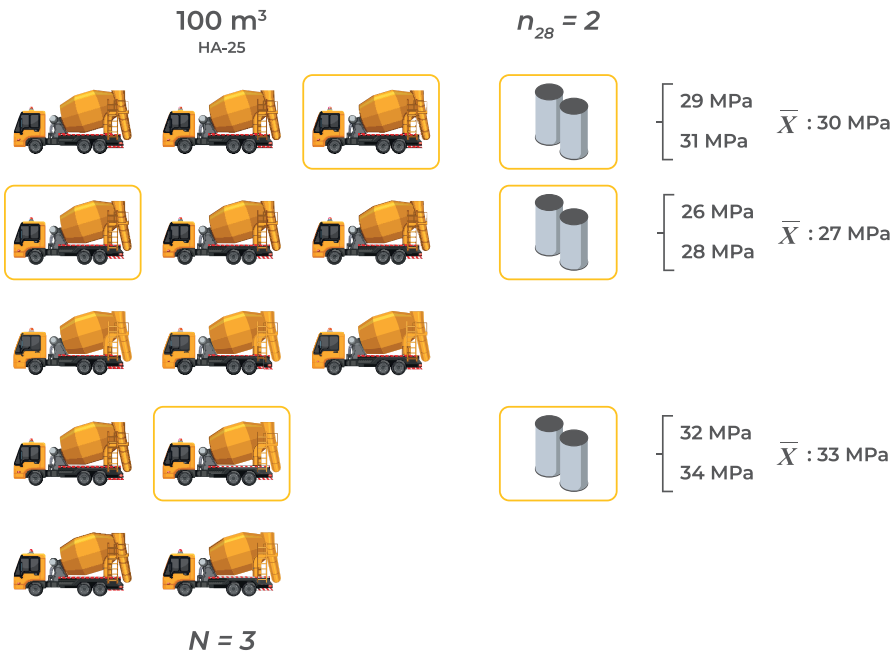

Tabla 2. Criterios para lotes de hormigón con y sin DOR					
Tipo de Elemento	Volumen de hormigón	Tiempo de hormigonado	Número de elementos	Nº de amasadas a controlar en cada lote ----- Hormigón sin distintivo oficialmente reconocido	Nº de amasadas a controlar en cada lote ----- Hormigón con distintivo oficialmente reconocido
Cimentadores con elementos de volumen superior a 200 m³	V. vertido de forma continua	1 semana	1 elemento	N ≥ V/35 N ≥ 3	N ≥ V/105 N ≥ 1
Cimentadores con elementos de volumen inferior a 200 m³	100 m³	1 semana	-----	N ≥ 3	N = 1
Vigas, forjados, losas y otros elementos trabajados a flexión	100 m³	2 semanas	1000 m² de superficie construida ----- 2 plantas (**)	N ≥ 3	N = 1
Losa superior o inferior en marcos	200 m³ ----- V. vertido de forma continua	2 días	Totalidad del elemento (losa superior o losa inferior)	N ≥ V/30 N ≥ 3	N = 1
Pilares y muros portantes de edificación	100 m³	2 semanas	500 m² de superficie construida (*) ----- 2 plantas (**)	N ≥ 3	N = 1
Pilas y estribos de puente (con encofrado convencional)	50 m³	1 día	1 pila / 1 estribo	N ≥ 3	N = 1
Pilas de puente construidas por trepado y deslizado	100 m³	2 días	1 pila	N ≥ V/20 N ≥ 4	N = 1
Tableros de puente en general y losas in situ de tableros con elementos prefabricados y mixtos	300 m³	1 día	1 vano ----- 50 m de longuitud	N ≥ V/20 N ≥ 4	N ≥ V/60 N ≥ 1
Tableros construidos por fases (***)	600 m³	-----	1 fase	N ≥ V/30 N ≥ 4	N ≥ V/90 N ≥ 1
Otros elementos o grupos de elementos que funcionan fundamentalmente a compresión	100 m³	2 semanas	500 m² de superficie construida ----- 2 plantas	N ≥ 3	N = 1
Soleras de túneles	100 m³	1 día	1 fase	N ≥ 3	N = 1
Contrabóvedas de túneles	100 m³	1 día	1 fase	N ≥ 3	N = 1

(*) En el caso de que el número de amasadas necesarias para ejecutar los pilares de un lote sea igual o inferior a tres, el límite de 500 m² se podrá elevar a 1000 m².
(**) En el caso de que un lote esté constituido por elementos de dos plantas, se deberán tener resultados de ambas plantas.
(***) A los efectos de la definición de lotes, se entiende por fase aquella parte de la estructura que se hormigona de una sola vez, de acuerdo con lo previsto en el proyecto y de manera que trascurra el tiempo suficiente para que se desarrolle la resistencia requerida antes de que se ejecute la siguiente fase.

Una vez dividida la obra en lotes hay que establecer el número de camiones hormigonera por lote a las que se extraen (amasadas controladas por lote, N). Para ello se utilizan los datos referenciados en la tabla 2.

Por último, el número de probetas por camión debe ser, como mínimo de 2, para su ensayo a 28 días. De los 2, 3 o más valores de resistencia a compresión obtenidos en la rotura a 28 días se obtiene, siempre, la media que es el valor representativo de esa amasada controlada. La conformidad del lote en relación con la resistencia se comprobará a partir de los valores medios de los resultados obtenidos sobre las probetas tomadas para cada una de las N amasadas controladas. En el Anexo I se recoge un ejemplo de lotificación y control de aceptación.

b. Criterios de aceptación:

La aceptación de un hormigón está condicionada a la comprobación de su conformidad, aplicando para ello los siguientes criterios. Se aceptará el lote en lo relativo a su resistencia cuando se cumpla el criterio de aceptación que se haya seleccionado.

i. Caso 0: Hormigón con DCOR

En este caso, el CodE-21 exime de aplicar un control de aceptación del hormigón en recepción, ya que el control de producción realizado por organismos certificadores permite reducir el riesgo del consumidor del 50% al 45%, convirtiendo la recepción en un mero control de identificación.

Este criterio de identificación tiene la forma:

$$x_i \geq f_{ck}$$

Si el hormigón está en posesión de DCOR, los valores individuales de resistencia deben ser simplemente superiores o iguales a la resistencia característica.

