



ANEJO 15

Recomendaciones para la utilización de hormigones reciclados

1 Alcance

Se define a los efectos de este Anejo como hormigón reciclado (HR), el hormigón fabricado con árido grueso reciclado procedente del machaqueo de residuos de hormigón.

Para su aplicación en hormigón estructural, este Anejo recomienda limitar el contenido de árido grueso reciclado al 20% en peso sobre el contenido total de árido grueso. Con esta limitación, las propiedades finales del hormigón reciclado apenas se ven afectadas en relación a las que presenta un hormigón convencional, siendo necesaria, para porcentajes superiores, la realización de estudios específicos y experimentación complementaria en cada aplicación. En el Anejo se dan indicaciones sobre algunas de las propiedades del hormigón que pueden verse afectadas con sustituciones superiores al límite indicado.

En este documento se desarrollan únicamente aquellas consideraciones que complementan las prescripciones incluidas en los distintos artículos de la Instrucción, o que incluso en algunos casos las sustituyen, manteniéndose vigentes el resto de prescripciones, que no entren en contradicción con las recogidas en el Anejo.

El árido reciclado puede emplearse tanto para hormigón en masa como hormigón armado de resistencia característica no superior a 40 N/mm², quedando excluido su empleo en hormigón pretensado.

Quedan fuera de los objetivos de este anejo:

- Los hormigones fabricados con árido fino reciclado.
- Los hormigones fabricados con áridos reciclados de naturaleza distinta del hormigón (áridos mayoritariamente cerámicos, asfálticos, etc).
- Los hormigones fabricados con áridos reciclados procedentes de estructuras de hormigón con patologías que afectan a la calidad del hormigón tales como álcali-árido, ataque por sulfatos, fuego, etc.
- Hormigones fabricados con áridos reciclados procedentes de hormigones especiales tales como aluminoso, con fibras, con polímeros, etc.

2 Complementos al texto de esta Instrucción

Seguidamente se indican, por referencia a los Títulos, Capítulos, Artículos y Apartados de esta Instrucción (con objeto de facilitar su seguimiento), recomendaciones para el empleo de hormigones reciclados.



TÍTULO 1º BASES DE PROYECTO

CAPÍTULO III. Acciones

Artículo 10.º Valores característicos de las acciones

10.2 *Valores característicos de las acciones permanentes*

En el caso de hormigones reciclados con un porcentaje de árido reciclado menor o igual al 20%, los valores característicos del peso propio se obtienen a partir de los mismos valores de densidades que establece la Instrucción:

- Hormigón en masa 2.300 kg/m³
- Hormigón armado 2.500 kg/m³

Para porcentajes de árido grueso reciclado superiores al 20%, la densidad resultante del hormigón reciclado es inferior a la de un hormigón convencional por la menor densidad que presenta el árido reciclado, a causa del mortero que permanece adherido al árido natural. Cuanto mayor es el porcentaje de árido reciclado utilizado menor será la densidad del hormigón. Así, para sustituciones totales del árido grueso, los descensos se sitúan entre el 5-15% de la densidad de un hormigón convencional.

TÍTULO 3.º PROPIEDADES TECNOLÓGICAS DE LOS MATERIALES

CAPÍTULO VI. Materiales

Artículo 26.º Cementos

Los tipos de cemento utilizados en la fabricación de hormigones con áridos reciclados serán los mismos que se emplean en un hormigón convencional para las mismas aplicaciones.

Artículo 28.º Áridos

28.1 Generalidades

La combinación de árido grueso natural y reciclado ha de satisfacer las especificaciones recogidas en el Artículo 28º de la Instrucción. En este Anejo se establecen los requisitos que deben cumplir los áridos gruesos reciclados, así como aquellas especificaciones que se deben exigir a los áridos naturales para que la mezcla de ambos cumpla los requisitos del Artículo 28º.

En general se emplearán para los áridos reciclados los métodos de ensayo incluidos en la Instrucción, aunque en algunos casos pueden ser necesarias modificaciones, tal como se indica en los apartados correspondientes.

En la fabricación de hormigones reciclados se podrán emplear áridos naturales rodados o procedentes de rocas machacadas.



