

PARTE 2 - ESPECIFICACIONES RELATIVAS A LOS MATERIALES Y HORMIGONES

CAPÍTULO 2. ESPECIFICACIONES POR RESISTENCIA Y DURABILIDAD

2.0. SIMBOLOGÍA

a/c razón agua/cemento, en masa.

$a/(c+x)$ razón agua / material cementicio, que tiene en cuenta la suma de las cantidades de cemento (c) y adición mineral (x), en masa.

f'_c resistencia especificada a la compresión del hormigón, en MPa.

$f'_{c\ min}$ resistencia mínima a especificar por durabilidad, en MPa.

k coeficiente de permeabilidad del suelo, en m/s.

2.1. REQUISITOS GENERALES

2.1.1. Este Reglamento es **válido** para **hormigones**

- cuya masa por unidad de volumen se encuentre entre **2000 kg/m³** y **2800 kg/m³**.
- constituidos por una mezcla homogénea de una pasta de material cementicio y agua, con agregados gruesos y finos, que en estado fresco tiene cohesión y trabajabilidad y que luego, por el fraguado y el endurecimiento de la pasta cementicia, adquiere resistencia. Además de estos componentes básicos, también puede contener aditivos químicos y/o adiciones minerales activas.

2.1.2. Los hormigones a utilizar en el Proyecto Estructural deben cumplir con:

- los **requisitos de durabilidad** establecidos en el artículo 2.2.
- los **requisitos de resistencia** establecidos en el artículo 2.3.
- los **requisitos especiales** establecidos en el artículo 2.4.

2.1.3. Este Reglamento exige que se adopten las resistencias y las razones agua/cemento que resulten **más restrictivas** de entre las establecidas por **durabilidad** en la Tabla 2.5, por **resistencia** en la Tabla 2.7 y por **requisitos especiales** en la Tabla 2.8.

2.2. REQUISITOS POR DURABILIDAD

2.2.1. Requisitos generales

2.2.1.1. Se entiende por **acciones del medio ambiente** a aquellas de naturaleza química, física y/o físico-química que pueden provocar la **degradación de la estructura por efectos diferentes a los de las cargas consideradas en el Proyecto o Diseño Estructural**. Según sea la magnitud de dicha degradación y la velocidad con que se produce, la estructura puede perder, parcial o totalmente, la aptitud para cumplir la función para la cual fue construida.

2.2.1.2. El diseño de las estructuras y la especificación del hormigón de la estructura y sus materiales componentes deben tener en cuenta las **acciones del medio ambiente, los procesos de degradación de los materiales a utilizar en la estructura y la vida útil en servicio requerida por el comitente**.

2.2.1.3. Este Reglamento contiene exigencias para lograr una **vida útil en servicio de 50 años**, con la salvedad establecida en el artículo 2.2.10.1. Dichas exigencias son válidas para estructuras de hormigón expuesto (hormigón a la vista) **sin ningún tipo de revestimiento agregado sobre la superficie del elemento estructural**.

El agregado de revestimientos superficiales puede aumentar la vida en servicio del elemento estructural expuesto. Dicho aumento de vida útil dependerá de la naturaleza y características del recubrimiento superficial. No obstante, este Reglamento no contiene prescripciones vinculadas con los recubrimientos superficiales.

Queda expresamente establecido que los recubrimientos de armaduras y la calidad del hormigón a utilizar en la estructura según este Reglamento, **no pueden ser modificados por la aplicación de revestimientos superficiales**.

Cuando el Proyectista o Diseñador Estructural decida **prolongar la vida útil de la estructura** más allá de los 50 años, podrá utilizar la mayor protección debida al revestimiento superficial a los fines previstos en el artículo 2.2.1.4.

2.2.1.4. Cuando se proyecte una estructura para una **vida útil en servicio mayor de 50 años**, en los **Documentos del Proyecto** se deberán especificar las exigencias adicionales necesarias para lograrla. En este caso, las exigencias serán más severas que las establecidas en este **Reglamento**.

2.2.1.5. Cuando se proyecten **estructuras** destinadas a explotaciones industriales para una **vida útil en servicio menor de 50 años**, se podrán utilizar requisitos menos severos que los especificados en este Reglamento. En estos casos, la vida útil de diseño y las exigencias adoptadas deben constar en los **Documentos del Proyecto**.

2.2.1.6. A los efectos de cumplimentar lo establecido en los artículos 2.2.1.4 y 2.2.1.5 se deberán utilizar **modelos de predicción debidamente justificados** para determinar la vida útil en servicio de la estructura sometida a las condiciones de exposición previstas en el Proyecto o Diseño Estructural.