- En caso de no conformidad del criterio: los siguientes 6 lotes se verán reducidos de tamaño a aquél que tendría si no existiera el DCOR y, si en alguno de esos 6 se volviera a incumplir el criterio consideraría nulo el DCOR a efectos de obra. Se acepta el lote, no obstante, si se cumplen simultáneamente,

$$x_i \geq 0{,}9\, f_{ck} \qquad f(\bar{x}) = \bar{x} - 1{,}645\, \sigma \geq 0{,}9\, f_{ck}$$

siendo la media ($\bar{x}$) la de los 15 valores anteriores incluido el defectuoso y la desviación típica (δ) la certificada (la debe proporcionar el fabricante en caso de necesidad)

- En caso de no conformidad del segundo criterio: se comprobará la razón de la no aceptación mediante ensayos de información complementaria (ver apartado 3.6.1)

ii. Caso 1: Hormigón con dispersión certificada dentro del alcance de certificación de un DCOR

En este caso, el criterio de aceptación es:

$$\bar{x}\,(1 - 1{,}66\, \delta^*) \geq f_{ck}$$

donde:

$\bar{x}$ valor medio de los resultados del lote.

δ^* es el coeficiente de variación certificado.

Para este caso hay que tener en cuenta que el valor del coeficiente de variación certificado influye en gran medida en el criterio de aceptación. Además, se debe tener en cuenta que únicamente se puede dar este caso cuando la central dispone del DCOR para alguna otra agrupación de hormigón. Se debe haber solicitado al organismo de certificación acreditado la certificación de la dispersión para este otro hormigón fabricado.

iii. Caso 2: Hormigón sin DCOR con más de 36 amasadas controladas

$$\bar{x} - 1{,}66\, s^*_{35} \geq f_{ck}$$

donde:

$\bar{x}$ valor medio de los resultados del lote.

s^*_{35} valor de la desviación típica muestral, correspondiente a las últimas 35 amasadas.

$$S^*_{35} = \sqrt{\frac{1}{34} \sum_{i=1}^{35} (x_i - \bar{x}_{35})^2}$$

iv. Caso 3 : Hormigón sin DCOR hasta 36 amasadas controladas

$$x_1\, k_n \geq f_{ck}$$

donde:

x_1 valor mínimo de los resultados obtenidos en las últimas N amasadas controladas del lote.

k_n coeficiente que toma los valores reflejados en la tabla 3 según el nº de amasadas.

Tabla 3. N° de amasadas controladas									
Coeficiente	3	4	5	6	7	8	9	10	>10
K_n	0,89	0,91	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	1

3.4.2. Otros controles no estadísticos

En el caso de obras de muy pequeño tamaño, de gran responsabilidad técnica o con imposibilidad de sacar probetas para ensayar la resistencia, podemos optar por un control distinto del estadístico.

a. Control al 100 por 100 (Art. 57 .5.5)

De uso no común por el elevado coste del control, al tener que extraer probetas a todas las amasadas. Sin embargo, el criterio de aceptación es el más ventajoso desde el punto de vista estadístico para la aceptación de un hormigón, ya que el hormigón de cada elemento estructural se aceptará siempre que las resistencias de al menos el 95% de los camiones sean iguales o superiores a la característica.

$$f_{c,real} \geq f_{ck}$$

Es decir, por cada 20 camiones, uno puede dar valores de resistencia bajo la característica. Si el elemento tiene menos de 20 amasadas, todas ellas deben tener una resistencia igual o superior a la característica sin importar su dispersión.

Asimismo, se debe cumplir que

$$f_1 \geq 0{,}9 \cdot f_{ck}$$

donde f_1 es el valor mínimo de los resultados obtenidos en las N amasadas controladas.

Su aplicación puede ser ventajosa en obras de pequeña envergadura, ya que el número de amasadas controladas puede ser similar al control estadístico, mientras que el criterio de aceptación es más ventajoso que el del caso 3 del control estadístico.

b. Control indirecto (Art. 57 .5.6)

Los requerimientos que se exigen para poder utilizar este control, de coste muy reducido al no requerir probetas, son sin embargo restrictivos. Se deberá cumplir:

- que el hormigón en masa o armado esté en posesión de un DCOR
- sólo en elementos de edificios de viviendas de una o dos plantas, con luces inferiores a 6,00 metros, o sólo en elementos de edificios de viviendas de hasta cuatro plantas, que trabajen a flexión, con luces inferiores a 6,00 metros, o sólo en obras de ingeniería de pequeña importancia.
- que el proyecto recoja una resistencia de cálculo a compresión no superior a 15 MPa,
- que el ambiente en que esté ubicado el elemento sea X0 o XC según el CodE-21 .

En caso de que se opte por este control se sustituirá la fabricación de probetas para el control de la resistencia por la determinación de la docilidad 4 veces día lo largo de la jornada, efectuándose dichas determinaciones bajo la supervisión de la Dirección Facultativa.

3.5. Control de la durabilidad del hormigón durante el suministro

Para los ambientes XA, XS, XD, XF o XM, y siempre que el hormigón no posea un DCOR, el hormigón deberá ser impermeable cumpliendo el ensayo de penetración de agua conforme al apartado 57.5.7. del CoE-21, para lo cual la dirección facultativa realizará dicho ensayo al inicio y posteriormente una vez cada seis meses a lo largo del suministro para cada tipo de dosificación.

De la misma manera, para los ambientes XF2 y XF4, y siempre que el hormigón no posea un DCOR, se realizará el ensayo de contenido de aire en el hormigón al inicio y posteriormente una vez cada seis meses.

La dirección facultativa o el plan de control pueden extender estos ensayos a hormigones de otros ambientes. En este caso se considerará como "característica adicional" en la designación del hormigón.

3.6. Decisiones derivadas del control y ensayos de información complementaria

En el caso de existir un rechazo en cualquiera de los criterios anteriores, el CodE-21 proporciona un procedimiento ordenado y gradual de medidas para decidir la aceptación, refuerzo o demolición definitivos.