Se considera que los áridos reciclados obtenidos a partir de hormigones estructurales sanos, o bien de hormigones de resistencia elevada, son adecuados para la fabricación de hormigón reciclado estructural, aunque deberá comprobarse que cumplen las especificaciones exigidas en los siguientes apartados.

Las partidas de árido reciclado deben disponer de un documento de identificación de los escombros de origen que incluya los siguientes aspectos:

- naturaleza del material (hormigón en masa, armado, mezcla de hormigón, etc),
- planta productora del árido y empresa transportista del escombro,
- presencia de impurezas (cerámico, madera, asfalto),
- detalles sobre su procedencia (origen o el tipo de estructura de la que procede),
- cualquier otra información que resulte de interés (causa de la demolición, contaminación de cloruros, hormigón afectado por reacciones álcali-árido, etc).

Se deberán establecer acopios separados e identificados para los áridos reciclados y los áridos naturales.

Es aconsejable que los áridos reciclados procedentes de hormigones de muy distintas calidades se almacenen separadamente, debido a que la calidad del hormigón de origen influye en la calidad del árido reciclado, obteniéndose áridos con mejores propiedades a partir de hormigones de buena calidad. Una posible distinción puede ser almacenar en acopios separados los escombros procedentes de hormigón estructural o de elevada resistencia y los procedentes de hormigones no estructurales, permitiendo así una mayor uniformidad en las propiedades de los áridos producidos.

28.2 Designación de los áridos

Los áridos reciclados se designarán con el formato que se recoge en el Artículo 28 de la Instrucción, y en el apartado "Naturaleza" se denominarán "R".

28.3 Tamaños máximo y mínimo de un árido

El tamaño mínimo permitido de árido reciclado es de 4 mm.

28.4 Granulometría de los áridos

Las plantas productoras de árido reciclado consiguen en general una fracción gruesa con un coeficiente de forma, índice de lajas y una granulometría adecuadas dentro de los husos recomendables para su empleo en hormigón estructural.

Los áridos reciclados deberán presentar un contenido de desclasificados inferiores menor o igual al 10% y un contenido de partículas que pasan por el tamiz de 4 mm no superior al 5%.

El contenido de desclasificados inferiores del árido reciclado suele ser superior al de los áridos naturales, debido a que éstos pueden generarse después del tamizado, durante el almacenamiento y transporte, por su mayor friabilidad. Además, la fracción fina reciclada se caracteriza por presentar un elevado contenido de mortero, lo cual origina unas peores propiedades que afectan negativamente a la calidad del hormigón. Esta es la principal causa de restringir su uso en la aplicación de hormigón estructural.



28.6 Requisitos físico mecánicos

En hormigón reciclado con un contenido no superior al 20% de árido reciclado, el contenido de terrones de arcilla de éste no será superior al 0,6%, y el del árido grueso natural no superior al 0,15%.

Si el hormigón reciclado incorpora cantidades de árido reciclado superiores al 20%, habrá que extremar las precauciones durante su producción para eliminar al máximo las impurezas de tierras que lleve la materia prima, y así facilitar que el árido combinado cumpla la especificación de la Instrucción. En el caso extremo de utilizar un 100% de árido grueso reciclado, éste debe cumplir la especificación máxima del 0,25% de terrones de arcilla.

28.6.1 Condiciones físico-mecánicas (este apartado no se corresponde con ninguno del articulado)

En el hormigón reciclado con un contenido de árido reciclado no superior al 20%, éste deberá tener una absorción no superior al 7%. Adicionalmente, el árido grueso natural deberá tener una absorción no superior al 4,5%.

Para la resistencia al desgaste de la grava se mantiene el mismo requisito que para los áridos naturales (coeficiente de Los Ángeles no superior al 40%).

En hormigones reciclados con más del 20% de árido reciclado, la combinación de árido grueso natural y reciclado debería cumplir la especificación que establece la Instrucción, presentando un coeficiente de absorción no superior al 5%.

Como control rápido en la planta de producción, que permita estimar la absorción del árido reciclado, se puede realizar un ensayo de absorción a los 10 minutos, que debería ser inferior a 5,5% para aplicaciones de árido reciclado no superiores al 20%.