2.2.2. Requisitos del Proyecto Estructural

2.2.2.1. El Proyecto debe establecer una **estrategia de diseño y de mantenimiento** que garantice, al finalizar su vida útil en servicio, que la estructura posea la seguridad, la aptitud en servicio y las condiciones estéticas exigidas por este Reglamento y por el Comitente. Dicha estrategia debe estar **claramente explicitada** en los **Documentos del Proyecto**.

2.2.2.2. Antes de comenzar el Proyecto de la Estructura, **se debe identificar el tipo de medio ambiente que define la agresividad a la que va a estar sometido cada conjunto de elementos estructurales**.

2.2.2.3. Los **Documentos del Proyecto Estructural** deben indicar:

- ❑ el **tipo de ambiente al que estará expuesto cada conjunto de elementos que componen la estructura**, de acuerdo con lo indicado en el artículo 2.2.4.
- ❑ la **vida útil de diseño** y la **estrategia de diseño y mantenimiento** indicadas en los artículos 2.2.2.1. y 2.2.1.2.
- ❑ la definición del **tipo de hormigón** a utilizar en los distintos elementos estructurales, con la siguiente información: **Clase de resistencia del hormigón y Clase de exposición** (por ejemplo H-25 / A2). La clase de hormigón especificada debe respetar los mínimos establecidos para el tipo de exposición correspondiente al elemento, de acuerdo con la Tabla 2.5.

2.2.2.4. A los fines establecidos en el artículo 2.2.2.1 se deben cumplir los siguientes requisitos:

- ❑ **máxima razón agua/cemento** de acuerdo con lo establecido en la Tabla 2.5.
- ❑ **mínima resistencia especificada** de acuerdo con lo establecido en la Tabla 2.5.
- ❑ **contenido mínimo de cemento** de acuerdo con lo establecido en el artículo 5.1.5.
- ❑ **contenido mínimo de aire intencionalmente incorporado**, cuando corresponda, de acuerdo con lo especificado en la Tabla 2.5. y en el artículo 5.1.2.
- ❑ **resistencia frente al ataque por sulfatos y otras acciones químicas**, cuando corresponda, de acuerdo con lo especificado en los artículos 2.2.4 a 2.2.6. y 2.2.10 y en las Tablas 2.3. y 2.4..
- ❑ **resistencia frente al ataque por agua de mar**, cuando corresponda, de acuerdo con lo especificado en los artículos 2.2.4 a 2.2.7. y 2.2.10. inclusive y en las Tablas 2.3. y 2.6.
- ❑ **inhibición de la reacción álcali - sílice**, cuando corresponda, de acuerdo con lo especificado en el artículo 2.2.9.
- ❑ **penetración máxima de agua o absorción capilar máxima**, de acuerdo con el artículo 2.2.11, cuando corresponda.

Además de las exigencias anteriores, **para lograr la vida en servicio establecida en este Reglamento** se deben cumplir las siguientes condiciones:

- ❑ respetar los **recubrimientos mínimos de armaduras** que se establecen en el artículo 7.7.
- ❑ asegurar el **control de deformaciones** indicado en el artículo 9.5, para evitar que el ancho de fisuras alcance valores críticos que afecten la durabilidad de las armaduras.
- ❑ **utilizar diseños geométricos** que impidan la permanencia de agua sobre los elementos estructurales no sumergidos o enterrados.
- ❑ **evitar los diseños geométricos con aristas vivas** en los elementos estructurales que estarán sometidos a acciones de congelamiento y deshielo o agresividad química fuerte o muy fuerte.
- ❑ explicitar, para el período de servicio, un **plan de inspecciones sistemáticas** destinadas al reconocimiento temprano de daños o indicios de daños y su oportuna reparación.

2.2.3. Requisitos de ejecución

Complementando las indicaciones establecidas en el artículo 2.2.2, durante la construcción de la estructura se debe cumplir con las siguientes condiciones **para asegurar la vida en servicio de la estructura**:

- ❑ **seleccionar los materiales** según lo establecido en el Capítulo 3.
- ❑ **determinar las proporciones de las mezclas** según lo establecido en el artículo 5.2.
- ❑ **producir y colocar en obra el hormigón en forma adecuada**, según lo establecido en los artículos 5.3. a 5.7. inclusive.
- ❑ **proteger y curar al hormigón en forma adecuada**, según lo establecido en los artículos 5.10. a 5.13. inclusive.