El procedimiento a seguir comienza con un análisis de los resultados obtenidos en el lote. Es importante estudiar si los resultados son fiables y representativos, por lo tanto es necesario conocer cuántas unidades de producto componen el lote y de cuántos datos disponemos así como de los ensayos de control de producción proporcionados por el fabricante y si se pueden deducir posibles alteraciones en la dosificación.

En el caso de que se detectase que un hormigón colocado en la obra presenta cualquier incumplimiento de las exigencias de durabilidad, la dirección facultativa debe valorar la realización de comprobaciones experimentales específicas y, en su caso, la adopción de medidas de protección superficial para compensar los posibles efectos potencialmente desfavorables del incumplimiento.

Para la realización de comprobaciones experimentales se debe determinar previamente cuántos datos de ensayos de información se van a necesitar y si deben buscarse en amasadas concretas o tomadas al azar en el lote. Esto puede suponer la determinación con mayor número de datos de la resistencia característica real asociada al lote. Podrán ocurrir dos cosas: que al aumentar el número de datos la resistencia característica real sea superior a la especificada (en tal caso, se aceptaría el lote, sin perjuicio de sanciones contractuales), o que sea inferior. Si es inferior, habrá que calcular la seguridad real de la estructura por distintos métodos, rebajando la característica a la real obtenida por el cálculo probabilístico.

Es fundamental que, antes de comenzar el proceso de toma de decisiones, se acuerden entre las partes los criterios que supondrán la aceptación, penalización o rechazo definitivo de los elementos analizados. Comenzar un proceso de valoración de la aceptación mediante ensayos de información complementaria, recálculo y pruebas de carga sin tener previamente acordado el procedimiento técnico a seguir y las decisiones a adoptar en función de los resultados obtenidos podrá dar lugar un proceso largo y conflictivo.

Una vez estudiado si los resultados del hormigón objeto de control son fiables y representativos, mediante el análisis del resto de lotes junto con los resultados del fabricante de hormigón, los pasos a seguir serían, por orden, los siguientes[19] (CodE-21, apto 57.7.3):

1. Para hormigones que no dispongan de un DCOR, se dispone de las dos probetas no ensayadas de las amasadas del lote no conforme para hacer una nueva estimación de la resistencia. En el caso de ensayar probetas con más de 28 días, la dirección facultativa debe determinar cual ha sido la evolución de la resistencia de esas probletas en particular y tenerla en cuenta.

   Al respecto, en los comentarios del apartado 57.7.3.2 del CodE-21 se indica: "*El incremento de la resistencia de probetas de hormigón a partir de los 28 días depende de numerosos factores (tipo de cemento, contenido de cemento, curado, etc.)*" por lo que la dirección facultativa debería considerar todos estos factores a la hora de estudiar dicho incremento.

   Por ejemplo, supongamos en el caso de un hormigón HA-30 sin DCOR con resultado no conforme en el control estadístico de la resistencia al ensayar las 3 amasadas que forman el lote y al aplicar el criterio: $x_1 \; K_n \geq f_{ck}$ siendo x_1 el valor más bajo de las

19. Estos criterios son válidos tanto para edificación u obra civil, aunque en el primer caso, en el que los proyectos tienen una misma tipología estructural (cimentación, pilares y elementos horizontales) se puede precisar un criterio específico de actuación posterior.

3 amasadas (x_1 = 32 N/mm²) y k_n = 0,89. La dirección facultativa, antes de rechazar el lote, y como actuación previa a la realización de ensayos de información complementaria, decide recopilar toda la información pertinente por parte del fabricante de hormigón y procede a ensayar las probetas de reserva de las 3 amasadas que componen el lote. Se requiere determinar la resistencia sobre estas 2 probetas a una misma edad (por ejemplo 60 días), lo que da lugar a 3 nuevos resultados (x_1, x_2, x_3).

Amasada 1 = 37,5/36,9 (x_2)
Amasada 2 = 35,7/36,5 (x_1)
Amasada 3 = 41,6/40,4 (x_3)

Con estos resultados, la dirección facultativa quiere estimar la resistencia a 28 días por si ha habido algún error y recalcular el valor de la resistencia de la amasada x_1 que ha dado lugar al incumplimiento del lote, Para ello, se podría utilizar el siguiente criterio como ejemplo:

	x_1	x_2	x_3	media	Criterio: x_1 0,89 ≥ 30
f_{28} (N/mm²)	32,0	35,0	39,0	35,3	28,5 NO
f_{60} (N/mm²)	36,1	37,2	41,0	38,1	32,1
$\Delta_{28\ a\ 60}$ (%)		6,3%	5,1%		
Δ_{medio} (%)		5,7%			
$f_{28,\ corr}$ (N/mm²)	34,0*	35,0	39,0	36,0	30,3 SI

[1] Siendo: f_{60} el valor medio de la resistencia de las dos probetas de reserva de cada amasada ensayadas a la edad de 60 días.

[2] $\Delta_{28\ a\ 60}$ (%): determinando el incremento de la resistencia como: $(f_{60} - f_{28})/f_{28}$.

* $f_{28,\ corr}$ = 36,1-0,057*36,1 = 34,0

A continuación, se aplica de nuevo la función de aceptación del criterio estadístico x_1 Kn ≥ fck a las resistencias a 28 días de las 3 amasadas, siendo x_1 = 34,0 N/mm² y x_1 0,89 = 30,3 N/mm² ≥ 30 N/mm². En este caso, la dirección facultativa toma la decisión de aceptar el lote, tomando en consideración que la resistencia estimada del lote a partir de las resistencias a los 60 días, una vez descontado el incremento de la resistencia, cumple el criterio estadístico que establece el Código Estructural.

2. Realizar ensayos de información complementaria conforme a lo dispuesto en el apartado 57.8 (por iniciativa de Dirección Facultativa, Constructor o Suministrador del hormigón). Si se valora la realización de estos ensayos, es importante decidir qué tipo de ensayo se va a llevar a cabo teniendo en cuenta que serán realizados por un laboratorio acordado por las partes. Los tipos de ensayos, su planificación y su interpretación se abordan en el siguiente apartado de este documento.

3. Estudio de la seguridad real a partir de los resultados obtenidos (por iniciativa de Dirección Facultativa, Constructor o Suministrador del hormigón).