En el caso de hormigones sometidos a ambientes de helada, para determinar la pérdida de peso máxima experimentada por los áridos reciclados al ser sometidos a ciclos de tratamiento con soluciones de sulfato magnésico, se deberá realizar una preparación previa de la muestra, que consistirá en un lavado y tamizado enérgico por el tamiz de abertura 10 mm, para eliminar todas las partículas friables, previamente al procedimiento de ensayo descrito en la norma UNE-EN 1367 Parte 2. El límite al resultado del ensayo que establece la Instrucción para los áridos naturales será también de aplicación para los áridos gruesos reciclados.

28.7 Requisitos químicos

Se mantienen las especificaciones del Articulado relativas al contenido de cloruros, contenido de sulfatos

Los áridos reciclados pueden incorporar impurezas y contaminantes que influyen negativamente en las propiedades del hormigón. Estos contaminantes pueden ser muy variados, como plástico, madera, yeso, ladrillo, vidrio, materia orgánica, aluminio, asfalto, etc. Estas impurezas producen en todos los casos un descenso de resistencia en el hormigón. Además, y dependiendo del tipo de impureza, se pueden presentar otros problemas como reacciones álcali-árido (vidrio), ataque por sulfatos (yeso), desconchados superficiales (madera o papel), elevada retracción (tierras arcillosas) o mal comportamiento hielo-deshielo (algunos cerámicos).

Se deberá controlar en el árido reciclado el contenido de impurezas, estableciendo los valores máximos recogidos en la tabla A15.1:



TABLA A.15.*1
Impurezas máximas en el árido reciclado

Elementos	Max. contenido de impurezas % del peso total de la muestra
Material cerámico	5
Partículas ligeras	1
Asfalto	1
Otros materiales (vidrio, plásticos, metales, etc).	1,0

28.7.1 Cloruros

Los áridos reciclados pueden presentar un contenido apreciable de cloruros, en función de la procedencia del hormigón usado como materia prima, especialmente en hormigones procedentes de obras marítimas, puentes o pavimentos expuestos a las sales para el deshielo. Asimismo, los hormigones en los que se hayan utilizado aditivos acelerantes pueden también contener una elevada cantidad de cloruros.

Se recomienda determinar el contenido de cloruros totales en vez del contenido de cloruros solubles en agua, aplicando el mismo límite que establece la Instrucción para este último. Esto es debido a la posibilidad de que haya ciertos cloruros combinados que en ciertas circunstancias puedan ser reactivos y atacar las armaduras. Para la determinación de los cloruros totales en el árido reciclado puede utilizarse la UNE-EN196-2.

28.7.4 Materia orgánica Compuestos que alteran la velocidad de fraguado y el endurecimiento del hormigón.

El método de ensayo de UNE-EN 1744-1, para la determinación del contenido de partículas ligeras, presenta diversos problemas cuando se utiliza en áridos reciclados, al enturbiarse la solución con partículas de tierra y variar su densidad, debiéndose proceder a un lavado previo de la muestra y posterior desecado antes de la realización del ensayo.

28.7.6 Reactividad álcali-árido

Los áridos reciclados no presentarán reactividad potencial con los alcalinos del hormigón. Para el caso de los áridos reciclados procedentes de un único hormigón de origen controlado, entendiendo como tales hormigones de composición y características conocidas, se deberán realizar las comprobaciones indicadas en el articulado de la Instrucción. En el



caso de áridos reciclados procedentes de distintos hormigones de origen, éstos deben considerarse potencialmente reactivos.

Artículo 29º Aditivos

En hormigones reciclados con sustitución mayor al 20%, la utilización de aditivos que modifiquen la reología es recomendable para la mejora de la trabajabilidad, compensando la mayor absorción de agua del árido reciclado si éste se utiliza en estado seco.

Artículo 30º Adiciones

Las adiciones podrán utilizarse en los mismos términos indicados en el articulado.

TÍTULO 4.º DURABILIDAD

CAPÍTULO VII. Durabilidad

Artículo 37.º Durabilidad del hormigón y de las armaduras

37.2.4. *Recubrimientos*

La Instrucción establece unos recubrimientos mínimos de hormigón en función de la resistencia del mismo y de la clase de exposición, que serán de aplicación para los hormigones con un contenido de árido reciclado no superior al 20%.