2.2.4. Clasificación del medio ambiente

2.2.4.1. En las **Tablas 2.1, 2.2, 2.3 y 2.4**, se especifican los **tipos de ambientes** o las **clases de exposición** para los cuales es posible especificar medidas preventivas de protección.

La clasificación está referida a las condiciones establecidas en el artículo 2.2.1.3. (estructuras de hormigón expuesto), salvo que expresamente se indique lo contrario.

2.2.4.2. Se deben realizar estudios especiales para **evaluar la agresividad** y las **medidas protectoras a incluir en el Proyecto o Diseño Estructural** cuando las acciones del medio ambiente excedan el marco de las indicadas en las Tablas mencionadas en el artículo anterior. Esto es de aplicación para los casos no incluidos en las Tablas 2.1 y 2.2 y sus complementarias, Tablas 2.3 y 2.4, y para aquellos que si bien están incluidos, su

complejidad no permite establecer en este Reglamento las correspondientes medidas preventivas de protección.

2.2.4.3. Cuando **una estructura posea elementos estructurales sometidos a diferentes ambientes**, el Proyectista o Diseñador Estructural deberá agrupar los elementos estructurales que presenten condiciones similares de exposición y adoptar las medidas de protección que correspondan a cada grupo de elementos estructurales.

2.2.4.4. En el caso de que **una estructura o grupo de elementos estructurales esté expuesto a más de una de las exposiciones** tipificadas en las Tablas 2.1 a 2.4, en los **Documentos del Proyecto** se indicarán todas esas exposiciones separadas por un signo “+”.

2.2.5. Sustancias agresivas al hormigón contenidas en aguas y suelos en contacto con las estructuras

2.2.5.1. En las **Tablas 2.3 y 2.4** se clasifica el **grado de ataque para el caso de aguas y suelos** que contengan diferentes sustancias químicas agresivas que se pueden encontrar en contacto con las estructuras de hormigón. Dichas Tablas se deben aplicar con los siguientes criterios:

- a) El **grado de ataque debido a aguas agresivas** se debe determinar de acuerdo con la Tabla 2.3, con las siguientes aclaraciones:
- La Tabla 2.3 es **válida para climas moderados**, con **temperaturas medias anuales iguales o menores que 25 °C** y aguas estacionarias o que se mueven lentamente (velocidad igual o menor que **0,8 m/s**).
 - Si el agua contiene una **única sustancia agresiva**, ella determina el **grado de ataque**.
 - Si el agua contiene **dos (2) o más sustancias agresivas**, el grado de ataque será determinado para la **concentración más severa de los agentes agresivos presentes**. Si todas las concentraciones corresponden a un mismo grado de ataque, con valores que están dentro del cuarto superior del intervalo y en el caso del **pH** en el cuarto inferior del intervalo, se debe aumentar el grado de agresión al inmediato superior. **Este incremento no se debe aplicar al agua de mar**.
 - La agresión química del agua de mar en contacto con la estructura se debe equiparar al grado de ataque moderado de la Tabla 2.3.
- b) El **grado de ataque del suelo de contacto** se debe determinar de acuerdo con la Tabla 2.4, con las siguientes aclaraciones:
- La Tabla 2.4 **es válida para estructuras en contacto con suelos saturados de agua en forma frecuente o permanente**.
 - Cuando los **suelos** sean de **baja permeabilidad**, con **K** menor de **10⁻⁵ m/s**, el grado de ataque se puede reducir al grado inmediato anterior.

- c) El **grado de ataque** a tener en cuenta en el Proyecto Estructural, es el máximo nivel que resulte de los puntos precedentes a) y b).

2.2.5.2. Cuando el **medio ambiente sea agresivo** según el artículo 2.2.5.1., el hormigón debe cumplir con los requisitos de la Tabla 2.5.

Además, cuando la agresividad se origine por el **contenido de sulfatos** el hormigón deberá ser elaborado con el **tipo de cemento** que se establece a continuación:

a) **Grado de ataque moderado:**

- a.1.) **Cemento moderadamente resistente a los sulfatos** (IRAM 50001:2000-Tabla 4).
a.2.) **Cemento pórtland normal (CPN) más una adición mineral activa incorporada en obra.**
a.3.) **Cemento de uso general** (IRAM 50000:2000-Tabla 1).