   Si se confirma, con los resultados del apartado anterior, que la resistencia característica estimada se encuentra por debajo de la resistencia característica especificada, es importante comprobar si los resultados obtenidos, suponen o no algún riesgo para la seguridad estructural. Para ello se puede realizar un recálculo de la seguridad estructural de los elementos que forman parte del lote, tomando como característica la real obtenida a partir de los resultados del control o, en su caso, a partir de los ensayos de información complementaria.

4. Realización de pruebas de carga (por iniciativa de Dirección Facultativa) de acuerdo con el apartado 23.2.

La Dirección facultativa valorará la aceptación, refuerzo o demolición tras la aplicación gradual de lo indicado en los apartados anteriores sin perjuicio de las sanciones que fueran contractualmente aplicables y conforme a lo previsto en el correspondiente PPTP.

La indicación de realizar los recálculos de manera posterior a la realización de ensayos de información complementaria implica, lógicamente, el empleo en los cálculos de los valores de resistencia in situ reales en los mismos y la validación de los coeficientes de seguridad resultantes.

3.6.1. Ensayos de información complementaria

Los ensayos de información complementaria, que son el segundo paso a dar para valorar la aceptación, pueden consistir en la rotura de probetas testigo extraídas del hormigón endurecido, conforme a la norma UNE-EN 12504-1, y en el empleo de métodos no destructivos fiables, como complemento a los testigos y debidamente correlacionados con estos. (CodE-21, apto 57.8). Entre los métodos no destructivos pueden considerarse los ensayos relativos a la determinación del índice de rebote (UNE EN 12504-2) y a la velocidad de propagación de ultrasonidos (UNE EN 12504-4).

Probetas testigo de hormigón endurecido

El objeto del estudio es conocer si el hormigón puesto en la estructura (hormigón in situ), es correcto, porque existan dudas bien de la calidad del hormigón suministrado o bien de su puesta en obra. Se deben utilizar criterios de aceptación del hormigón in situ y no del hormigón a pie de obra, u hormigón en probeta normalizada) como, por ejemplo, los que proporciona la UNE-EN 13791:2020, que se presenta resumidamente más adelante.

Como ya se ha referido, antes de comenzar el análisis es fundamental acordar entre las partes el proceso y los criterios para lo toma de decisiones. Es necesario definir con precisión:

i. **Lugares de extracción:** Debe utilizarse toda la información disponible sobre el control de producción y los registros de la obra para determinar las regiones y ubicaciones de ensayo. Corresponde a elementos estructurales que formen parte del lote inicialmente rechazado. La región de ensayo se debe limitar al lote o lotes a valorar y no debe ser superior a 180 m^3. Los testigos deben estar distribuidos de forma homogénea en estos, y deben extraerse de lugares elegidos rigurosamente al azar sin buscar puntos concretos de aparente mejor o peor calidad. No se han de seleccionar puntos muy superficiales o muy profundos (variará su compactación), extrayendo preferiblemente a media altura. Deben evitarse en cualquier caso extracciones a menos de 30 mm de cualquier superficie del elemento, dentro de los 50 mm o en el 20% superior de la tongada (la cantidad que sea mayor) en secciones donde la profundidad de la tongada sea inferior a 1,5 m o en los 300 mm superiores de la tongada cuando su profundidad es de 1,5 m o más. De estos, se debe buscar puntos con la menor densidad de armadura posible con la ayuda de un detector de metales.

ii. **Tamaño de los testigos:** En este sentido, la norma UNE-EN 12504-1:2020 recomienda relaciones longitud/diámetro de los testigos de 2,0 si el resultado va a compararse con probeta cilíndrica o de 1,0 si se compara con probeta cúbica.

La UNE-EN 13791 establece la posibilidad de utilizar testigos con una esbeltez tras el tallado de 2:1 y un diámetro ≥ 75 mm, excepto cuando no resulte práctico, para buscar equivalencias con probetas cilíndricas (que son las utilizadas para las resistencias de referencia en España). De forma ideal, el diámetro de los testigos debería estar cercano a 100 mm.

La utilización de testigos de mayor diámetro tiene una doble ventaja: las resistencias son, generalmente, algo superiores y, además, la dispersión de los resultados es menor. En cualquier caso, el tamaño máximo del árido tiene una influencia significativa en la medida de las resistencias cuando el diámetro del testigo dividido por el tamaño máximo del árido es menor que aproximadamente 3 y es conveniente que las ubicaciones de los testigos sean tales que no contengan refuerzos. Esta recomendación ha llevado a emplear testigos de diámetro más pequeños (en el rango de 50 mm a 70 mm), pero tales mediciones son más variables.

La relación entre resistencias obtenidas con testigos de distintos diámetros con árido 20mm de esbeltez 2:1 (Anexo A de UNE-EN 12504-1:2020) es:

- Al pasar de 25 mm de diámetro a 50 mm: resistencia 20% superior.
- De 50 mm a 100 mm: resistencia 7% superior.

Tabla 7. Requisitos para obtener un resultado en una ubicación de ensayo			
Requisito	Diámetro de testigo 50 mm[a]	Diámetro de testigo ≥75 mm	
Relación altura: diámetro	1:1[b]	2:1	1:1
Nº mínimo de valores de resistencia sobre testigos en una ubicación de ensayo	3	1	1
Resistencia a la compresión in situ en una ubicación de ensayo ($f_{c,is}$)	0,82[c] * (media de $f_{c,testigo\ 1:1}$)	media de $f_{c,testigo\ 2:1}$	0,82[c] * (media de $f_{c,testigo\ 1:1}$)

a) Para diámetros superiores a 50 mm e inferiores a 75 mm, se debería interpolar y especificar el nº mínimo de valores de resistencia sobre testigos.
b) No se proporcionan requisitos para testigos de esbeltez 2:1 con un diámetro de 50 mm
c) Factor de longitud del testigo = 0,82
d) Si se ha tomado un solo testigo $f_{c,is} = f_{c,testigo\ 1:1}$

Es necesario establecer si se utilizarán estas correcciones previamente a la aplicación de la interpretación (por ejemplo, con UNE-EN 13791:2020).