Para hormigones con mayor contenido de árido reciclado se podrán también mantener los recubrimientos de la Instrucción si las dosificaciones adoptadas de hormigón garantizan, para ambientes agresivos y mediante los estudios pertinentes, una durabilidad similar a la que la Instrucción pide al hormigón convencional en cada ambiente, según se indica en el artículo 37.3.

Sólo en el caso de mantener las mismas dosificaciones que para el hormigón convencional podría ser necesario disponer mayores recubrimientos para compensar el aumento de porosidad del hormigón reciclado, según los estudios específicos que se realicen en cada caso.

37.3. Durabilidad del hormigón

La durabilidad del hormigón reciclado con un porcentaje de árido reciclado no superior al 20% es similar a la que presenta un hormigón convencional, por lo que son de aplicación las prescripciones recogidas en el articulado.

Sin embargo, la mayor porosidad del árido reciclado hace al hormigón reciclado que lo incorpora más susceptible a sufrir los efectos del ambiente, por lo que se deberán tomar medidas especiales cuando se utilice en ambientes agresivos y en porcentajes superiores al 20% de árido reciclado. Este comportamiento deberá tenerse en cuenta en la dosificación de la mezcla, mediante un incremento en el contenido de cemento o una disminución de la relación agua/cemento. Otra posibilidad es aumentar el recubrimiento de las armaduras necesario en determinados ambientes agresivos.



37.3.2. Limitaciones a los contenidos de agua y cemento

En hormigón reciclado con más de un 20% de árido reciclado, los valores recogidos en la Tabla 37.3.2.a pueden ser insuficientes, siendo recomendable ajustar la dosificación de forma que se cumplan los requisitos referentes al resultado del ensayo de penetración de agua, según se recoge en el artículo, para todas las clases de exposición excepto la I y IIb.

Para sustituciones de árido reciclado superiores al 20%, las resistencias mínimas compatibles con los requisitos de durabilidad pueden ser superiores a las que se recogen en la tabla 37.3.2.b.

37.3.4. Resistencia del hormigón frente a la helada

Cuando el hormigón reciclado esté sometido a una clase de exposición H ó F, el árido reciclado deberá cumplir la especificación relativa a la estabilidad de los áridos frente a soluciones de sulfato sódico o magnésico.

Cuando el hormigón reciclado esté sometido a una clase de exposición H ó F, se deberá introducir un contenido mínimo de aire ocluido del 4,5%.

En el caso de hormigones con más de un 20% de árido reciclado, se deberán realizar ensayos específicos con la dosificación del hormigón reciclado adoptada.

37.3.5. Resistencia del hormigón frente al ataque por sulfatos

En este tipo de clase de exposición, la utilización del árido reciclado está condicionada a que se conozca la procedencia del hormigón de origen, debiendo éste haber sido fabricado con cementos resistentes a los sulfatos.

37.3.6. Resistencia del hormigón frente al ataque del agua de mar

En este tipo de clase de exposición, la utilización del árido reciclado está condicionada a que se conozca la procedencia del hormigón de origen, debiendo éste haber sido fabricado con cementos resistentes al agua de mar.

37.3.7. Resistencia del hormigón frente a la erosión

El árido reciclado debe cumplir las especificaciones que recoge el articulado relativas al coeficiente de Los Ángeles, que debe ser inferior al 30%.

La limitación establecida para el coeficiente de Los Ángeles es difícil de cumplir en los áridos reciclados, ya que éstos suelen presentar un mayor desgaste debido al mortero adherido.

37.3.8. Resistencia del hormigón frente a la reactividad álcali-árido

En ambientes de exposición húmedos, aquellos distintos al I y IIb, se recomienda utilizar áridos reciclados procedentes de un único hormigón de origen controlado, según se recoge en el artículo 28.7.6 del presente Anejo. En este caso, los ensayos de reactividad se llevarán a cabo sobre la mezcla de árido reciclado y natural que se vaya a utilizar en la obra.



En estos ambientes, y en el caso de utilizar áridos reciclados de distintas procedencias, como precaución se tomarán las medidas que establece la Instrucción para la utilización de áridos potencialmente reactivos.