Los materiales cementicios de las soluciones a.1.), a.2.) y a.3.), ensayados según la norma IRAM 1635:2009, deben tener una **expansión** igual o menor que **0,10 %** a los **6 meses** de edad. Este requisito **no será de aplicación a las soluciones a.1.) y a.3.)** cuando se utilice un cemento CPN con contenido de adiciones minerales igual o menor que el 5 % y cuyo contenido de aluminato tricálcico (C_3A) sea igual o menor que el 8 %, determinado según la norma IRAM 1504:1986.

b) **Grado de ataque fuerte:**

- b.1.) **Cemento altamente resistente a los sulfatos** (IRAM 50001:2000 -Tabla 3).
b.2.) **Cemento portland normal (CPN) más una adición mineral activa incorporada en obra.**

Los materiales cementicios de las soluciones b.1.) y b.2.), ensayados según la norma IRAM 1635:2009 deben tener una **expansión** igual o menor que **0,10 %** a la edad de un **(1) año**.

Este requisito **no será de aplicación a la solución b.1.)** cuando se utilice un cemento CPN con contenido de adiciones minerales igual o menor que el 5 % y que cumpla las siguientes condiciones aplicando la norma IRAM 1504:1986:

- El contenido de aluminato tricálcico (C_3A) sea igual o menor que el 4 %.
- El contenido de aluminato tricálcico más aluminoferrito tetracálcico (C_3A+FAC_4) o el contenido de aluminoferrito tetracálcico más ferrito dicálcico ($FAC_4 + FC_2$) sea igual o menor que el 22 %.

c) **Grado de ataque muy fuerte:**

- c.1.) **Cemento con adiciones altamente resistente a los sulfatos** (IRAM 50001:2000-Tabla 3). El **contenido de cemento del hormigón** será igual o mayor que **380 kg/m³**.
c.2.) **Cemento sin adiciones altamente resistente a los sulfatos (CPN-ARS-IRAM 50001:2000-Tabla 3)** utilizado conjuntamente con una adición mineral activa agregada en obra. La adición debe mejorar la resistencia a los sulfatos del

cemento. El contenido de material cementicio del hormigón será igual o mayor que **380 kg/m³**.

c.3.) Cemento altamente resistente a los sulfatos (CPN ARS-IRAM 50001:2000-Tabla 3) y una protección exterior capaz de resistir la agresión. El contenido de cemento del hormigón será igual o mayor que **350 kg/m³**.

Los materiales cementicios de las soluciones **c.1.)**, **c.2.)** y **c.3.)**, ensayados según la norma IRAM 1635:2009 deben tener una **expansión** igual o menor que **0,10 %** a la edad de un **(1) año**.

d) Ataque de sulfatos en presencia de cloruros (agua de mar y equivalentes) - grado de ataque moderado:

Cuando el hormigón esté sometido a la acción del agua de mar (ambiente marino), o a la acción de aguas con contenidos de sulfatos y cloruros equivalentes a las del agua de mar pero provenientes de ambiente no marino, se deberán utilizar materiales cementicios que cumplan con las especificaciones del artículo 2.2.5.2.a).

2.2.6. Contenido máximo de sulfatos en los agregados componentes del hormigón

Los **contenidos máximos de sulfatos solubles en agua**, admitidos en los agregados componentes del hormigón deben cumplir, tanto para el hormigón fresco como para el endurecido, con lo establecido en la Tablas 3.4. y 3.6.

2.2.7. Contenidos máximos de cloruros en el hormigón

Los **contenidos máximos de cloruros solubles en agua en el hormigón** endurecido, aportados por todos los materiales componentes, incluyendo los aditivos y eventualmente adiciones minerales, deben ser iguales o menores que los límites fijados en la Tabla 2.6. Asimismo, el hormigón debe cumplir con los requisitos que se establecen en la Tabla 2.5.

El **contenido de cloruros en el hormigón endurecido** se debe determinar a una edad comprendida entre **28 y 45 días**, utilizando el método de la norma IRAM 1857.

En los estudios preliminares de los materiales se puede estimar el contenido total de cloruros que tendrá el hormigón endurecido, como sumatoria del aporte de sus materiales componentes en el hormigón fresco.

Si los valores estimados son menores que los límites indicados en la Tabla 2.6., se puede considerar que el contenido de cloruros del hormigón endurecido, incorporados por los materiales constituyentes, será menor que el exigido por este Reglamento.

2.2.8. Hormigón expuesto a temperaturas de congelación y deshielo

El hormigón de las estructuras que estarán sometidas a las **exposiciones identificadas** como **C1** o **C2** de la Tabla 2.2., debe contener el volumen de aire intencionalmente incorporado en su masa especificado en el artículo 5.1.2.