Es, además, posible interceptar armaduras y afectar a los resultados por coeficientes técnicos que las tengan en cuenta. Las armaduras reducen por lo general la resistencia obtenida, y el documento CSTR (Concerte Society Technical Report nº1) permite cuantificar esta disminución. La dispersión siempre será mayor y, por lo tanto, menor la probabilidad de aceptación. La norma UNE-EN 13791:2020 recomienda no utilizar testigos con armadura. En ningún caso será válido utilizar testigos con acero interceptado en dirección paralela a la extracción.

iii. **Procedimiento de extracción de testigos:** Se deben extraer de acuerdo con la norma UNE-EN 12504-1:2020.

iv. **Procedimiento del ensayo de rotura de testigos:** Se deben realizar ensayos de acuerdo con la norma UNE-EN 12390-3:2020. Se recomienda que las actas de laboratorio se acompañen de fotos del testigo antes y después del ensayo. Es importante que los laboratorios dejen registrado las observaciones detectadas a lo largo del proceso de extracción y ensayo. Siempre es conveniente que se calcule la densidad de los testigos.

v. **Nº de testigos a extraer:** El número de testigos a extraer está relacionado con la precisión de los resultados que se obtengan. Garantizar la fiabilidad estructural supondrá, como norma general, que a menor cantidad de resultados haya que tomar decisiones más conservadoras, y a la inversa. Por otra parte, la resistencia de los testigos más pequeños tiene mayor variabilidad y, por tanto, se debe aumentar el número mínimo de testigos para obtener el mismo nivel de confianza en el resultado de ensayo. La norma UNE-EN 13791:2020 permite determinar la resistencia característica in situ en función de la relación altura:diámetro del testigo y del número mínimo de valores tal y como se muestra en la tabla 7.

Para determinar esta resistencia el resultado del ensayo sobre testigo se convierte al valor equivalente de un testigo 2:1 utilizando el factor de longitud del testigo (0,82 a menos que se indique un valor diferente).

vi. **Resultados de resistencia:** Es fundamental tener claro que existen diferencias entre la resistencia obtenida de un testigo (resistencia del testigo), la que posee el hormigón en el elemento sin ser extraído (resistencia in situ) y la obtenida al romper una probeta elaborada y curada de forma normalizada (resistencia a pie de obra o resistencia en central del hormigón suministrado). Los testigos proporcionan

información directa sobre el hormigón in-situ, tal como existe en el elemento en el momento de la extracción, que es el resultado final de la calidad del hormigón suministrado más las operaciones de ejecución y curado, y por tanto estos resultados no son directamente comparables con los obtenidos a partir de probetas cilíndricas empleadas para el control de recepción. Así, en el caso de que las probetas testigo pretendan emplearse para juzgar la calidad del hormigón suministrado a la obra, es recomendable establecer unos coeficientes de conversión adecuados que tengan en cuenta la influencia que tienen en la resistencia de la probeta testigo los siguientes aspectos:

- El nivel de daño causado por el propio proceso de extracción, especialmente si éste se realiza a edades tempranas
- La esbeltez de la probeta testigo, l/d. La resistencia aumenta a medida que disminuye l/d. La presencia de armaduras en el testigo. En general no deberían emplearse testigos que incluyan armaduras, pero si no puede evitarse su empleo debe tenerse en cuenta que la presencia de armaduras modifica la resistencia del testigo.
- La dirección del eje del testigo respecto a la dirección de hormigonado. La resistencia de un testigo extraído horizontalmente respecto a la dirección de hormigonado puede ser inferior a la de un testigo extraído en la misma dirección de hormigonado.
- El contenido de humedad del testigo. La resistencia de un testigo saturado puede ser inferior a la de un testigo ensayado en condición de seco.
- La edad del hormigón en el momento del ensayo.
- El efecto del curado del hormigón en la estructura, por diferencias con las condiciones de curado en condiciones de saturación de las probetas normalizadas. Si la temperatura inicial del hormigón es baja durante las primeras horas, la resistencia aumenta posteriormente a los 28 días respecto a la de hormigones curados todo el tiempo a temperaturas normalizadas, mientras que, si la temperatura es alta en las primeras horas, la resistencia final disminuye.

Es importante, antes de proceder a la realización de testigos, acordar el laboratorio que realizará los ensayos.

El proceso para obtener resultados de aceptación o rechazo del hormigón in situ está en función de la norma utilizada:

a. CodE-21:

En los comentarios al art. 57.8, se recoge que se ha de corregir la resistencia de los testigos por coeficientes

Tabla 8. Criterios para la evaluación basada en datos de ensayos sobre testigos

Nº volúmenes de aproximadamente 30 m³ en la región de ensayo	Nº mínimo de ubicaciones de ensayo para cada volumen[a]	Media de los resultados de ensayos sobre testigos para la región de ensayo[b]	Menor resultado de ensayo[b]
1	3	-----	$\geq 0{,}85\ (f_{ck,spec} - 4)$
2 a 4	2	$\geq 0{,}85\ (f_{ck,spec} + 1)$	$\geq 0{,}85\ (f_{ck,spec} - 4)$
5 a 6	2	$\geq 0{,}85\ (f_{ck,spec} + 2)$	$\geq 0{,}85\ (f_{ck,spec} - 4)$

a) Véase tabla 7 para conocer el nº mínimo de valores de resistencia sobre testigos en una ubicación de ensayo
b) La resistencia del testigo puede expresarse como $f_{c,testigo\ 1:1}$ o como $f_{c,testigo\ 2:1}$ dependiendo del valor seleccionado de $f_{ck,spec}$

relacionados con los aspectos anteriores y que, a falta de datos específicos para cada caso, una práctica habitual es considerar que la resistencia del hormigón medida es al menos un 10% inferior a la obtenida sobre probetas normalizadas. Esta disminución puede ser incluso mayor, especialmente en condiciones de compactación y curado muy desfavorables.

A partir de aquí el CodE-21 no proporciona más indicaciones sobre el número de testigos a extraer por cada lote, ni criterios de aceptación de la resistencia in situ (al no ser directamente comparables con la resistencia a pie de obra), etc.

b. UNE-EN 13791:2020

La norma UNE-EN 13791 en su capítulo 9 recoge la evaluación de la resistencia a compresión del hormigón en caso de duda. Esta norma indica que cada región de ensayo se debe dividir en volúmenes de aproximadamente 30 m^3. Cuando hay menos de 30 m^3, puede tratarse como un solo volumen, siempre que el hormigón se suministre en un solo día y no exista información de que una de las amasadas pueda ser diferente a las demás.