37.4. Corrosión de las armaduras

Al igual que en otras propiedades, los hormigones con un contenido de árido reciclado no superior al 20% presentan un comportamiento adecuado frente a la corrosión.

Para hormigones con porcentajes de árido reciclado superiores al 20%, la protección frente a la corrosión es inferior que la que ofrece un hormigón convencional con la misma dosificación, por lo que se recomienda la realización de ensayos específicos en cada caso.

TÍTULO 5.º CÁLCULO

CAPÍTULO VIII. Datos de los materiales para el proyecto

Artículo 39. Características del hormigón

39.1. Definiciones

Para hormigón reciclado con un porcentaje de árido grueso reciclado no superior al 20% se pueden utilizar las fórmulas del articulado para el cálculo de la resistencia a tracción. Para porcentajes de sustitución mayores del 20% esta propiedad se ve poco afectada, aunque se recomienda la realización de ensayos en cada caso.

39.2. Tipificación de los hormigones

La sigla T indicativa del tipo de hormigón será HRM ó HRA para el caso de hormigones en masa o armados, respectivamente, fabricados con árido reciclado. En cuanto a la resistencia característica, se recomienda utilizar la serie incluida en el articulado con el límite superior de 40 N/mm².

39.5. Diagrama tensión-deformación de cálculo del hormigón

El diagrama del articulado es válido para los hormigones reciclados con un porcentaje de sustitución del árido grueso no superior al 20%.

Para porcentajes de árido reciclado superiores al 20%, hay dos aspectos del diagrama tensión-deformación que pueden verse afectados:

- Por una parte se produce un aumento de la deformación en pico ε_{c1} a medida que aumenta el porcentaje de árido reciclado, debido a la mayor deformabilidad de estos áridos.
- Por otra parte, se pueden acusar mayores pérdidas de resistencia, en comparación con el hormigón convencional, en ensayos bajo cargas sostenidas.

Por tanto, en estos casos se recomienda la realización de estudios específicos para fijar el diagrama de cálculo que se debe utilizar.



39.6. Módulo de deformación longitudinal del hormigón

La fórmula y las tablas de los comentarios del articulado para calcular el módulo de deformación longitudinal del hormigón, son válidas para hormigones con un porcentaje de árido grueso reciclado no superior al 20%.

Para sustituciones de árido reciclado por encima del 20%, el módulo de deformación longitudinal disminuye progresivamente al aumentar el porcentaje de árido reciclado.

Como valor orientativo, y para un 100% de árido grueso reciclado, el módulo del hormigón será 0,8 veces el del hormigón convencional. Sin embargo, y debido a la variación de la calidad de los áridos reciclados, se puede producir una gran dispersión en el valor del módulo (pudiéndose presentar valores incluso inferiores al apuntado), lo que aconseja realizar ensayos en cada caso.

39.7. Retracción del hormigón

La fórmula y las tablas del articulado, así como sus comentarios, para estimar la retracción del hormigón son válidos para sustituciones de árido grueso reciclado no superiores al 20%.

Para sustituciones de árido reciclado por encima del 20%, la retracción aumenta progresivamente al aumentar el porcentaje de árido reciclado. Como valor orientativo, y para un 100% de árido grueso reciclado, la retracción será 1,5 veces la de un hormigón convencional. Debido a la fluctuación de la calidad de los áridos reciclados, se puede producir una gran dispersión en el valor de la retracción (pudiéndose presentar valores superiores al indicado), por lo que se aconseja realizar ensayos en cada caso.

39.8. Fluencia del hormigón

La fórmula y las tablas del articulado, así como sus comentarios, para estimar la fluencia del hormigón son válidos para sustituciones de árido grueso reciclado no superiores al 20%.

Para sustituciones de árido reciclado por encima del 20%, la fluencia aumenta progresivamente al aumentar el porcentaje de árido reciclado. En el cálculo de la misma, este efecto se refleja a través de la disminución que experimenta el módulo de deformación longitudinal, según lo indicado en el artículo 39.6 del presente Anejo. Así, como valor orientativo para un 100% de árido grueso reciclado, la fluencia será 1,25 veces la de un hormigón convencional. Debido a la fluctuación de la calidad de los áridos reciclados, se puede producir una gran dispersión en el valor de la fluencia, pudiéndose presentar valores superiores al indicado, por lo que se aconseja realizar ensayos en cada caso.