2.2.9. Reacción álcali - sílice

2.2.9.1. Las estructuras de hormigón que durante *su vida en servicio* pudieran estar, en forma permanente o periódica, **en contacto con agua, suelos húmedos o atmósferas con humedad relativa superior al 80 %**, deben ser construidas con un conjunto de materiales componentes (cemento, agregados, aditivos, adiciones minerales y agua) para los cuales esté comprobado que no se producen expansiones y/o deterioros como consecuencia de la **reacción álcali – sílice** (en adelante **RAS**).

2.2.9.2. Cuando se disponga de información de **obras en servicio** que no tengan evidencias de **expansiones y/o otros daños asociados** a la **RAS** y se verifiquen todas las condiciones que se detallan a continuación:

- estén construidas con un conjunto de materiales (agregados, cemento, adiciones minerales y aditivos) **similares** a los que se intenta utilizar en el Proyecto en estudio,
- sean de **igual tipología** estructural,
- las condiciones de exposición **sean similares** y
- hayan estado en **servicio más de 15 años** para hormigones con agregados que contienen ópalo, calcedonia, vidrio volcánico, tridimita o cristobalita, que provocan reacción rápida, y **más de 35 años** cuando el hormigón contiene agregados con cuarzo tensionado o minerales de arcilla que provocan reacción lenta.

este Reglamento permite considerar que el **conjunto de materiales propuesto no produce RAS** y cumple la condición exigida en el artículo 2.2.9.1.

Los resultados de estas evaluaciones **son definitivos** acerca de la **existencia** de **RAS** en la estructura observada y de su potencial ocurrencia en las que se van a construir con las condiciones antes mencionadas. Estas conclusiones son válidas con prescindencia de los resultados que se obtengan en los ensayos de laboratorio según los artículos 2.2.9.5 a 2.2.9.7 inclusive (ver diagrama de flujo de la Figura 2.2.9.).