El número mínimo de ubicaciones de ensayo se especifica en la tabla 8.

El objetivo es obtener un resultado en cada ubicación de ensayo a partir de los testigos extraídos. Si se cumplen los dos criterios dados en la tabla 8, se puede aceptar la conformidad de la resistencia para la región de ensayo.

La guía europea para la aplicación de la norma EN 13791 recogida en el technical report TR 17086:2021 muestra en su Anexo A ejemplos prácticos para la evaluación basada en datos de ensayos sobre testigos.

c. Métodos no destructivos

El CodE-21 permite expresamente el uso de estos métodos (índice de rebote y velocidad de los impulsos ultrasónicos, UPV) siempre que se utilicen junto con testigos, y sus valores sean debidamente correlacionados con éstos. Para realizar estos ensayos se utilizan la serie de normas EN 12504, en sus partes 2 y 4.

Una referencia técnica para planificar la campaña e interpretar los resultados la encontraremos en la UNE-EN 13791:2020. Aquí se propone correlacionar previamente a la evaluación, la resistencia a compresión in situ mediante testigos y la resistencia de los ensayos no destructivos en los mismos puntos.

Esta norma recoge que el hormigón sometido a investigación se debe dividir en regiones de ensayo que no excedan 180 m^3 y que el número de ubicaciones de ensayo para mediciones mediante ensayos indirectos en la región de ensayo[20] debe ser al menos el que figura en la tabla 9.

Asimismo, se especifica que se debe obtener un resultado de ensayo sobre testigos en las ubicaciones de ensayo especificadas tal y como muestra la tabla 10.

Si se cumplen los dos criterios dados en la tabla 10, se puede aceptar la conformidad de la resistencia a la compresión para la región de ensayo sometida a investigación.

La guía europea para la aplicación de la norma EN 13791 recogida en el technical report TR 17086 muestra en su Anexo A ejemplos prácticos para la evaluación basada en datos de ensayos indirectos.

20. Por ejemplo, para una región de ensayo de 100 m^3 el nº de ubicaciones de ensayos indirectos sería de 10.

Tabla 9. Número mínimo de ubicaciones de ensayo	
Nº volúmenes de aproximadamente 30 m³ en la región de ensayo	**Nº mínimo de ubicaciones de ensayos indirectos**
1	9
2 a 4	12
5 a 6	20
a) Si el volumen comprende una superficie grande, los ensayos indirectos deberían aumentarse para que sean representativos de las variaciones dentro de la región de ensayo	

Tabla 10. Ubicaciones para la extracción de testigos seleccionados y criterios de evaluación			
Nº volúmenes de de 30 m³ en la región de ensayo	**Nº mínimo de ubicaciones de ensayo para la extracción de testigos[a]**	**Media de los resultados sobre testigos en las ubicaciones más próximas a la mediana del índice de rebote o a la media de UPV en la región de ensayo[b]**	**Menor resultado de ensayo[b]**
1	Un testigo en cada uno de los valores más bajos de ensayos indirectos en la región de ensayo	-----	$\geq 0{,}85\ (f_{ck,spec} - 4)$
2 a 4	Un testigo en el valor más bajo de los ensayos indirectos en la región de ensayo y un testigo en cada una de las dos ubicaciones de ensayo más próximas a la mediana del índice de rebote o a la media de UPV en la región de ensayo	$\geq 0{,}85\ (f_{ck,spec} + 1)$	$\geq 0{,}85\ (f_{ck,spec} - 4)$
5 a 6		$\geq 0{,}85\ (f_{ck,spec} + 2)$	$\geq 0{,}85\ (f_{ck,spec} - 4)$
a) Véase tabla 7 para conocer el nº mínimo de valores de resistencia sobre testigos en una ubicación de ensayo. b) La resistencia del testigo puede expresarse como $f_{c,testigo\ 1:1}$ o como $f_{c,testigo\ 2:1}$ dependiendo del valor seleccionado de $f_{ck,spec}$			

ANEXO I.
Ejemplos de lotificación y control de aceptación. Comparación del proceso según el CodE-21 sin DCOR, con DCOR y con dispersión certificada

En este apartado se pretenden analizar datos reales de una obra con los criterios del CodE-21.

Se trata de una estructura de hormigón de un edificio de 7 plantas en el que se suministró un único HA-25/F/20/XC2 para las siguientes aplicaciones:

- 257 m^3 iban destinados a cimentaciones.
- 161 m^3 (correspondientes a 300 m^2 de superficie) para muros portantes y pilares[21].
- 619 m^3 (correspondientes a 3390 m^2) para vigas y forjados[21].

1. Lotificación

Para determinar los lotes, los volúmenes, superficies, tiempos de ejecución y plantas serían:

Totales	Pilares + muros	Vigas + forjados	Cimentaciones
Volumen (m^3)	161	619	257
Semanas	13	13	2
Superficie (m^2)	300	3390	-----
Plantas	7	7	-----

a. Hormigón sin DCOR

Los lotes para hormigón sin DCOR resultaron ser, en total, 16, según se puede observar de la siguiente tabla, donde se dividen los datos de la anterior entre los de la tabla de tamaños máximos de lote (apartado 57.5.1 del CodE-21), se redondean por exceso y se selecciona, por cada fila , el valor mayor:

21. En caso de conocer el volumen de cada elemento por separado (pilares de muros y vigas de forjados), se puede considerar separar los lotes, de esta manera se tiene más acotada la trazabilidad en caso de lote no conforme. Esto no impide que se pueda considerar su agrupación para tener los 35 resultados necesarios para calcular S_{35} y poder aplicar a cada lote posterior el Caso 2.