CAPÍTULO IX. Capacidad resistente de bielas, tirantes y nudos

Artículo 40.º Capacidad resistente de bielas, tirantes y nudos

La capacidad resistente de bielas y nudos en los hormigones reciclados con un contenido de árido reciclado no superior al 20% es la misma que la de los hormigones convencionales.



Para porcentajes de sustitución superiores al 20% las disminuciones de resistencia bajo carga sostenida pueden ser importantes. En estos casos, tal y como se ha comentado en el artículo 39.5, se recomienda realizar ensayos específicos.

CAPÍTULO X. Cálculos relativos a los estados límite últimos

La redacción del articulado correspondiente a este capítulo se mantiene para hormigones con sustituciones de árido reciclado no superiores al 20%. En otros casos se recomienda realizar estudios específicos, de acuerdo a las consideraciones recogidas en los artículos 39 y 40.

CAPÍTULO XI. Cálculos relativos a los estados límite de servicio

Artículo 49.º Estado límite de fisuración

Se mantiene la redacción del articulado de la Instrucción salvo en lo relativo a la separación máxima entre estribos que, con el fin de mejorar la respuesta frente a fisuración bajo esfuerzo cortante, para hormigón reciclado adopta un valor máximo de 200 mm,.

Para porcentajes de árido grueso superiores al 20% deberían realizarse estudios específicos o desarrollar una campaña experimental.

Artículo 50.º Estado límite de deformación

En elementos de hormigón reciclado con sustitución no superior al 20% y que no sean especialmente sensibles a la deformación, son válidas las prescripciones del articulado.

En elementos muy sensibles a la deformación y, especialmente, para porcentajes de árido reciclado superiores al 20%, deberían realizarse estudios específicos o desarrollar una campaña experimental en ensayos previos.

Artículo 51.º Estado límite de vibraciones

En elementos de hormigón con sustitución no superior al 20% de árido reciclado son válidas las prescripciones del articulado.

TÍTULO 6º ELEMENTOS ESTRUCTURALES

CAPÍTULO XII. Elementos estructurales

Todos los artículos de este capítulo tendrán en cuenta las consideraciones realizadas en este Anejo.



TÍTULO 7º EJECUCIÓN

CAPÍTULO XIII. Ejecución

Artículo 69.º Procesos de elaboración, armado y montaje de las armaduras

69.5 Criterios específicos para el anclaje y empalme de las armaduras

Para hormigones con sustitución no superior al 20% de árido reciclado son válidas las prescripciones recogidas en el articulado de la Instrucción.

Para sustituciones superiores al 20% se ha constatado una ligera reducción en la capacidad adherente entre las barras corrugadas y el hormigón reciclado. A falta de resultados experimentales específicos, se puede adoptar la siguiente expresión para las longitudes básicas de anclaje:

- Para barras en posición I:
$$l_{bI} = 1,1 m \phi^2 \geq (f_{yk}/20) \phi$$
- Para barras en posición II:
$$l_{bII} = 1,55 m \phi^2 \geq (f_{yk}/14) \phi$$

Artículo 71.º Elaboración y puesta en obra del hormigón

71.2.3. Instalaciones de dosificación

La absorción de agua del árido grueso reciclado es elevada, por lo que para hormigones con más del 20% de árido reciclado es aconsejable utilizar los áridos en condiciones de saturación. Para mantener la humedad, se pueden instalar en las plantas de dosificación sistemas que humedezcan los áridos en las cintas transportadoras, o aspersores de agua en las tolvas de los áridos.

71.3 Fabricación del hormigón.

Se recomienda que el hormigón con árido reciclado se fabrique en central amasadora.

71.3.1. Suministro y almacenamiento de materiales componentes

Se deberán establecer acopios separados e identificados para los áridos reciclados y los áridos naturales.



71.3.2 Dosificación de materiales componentes

Los métodos de dosificación habituales para los hormigones convencionales son válidos para los hormigones reciclados con un porcentaje de árido reciclado no superior al 20%. En cualquier caso, se recomienda realizar ensayos previos para ajustar la dosificación.