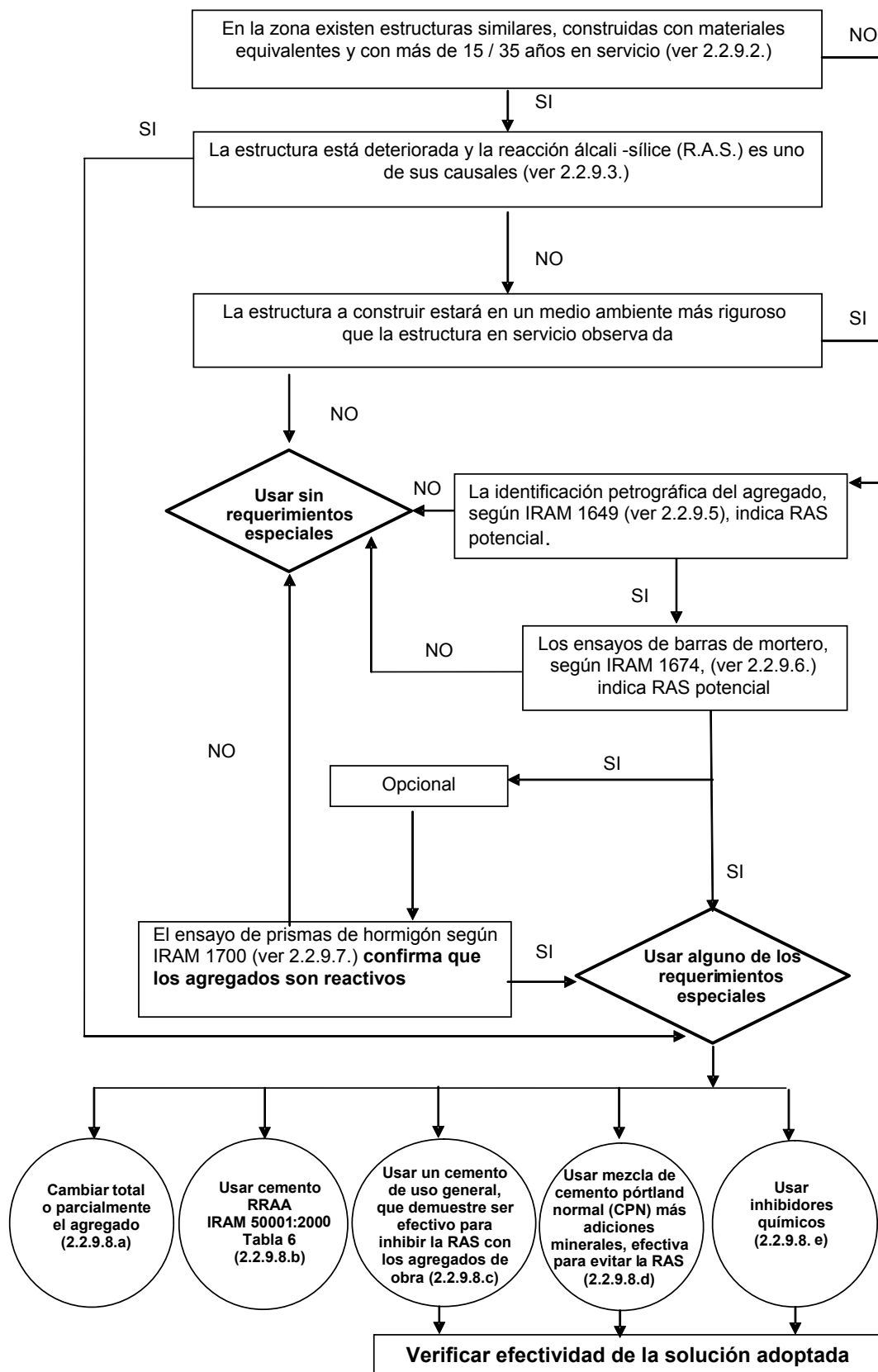


Figura 2.2.9. Reacción álcali - sílice. Diagrama de flujo.

2.2.9.3. A los fines indicados en el artículo 2.2.9.2, la **evaluación de las estructuras en servicio** se debe realizar de acuerdo con la norma IRAM 1874-2:2004

2.2.9.4. Cuando se utilicen **agregados finos y/o gruesos** de los cuales se carezca de antecedentes que aseguren el cumplimiento del artículo 2.2.9.1, o se tengan dudas sobre su **reactividad potencial con los álcalis**, dichos agregados deben ser evaluados con los siguientes métodos, en la forma que se describe en los artículos 2.2.9.5 a 2.2.9.7.:

- análisis petrográfico según norma IRAM 1649.
- ensayo con el método acelerado de barras de mortero según norma IRAM 1674.
- ensayo de prismas de hormigón según norma IRAM 1700.

2.2.9.5. El **análisis petrográfico**, según lo indicado en la norma IRAM 1649, se debe realizar para identificar los componentes potencialmente reactivos presentes en el agregado fino y en el agregado grueso. El **agregado fino** y el **agregado grueso** que contenga uno cualquiera de los siguientes **minerales**, en cantidades mayores que las indicadas, **debe ser considerado potencialmente reactivo**. Los límites deben ser aplicados a **cada uno** de los agregados individualmente.

- | | |
|---|----------------|
| <input type="checkbox"/> cuarzo tensionado, microfracturado o microcristalino, | 5 % |
| <input type="checkbox"/> chert y/o calcedonia, con trazas de ópalo incluidas en su masa | 3 % |
| <input type="checkbox"/> tridimita y/o cristobalita | 1 % |
| <input type="checkbox"/> ópalo | 0,5 % |
| <input type="checkbox"/> vidrio volcánico contenido en rocas volcánicas. | 3 % |
| <input type="checkbox"/> arcillas del tipo esmectitas contenidas en la masa de basaltos | 2 % (*) |

Los agregados que, de acuerdo con la evaluación anterior, **no resulten potencialmente reactivos** pueden ser utilizados sin restricciones por **RAS**.

(*) Ver Comentarios a este artículo.

2.2.9.6. Cuando los **agregados resulten potencialmente reactivos** según el artículo 2.2.9.5, serán ensayados con el método acelerado de la barra de mortero según norma IRAM 1674. **Cada uno de los agregados fino y grueso serán ensayados por separado**. Cuando se conozca el conjunto de los agregados y las proporciones con que se utilizarán en obra, el ensayo se realizará también con esa mezcla y proporciones de agregados.

Este Reglamento considera que un agregado fino, un agregado grueso, o la mezcla de ambos es potencialmente reactivo cuando la **expansión a los 16 días** sea igual o mayor que **0,10 %**.

2.2.9.7. Cuando los agregados resulten potencialmente reactivos de acuerdo con los artículos 2.2.9.5. y 2.2.9.6., estos podrán ser evaluados con el método de ensayo de prismas de hormigón según la norma IRAM 1700. Se debe considerar que los agregados

fino, grueso o su combinación son potencialmente reactivos, cuando la **expansión a la edad de un año** sea igual o mayor que **0,04 %**.