	Volumen	Tiempo hormigonado	Nº de elementos	Lotes (valor mayor)
Pilares y muros portantes	161 / 100 -> 2	13 / 2 -> 7	300 / 500 -> 1 7 / 2 -> 4	7
Vigas y forjados	619 / 100 -> 7	13 / 2 -> 7	3.390 / 1.000 -> 4 7 / 2 -> 4	7
Cimentaciones	257 vertido continuo	2 / 1 -> 2	1 / 1 -> 1	2

Para este hormigón sin DCOR se realizan controles a 3 camiones (3 amasadas) por lote para pilares + muros (si se consideran juntos) y otros 3 para vigas + forjados (si se consideran juntos) . Para cimentaciones el número de amasadas a controlar será V/35 = 257/35 = 7,3 = 8.

Es decir, 14 lotes x 3 camiones + 2 lotes x 8 camiones controlados = 58 amasadas y 232 probetas obligatorias (2 probetas a 28 días y 2 probetas de reserva).

b. Hormigón con DCOR

En el supuesto de que el hormigón suministrado estuviera en posesión de DCOR , tal y como indica el CodE-21 (aptdo 57.5.1) se aumenta el tamaño del lote multiplicando los valores por 5.

Los resultados serían:

	Volumen	Tiempo hormigonado*	Nº de elementos	Lotes (valor mayor)
Pilares y muros portantes	161 / 500 -> 1	13 / 6 -> 3	300 / 2.500 -> 1 7 / 10 -> 1	3
Vigas y forjados	619 / 500 -> 2	13 / 6 -> 3	3.390 / 5.000 -> 1 7 / 10 -> 1	3
Cimentaciones	257 vertido continuo	2 / 5 -> 1	1 / 1 -> 1	1

*El tiempo máximo de hormigonado se limita a 6 semanas

Es decir, 6 lotes x 1 camión controlado por cada lote para pilares + muros (si se consideran juntos) y vigas + forjados (si se consideran juntos). Para el lote correspondiente a cimentaciones el número de amasadas será de 3 (V/105 = 257/105), en total 9 camiones a controlar. El nº de probetas, si se considera tomar también para un hormigón con DCOR las 2 probetas de reserva, será de 36.

c. Hormigón con dispersión certificada

Si se trata del suministro de un hormigón con dispersión certificada, tal y como indica el CodE-21 se aumenta el tamaño del lote multiplicando los valores por 2.

Los resultados serían:

	Volumen	Tiempo hormigonado*	Nº de elementos	Lotes (valor mayor)
Pilares y muros portantes	161 / 200 -> 1	13 / 4 -> 4	300 / 1000 -> 1 7 / 4 -> 2	4
Vigas y forjados	619 / 200 -> 4	13 / 4 -> 4	3.390 / 2.000 -> 2 7 / 4 -> 2	4
Cimentaciones	257 vertido continuo	2 / 2 -> 1	1 / 1 -> 1	1

Es decir, 8 lotes x 3 camiones controlados para pilares + muros (si se consideran juntos) y vigas + forjados (si se consideran juntos). Para cimentaciones el número de amasadas será de 8 (V/35 = 257/35). En total 32 camiones a controlar.

En resumen, a continuación, se muestra la comparativa de los tres casos:

Hormigón	Nº lotes	Nº total amasadas a controlar	Nº probetas
Sin DCOR	16	58	232
Con DCOR	7	9	36*
Con dispersión certificada	9	32	128

*Considerando también en este caso las 2 probetas de reserva

2. Control del hormigón según CodE-21

Supongamos ahora que nos centramos en el control del hormigón correspondiente a los elementos (si se consideran juntos):

- Pilares y muros portantes
- Vigas y forjados

Los resultados obtenidos resultan de la media de 2 probetas rotas a 28 días (n_{28}=2).

La decisión de aceptación del hormigón estará condicionada a la comprobación de su conformidad, aplicando los criterios establecidos en el CodE-21.

a. Caso CodE-21 sin DCOR

Supongamos que se ha establecido previamente que el criterio a utilizar es el que corresponde a un mismo tipo de hormigón sin DCOR suministrado de forma continua por la misma central de hormigón preparado en los que se controlan en la obra más de treinta y seis amasadas (CASO 2). Hasta disponer de 36 resultados, se empezaría utilizando el caso 3, es decir, teniendo en cuenta que existen 3 valores en cada lote, los lotes del 1 hasta el 12 se evaluarían con el caso 3, y los lotes 13 y 14 con el caso 2 teniendo en cuenta la correspondiente desviación S_{35}.

2	$f(\overline{x}) = \overline{x} - 1.66 s_{35} \geq f_{ck}$	Se han controlado más de 36 amasadas
3	$f(x_1) = x_1 K_n \geq f_{ck}$	Hasta la 36ª amasada

Para el caso 3, la Kn toma el valor de 0,89 al tratarse de N=3. Veamos los resultados de aceptación o rechazo:

	Camión 1 (media de 2 probetas)	Camión 2 (media de 2 probetas)	Camión 3 (media de 2 probetas)	Resistencia obtenida según el caso aplicado	Caso CodE-21
LOTE 1	38,2	35,7	29,4	26,2	3
LOTE 2	34,5	28,3	31,2	25,2	3
LOTE 3	27,6	31,7	30,6	24,6	3
LOTE 4	30,5	35,3	39,4	27,1	3
LOTE 5	31,9	30,4	38,0	27,1	3
LOTE 6	38,1	29,6	34,5	26,3	3
LOTE 7	33,8	35,6	32,3	28,7	3
LOTE 8	33,9	32,3	34,3	28,7	3
LOTE 9	35,9	33,9	28,1	25,0	3
LOTE 10	35,0	36,1	27,8	24,7	3
LOTE 11	35,2	33,7	34,9	30,0	3
LOTE 12	37,7	40,0	34,8	31,0	3
LOTE 13	33,7	42,5	35,7	31,8	2
LOTE 14	34,3	32,2	31,1	26,6	2

Nótese que todos los resultados individuales son superiores a la resistencia característica (x_i > 25 MPa) pero se puede observar que no cumplen el criterio de aceptación 2 de los 14 lotes. Es decir, 2 lotes con resultados individualmente correctos no serían aceptados de manera automática con el CodE-21.

b. Caso CodE-21 con DCOR

Aplicar los criterios de aceptación para el caso de hormigón con DCOR requeriría, en primer lugar, cambiar el número de lotes y el de camiones controlados por lote, además del criterio de recepción (que pasaría a ser de mera identificación).