En hormigones reciclados con sustituciones superiores al 20%, y debido a la menor calidad de los áridos reciclados, para mantener la misma resistencia y durabilidad que un hormigón convencional, el hormigón fabricado con áridos reciclados necesitará un contenido mayor de cemento o una menor relación agua/cemento en su dosificación.

Igualmente, para conseguir la consistencia deseada, suele ser necesario añadir más agua a la dosificación para compensar la mayor absorción del árido reciclado. Otras posibilidades pueden ser utilizar aditivos plastificantes o superplastificantes en la dosificación o presaturar el árido reciclado.

71.3.3. Amasado del hormigón

El amasado del hormigón con áridos reciclados en estado seco puede requerir más tiempo que el de un hormigón convencional, lo que permite la humectación de los áridos con objeto de evitar que la absorción de agua por parte del árido reciclado afecte a la consistencia del hormigón.

No obstante, el tiempo de amasado tampoco debe ser excesivamente prolongado para evitar la generación de finos debido a la friabilidad del mortero adherido del árido reciclado. Se recomienda ajustar el tiempo de amasado realizando ensayos característicos.

71.3.4 Designación y características

En la designación del hormigón reciclado quedará reflejado que se trata de hormigón fabricado con áridos reciclados, tal y como se especifica en el apartado 39.2 del presente Anejo.

71.4 Transporte y suministro del hormigón

El volumen del hormigón reciclado transportado no excederá en ningún caso los dos tercios del volumen total del tambor del elemento de transporte.

En hormigones con sustituciones superiores al 20% de árido reciclado, puede ser conveniente la realización de ensayos característicos para evaluar la variación de la consistencia durante el transporte, y compensar dicha variación con la incorporación de aditivo plastificante o superplastificante en obra, siguiendo las indicaciones del fabricante del hormigón.

71.5. Puesta en obra del hormigón

En el caso del hormigón bombeado, puede ocurrir que la presión de bombeo altere la homogeneidad de las características del hormigón reciclado, debido a su influencia sobre la absorción del agua por parte del árido reciclado. Se deberá, por tanto, ajustar la dosificación del hormigón realizando ensayos característicos y tomando muestras a la salida de la tubería.



TÍTULO 8º CONTROL

CAPÍTULO XV. Bases generales del control

Artículo 79.º Condiciones para la conformidad de la estructura

79.3.1 Control documental de los suministros

Cuando el árido reciclado proceda de un único hormigón de origen, el control requerido será el mismo que establece el articulado para los áridos convencionales.

La mayor heterogeneidad que suelen presentar los áridos reciclados cuando proceden de varios tipos de hormigón de origen, hace necesario un mayor control de sus propiedades, especialmente aquellas que son más desfavorables en este tipo de áridos, como son su absorción, contenido de finos, contenido de desclasificados inferiores y contenido de impurezas.

En este caso, la frecuencia de los ensayos de control de producción, determinada a partir del tiempo o de la cantidad de árido reciclado, vendrá definida por el criterio más conservador de los recogidos en la tabla siguiente:



TABLA A.15.2
Frecuencia de ensayos de control de producción

PROPIEDAD	NORMA	FRECUENCIA	
Granulometría. Desclasificados inferiores	UNE-EN 933-1	1/semana	Cada 2000 t.
Coefficiente de forma	UNE-EN 933 -4	1/mes	Cada 10000 t.
Contenido de finos	UNE-EN 933-2	1/semana	Cada 2000 t.
Coefficiente de los Ángeles	UNE-EN 1097-2	1/mes	Cada 2000 t.
Absorción	UNE-EN 1097-6	1/semana	Cada 2000 t.
Estabilidad frente a soluciones de MgSO ₄ (*)	UNE-EN 1367-2	1/ 6 meses	Cada 10000 t.
Terrones de arcilla	UNE 7133	1/semana	Cada 2000 t.
Partículas ligeras	UNE 7244	1/ mes	Cada 10000 t.
Determinación de compuestos de azufre (SO ₃)	UNE-EN 1744-1	1/ 3 mes	Cada 10000 t.
Determinación de sulfatos solubles en ácido	UNE-EN 1744-1	1/ 3 mes	Cada 10000 t.
Determinación de cloruros totales	UNE-EN 1744-1	1/ 3 mes	Cada 10000 t.
Impurezas	UNE-EN 933-11	1/semana	Cada 2000 t.