Este ensayo tiene **prelación** sobre los indicados en los artículos 2.2.9.5. y 2.2.9.6., es **definitorio en el ámbito de las evaluaciones de laboratorio** y sus resultados sólo deben ser descartados en el caso establecido en el artículo 2.2.9.2.

La evaluación según norma IRAM 1700 se debe realizar en **todos los casos** donde los cronogramas de ejecución del proyecto permitan disponer de los resultados de ensayos antes del inicio de la construcción de las estructuras.

Cuando se ensaye la combinación de agregados con la norma IRAM 1700, se lo **hará en la proporción de 40 % de agregado fino y 60 % de agregado grueso**. Esta verificación es válida para proporciones de agregados de obra que difieran hasta en **5 %** de las indicadas precedentemente; en caso contrario el ensayo se realizará con las proporciones de agregados de obra.

2.2.9.8. Cuando las **evaluaciones** según los artículos 2.2.9.2. y 2.2.9.5. a 2.2.9.7. inclusive, indiquen que uno de los agregados, o la mezcla de ambos, en las proporciones de obra, **son potencialmente reactivos con los álcalis**, se debe adoptar alguna de las siguientes soluciones:

- a) Cambiar total o parcialmente el agregado potencialmente reactivo por otro no reactivo. El nuevo agregado resultante del mencionado reemplazo total o parcial debe cumplir con lo indicado en los artículos 2.2.9.5. a 2.2.9.7.
- b) Utilizar un cemento resistente a la reacción álcali-agregado (RRAA-IRAM 50001:2000-Tabla 6).
- c) Utilizar un cemento de uso general (IRAM 50000:2000) que demuestre ser efectivo para inhibir la RAS con los agregados de obra, según los artículos 2.2.9.9. ó 2.2.9.10.
- d) Utilizar un material cementicio obtenido por mezcla, en planta de hormigón, de un cemento portland normal (CPN) de uso general (IRAM 50000:2000) más una adición mineral activa que cumpla con el artículo 3.5 y además demuestre ser efectiva para inhibir la RAS con los agregados de obra, según los artículos 2.2.9.9. ó 2.2.9.10.
- e) Utilizar un inhibidor químico agregado al hormigón en proporciones suficientes para evitar que se produzcan expansiones y otros daños perjudiciales por **RAS**. La efectividad de esta solución será verificada según el artículo 2.2.9.11.

2.2.9.9. En el caso de las soluciones indicadas en los artículos 2.2.9.8.c) y 2.2.9.8.d), el conjunto de materiales de obra, incluyendo el cemento, la adición mineral activa cuando corresponda y el conjunto de agregados, deben cumplir con alguna de las exigencias que se indican a continuación:

- En el ensayo de la norma IRAM 1674, con las modificaciones que se indican en el punto a) de este artículo, la **expansión total a la edad de 16 días**, debe ser igual o menor que **0,10 %**.

- En el ensayo de la norma IRAM 1700, con las modificaciones que se indican en el punto b) de este artículo, la **expansión total a la edad de un año**, debe ser igual o menor que **0,04 %**.

Los ensayos se deberán realizar teniendo en cuenta las siguientes condiciones:

- a) El ensayo según norma IRAM 1674 se deberá realizar **con el cemento de la obra**, la **adición en la proporción de obra** cuando corresponda y los **agregados en la proporción de obra**. Si esta última no se conoce se debe utilizar **40 %** de agregado fino y **60 %** de agregado grueso.
- b) El ensayo según norma IRAM 1700 se deberá realizar aplicando las mismas condiciones establecidas en el párrafo anterior para el ensayo según norma IRAM 1674. Además, **la mezcla de ensayo tendrá una razón agua/material cementicio comprendida entre 0,42 y 0,45** y se incrementará el contenido total de álcalis a 5,25 kg Na₂O equivalente/m³, mediante la incorporación de NaOH al agua de mezclado en la cantidad necesaria, teniendo en cuenta el contenido de álcalis total del material cementicio según norma IRAM 1504:1986.

2.2.9.10. Como alternativa a lo dispuesto en el artículo 2.2.9.9, para verificar las soluciones indicadas en los artículos 2.2.9.8.c) y 2.2.9.8.d) se puede realizar el ensayo según la norma IRAM 1700 **con la totalidad de los materiales y en las proporciones propuestas para la obra, sin la incorporación adicional de álcalis**. En este caso se considerará que el conjunto de materiales propuesto para la obra no produce RAS cuando la **expansión del hormigón** a la edad de dos (2) años es igual o menor que 0,04 %.