Aun así, veremos qué pasaría en obra si este hormigón como tal llegara con un distintivo.

Supongamos ahora el caso anteior cuya lotificación (tabla 2) ha dado lugar a 6 lotes controlados únicamente por 1 amasada. Partimos de todos los resultados del Caso sin DCOR con onbjeto de analizar y comparar ambos casos. En pos de una justa comparación podemos tomar valores al azar y comprobar si las muestras son aceptables. Es decir, de los 48 valores controlados, tomar sólo 6 y comparar indivividualmente el valor con la característica (25 MPa).

$$x_i \geq f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

En este caso real, todos las posibles elecciones de 6 al azar serían favorables, ya que todos los resultados individuales son superiores a 25 MPa).

Es decir, en el 100% de las múltiples posibilidades, este hormigón sería correctamente identificado en obra.

c. Caso CodE-21 con dispersión certificada

Al igual que en el caso anterior supongamos ahora una lotificación que ha dado lugar a 8 lotes y además que por tener dispersión certificada el criterio de aceptación es el CASO 1.

Caso de control estadístico	Criterios de aceptación	Observaciones
1	$f(\bar{x}) = \bar{x}-(1-1.66\ \delta^*) \geq f_{ck}$	Hormigones con la dispersión certificada dentro del alcance de certificación de un distintivo de calidad oficialmente reconocido

Para analizar los mismos lotes que en los casos anteriores podríamos tomar de los 14 lotes considerados en el caso del hormigón sin DCOR, 8 lotes al azar y aplicar el criterio para distintos δ* certificados.

Por ejemplo para valores δ* de 9%, 11% y 13%

	Camión 1 (media de 2 probetas)	Camión 2 (media de 2 probetas)	Camión 3 (media de 2 probetas)	Resistencia obtenida		
				δ* = 9%	δ* = 11%	δ* = 13%
LOTE 1	38,2	35,7	29,4	29,3	25,7	22,1
LOTE 2	34,5	28,3	31,2	26,7	23,5	21,3
LOTE 3	27,6	31,7	30,6	25,5	23,9	20,9
LOTE 4	30,5	35,3	39,4	29,8	28,5	25,5
LOTE 5	31,9	30,4	38,0	28,4	26,4	24,3
LOTE 6	38,1	29,6	34,5	29,0	26,4	23,2
LOTE 7	33,8	35,6	32,3	28,8	25,4	22,9
LOTE 8	33,9	32,3	34,3	28,5	25,9	23,2
LOTE 9	35,9	33,9	28,1	27,8	24,5	21,0
LOTE 10	35,0	36,1	27,8	28,0	25,1	21,1
LOTE 11	35,2	33,7	34,9	29,4	26,7	23,8
LOTE 12	37,7	40,0	34,8	31,9	29,1	25,0
LOTE 13	33,7	42,5	35,7	31,7	30,0	25,5
LOTE 14	34,3	32,2	31,1	27,7	24,8	21,8

En este caso real, la aceptación de lotes depende del coeficiente de variación δ.

3. Control del hormigón según EHE-08

a. Caso EHE-08 sin DOR

A modo de ejemplo, supongamos que la obra se siguiera controlando con respecto a la EHE-08 para lo cual el nº de lotes es el siguiente:

	Volumen	Tiempo hormigonado	Nº de elementos	Lotes (valor mayor)
Pilares y muros portantes	161 / 100 -> 2	13 / 2 -> 7	300 / 500 -> 1	7
Vigas y forjados	619 / 100 -> 7	13 / 2 -> 7	3.390 / 1.000 -> 4	7
Cimentaciones	257 / 100 -> 3	2 / 1 -> 2	1 / 1 -> 1	3

Supongamos que nos centramos también en el control del hormigón correspondiente a los elementos: pilares y muros portantes , vigas y forjados.

En este caso, se ha establecido previamente que el criterio a utilizar es el que corresponde al CASO 3 de la EHE-08 y que se recoge a continuación. En esta situación se empezaría utilizando el caso 2 hasta disponer de 36 resultados. Es decir, teniendo en cuenta que existen 3 valores en cada lote, los lotes del 1 hasta el 12 se evaluarían con el caso 2, y los lotes 13 y 14 con el caso 3 teniendo en cuenta la correspondiente desviación.

CASO 2: $\bar{x} - 1{,}02\, r_n \geq f_{ck} = 25$ MPa

CASO 3: $x_{(1)} - 0{,}85\, S_{35} \geq f_{ck} = 25$ MPa

En el caso 3, el criterio de aceptación debe aplicarse con la desviación típica de las últimas 35 amasadas, sin incluir las del lote.

Veamos los resultados de aceptación o rechazo:

	Camión 1 (media de 2 probetas)	Camión 2 (media de 2 probetas)	Camión 3 (media de 2 probetas)	Resistencia obtenida según el caso aplicado	Caso EHE-08
LOTE 1	38,20	35,70	29,40	25,46	2
LOTE 2	34,50	28,30	31,00	24,94	2
LOTE 3	27,60	31,70	30,60	25,78	2
LOTE 4	30,50	35,30	39,40	25,99	2
LOTE 5	31,90	30,40	38,00	25,68	2
LOTE 6	38,10	29,60	34,50	25,40	2
LOTE 7	33,80	35,60	32,30	30,53	2
LOTE 8	33,90	32,30	34,30	31,46	2
LOTE 9	35,90	33,90	28,10	24,68	2
LOTE 10	35,00	36,10	27,80	24,50	2
LOTE 11	35,20	33,70	34,90	33,07	2
LOTE 12	37,70	40,00	34,80	32,20	2
LOTE 13	33,70	42,50	35,70	30,89	3
LOTE 14	34,30	32,20	31,10	28,08	3

No aceptándose automáticamente 3 de los 14 lotes. Es decir, 3 lotes con resultados individualmente correctos serían en un principio rechazados con la EHE-08, no teniendo por qué coincidir con los lotes rechazados según el CodE-21.

IECA
INSTITUTO ESPAÑOL DEL CEMENTO
Y SUS APLICACIONES

Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones
C/ José Abascal, 53 - 1º · 28003 Madrid
Tel.: (+34) 91 441 16 88
Email: info@ieca.es
www.ieca.es