(*) Sólo de aplicación en ambiente de helada o sales fundentes

CAPÍTULO XVI

Artículo 86.º Control del hormigón

86.4. Control previo al suministro

La experiencia en la dosificación del hormigón convencional no es de aplicación directa en el hormigón reciclado, por lo que los ensayos previos resultan muy recomendables. Así, estos ensayos deben servir para analizar la viabilidad y conveniencia de presaturar el árido previamente a su utilización.

En la realización de estos ensayos se ajustará el proceso y el grado de saturación a alcanzar para reducir la variación de la consistencia entre amasadas.

En el caso del hormigón reciclado, la resistencia que debe alcanzarse con estos ensayos, para asegurar que la resistencia característica de obra será satisfactoria, puede ser algo superior a la esperada con un hormigón convencional, teniendo en cuenta el



aumento en la dispersión de resultados derivada de la falta de uniformidad del árido reciclado empleado. Por tanto, se recomienda que en la realización de ensayos se utilicen áridos reciclados de diferentes calidades dentro de los límites admisibles.

En elementos especialmente sensibles a la deformación, o cuando se utilicen porcentajes de árido reciclado por encima del 20%, resulta conveniente incluir en el conjunto de los ensayos aquellos que determinen propiedades tales como el módulo de elasticidad, la retracción o la fluencia del hormigón.

86.5. Control durante el suministro

86.5.2. Control de la conformidad de la docilidad del hormigón durante el suministro

La incorporación de áridos reciclados en el hormigón puede producir variaciones en la consistencia, incluso cuando se mantiene la misma relación agua/cemento de las diferentes amasadas, debido a la diferente calidad de los áridos reciclados. Este efecto es más pronunciado en mezclas con más del 20% de sustitución por lo que, en tales casos, se recomienda presaturar el árido reciclado o bien ajustar la consistencia en obra mediante la incorporación de aditivos plastificantes o superplastificantes siguiendo las indicaciones del fabricante del hormigón.

86.5.4. Control estadístico de la resistencia del hormigón durante el suministro

A los efectos del control se dividirá la obra en lotes, siendo válidos los límites máximos establecidos en la Instrucción para el caso de hormigones con sustituciones no superiores al 20%.

La clasificación de la planta según el coeficiente de variación de su producción, deberá realizarse utilizando únicamente resultados de amasadas de hormigón reciclado.

En elementos de especial responsabilidad, o para el caso de hormigones con más del 20% de árido reciclado, se recomienda aumentar el control, reduciendo los lotes que establece la Instrucción y adoptando los recogidos en la siguiente tabla:



TABLA A.15.3

Tamaño recomendado lotes en hormigones con más del 20% de árido reciclado o elementos especiales.

Límite superior	Tipo de elementos estructurales		
	Elementos comprimidos	Elementos en flexión simple	Macizos
Volumen de hormigón	50 m ³	50 m ³	100 m ³
Tiempo de hormigonado	2 semanas	2 semanas	1 semana
Superficie construida	500 m ²	500 m ²	-
Número de plantas	1	1	-

En estos casos, el control se realizará determinando la resistencia de $N \geq 6$ amasadas por lote.

86.5.6 Control indirecto de la resistencia del hormigón

Para hormigones reciclados con más del 20% de árido grueso reciclado no es recomendable utilizar un control indirecto de la resistencia.

A 22 Ensayos previos y característicos del hormigón

A22.2 Ensayos característicos de resistencia

Se deben llevar a cabo los ensayos característicos para comprobar las posibles variaciones en los resultados de consistencia y resistencia del hormigón, debidas a la utilización de diferentes partidas de áridos reciclados procedentes de la planta suministradora.

Asimismo, estos ensayos permitirán ajustar el tiempo de amasado, comprobar el efecto del tiempo de transporte sobre la consistencia y evaluar la necesidad de corregir ésta en obra añadiendo aditivos plastificantes o superplastificantes, siguiendo las indicaciones del fabricante.

Para hormigones reciclados con un contenido no superior del 20% de áridos reciclado son válidas las modalidades de control del articulado.