2.2.9.11. La eficacia de los inhibidores químicos mencionados en el artículo 2.2.9.8.e) debe ser comprobada utilizando el método propuesto en la norma IRAM 1700 con las indicaciones dadas en el artículo 2.2.9.9.b).

2.2.10. Medidas especiales de protección en ambientes con agresividad química

2.2.10.1. Las prescripciones para las **exposiciones M2 y M3** establecidas en este Reglamento posibilitarán lograr una vida útil de 50 años si además **existe un control muy severo de la fisuración**. Consecuentemente, el Proyectista o Diseñador Estructural debe hacer sus propias evaluaciones teniendo en cuenta el estado actual del conocimiento y debe incorporar a los Documentos del Proyecto las prescripciones complementarias que considere necesarias para lograr la vida útil establecida.

2.2.10.2. En los casos de **fuerte agresividad**, cuando las medidas de protección que se adopten en el propio hormigón deban ser complementadas con **protecciones superficiales adicionales**, éstas pueden tener **menor vida útil** que la establecida para la estructura. En estos casos, los Documentos del Proyecto deben establecer la planificación del mantenimiento de la protección superficial.

2.2.10.3. Cuando la **agresividad** sea por bajo pH o por amonio, con grado de ataque muy fuerte (Tabla 2.3), se debe aplicar una **protección superficial o acción equivalente de probada eficacia**.

2.2.11. Penetración de agua

2.2.11.1. Los *hormigones* de las estructuras que estarán sometidas a las clases de exposiciones **A2, A3, CL, M1, M2, M3, C1, C2, Q1, Q2** y **Q3** (Tablas 2.1 y 2.2) deben tener **una velocidad de succión capilar** igual o menor que **4,0 g/m² s^{1/2}**, medida de acuerdo con el ensayo de la norma IRAM 1871:2004 con probetas cilíndricas de 100 mm de diámetro.

2.2.11.2 Los *hormigones* de las estructuras destinadas a contener o conducir agua, y que requieran una elevada impermeabilidad, deberán tener una **penetración de agua máxima** igual o menor que **50 mm** y una **penetración de agua media** igual o menor que **30 mm** en el ensayo según la norma IRAM 1554:1983. Esta exigencia **no releva** del cumplimiento del artículo 2.2.11.1.

2.2.11.3. Los requerimientos anteriores se deben verificar en probetas de hormigón secadas a 50 °C de acuerdo con lo establecido en las respectivas normas de ensayo.

2.2.12. Requerimientos Prestacionales

2.2.12.1. El **Proyectista o Diseñador Estructural** podrá incorporar en los Documentos del Proyecto métodos para verificar las prestaciones requeridas al hormigón en la estructura o en los elementos estructurales construidos. Dichas verificaciones deberán estar referidas a métodos establecidos en normas IRAM, disposiciones CIRSOC o métodos de ensayo debidamente acreditados e incorporados a los Documentos del Contrato.

2.2.12.2. Cuando los requerimientos prestacionales no estén contemplados en los Documentos del Proyecto, el Director de Obra, con la conformidad del Proyectista o Diseñador Estructural podrá acordar con el Contratista la realización de verificaciones prestacionales en las condiciones establecidas en el artículo 2.2.12.1.

Tabla 2.1. Clases de exposición generales que producen corrosión de armaduras

1	2	3	4	5	6
EXPOSICIÓN					
Desig.	Clase	Subclase	Tipo de proceso	Descripción del medio ambiente	Ejemplos ilustrativos de estructuras donde se pueden dar las clases de exposición
A 1	No agresiva		Ninguno	<ul style="list-style-type: none"> • Interiores de edificios no sometidos a condensaciones • Elementos exteriores de edificios, revestidos • Hormigón masivo interior • Estructuras en ambientes rurales y climas desérticos, con precipitación media anual < 250 mm. 	<ul style="list-style-type: none"> • Interiores de edificios protegidos de la intemperie • Columnas y vigas exteriores revestidas con materiales cerámicos o materiales que demoran la difusión del CO₂. • Elementos estructurales de hormigón masivo que no están en contacto con el medio ambiente. Parte interior de los mismos.
A 2	Ambiente Normal	Temperatura moderada y fría, sin congelación. Humedad alta y media o con ciclos de mojado y secado	Corrosión por carbonatación	<ul style="list-style-type: none"> • Interiores de edificios expuestos al aire con HR ≥ 65 % o a condensaciones • Exteriores expuestos a lluvias con precipitación media anual < 1.000 mm. • Elementos enterrados en suelos húmedos o sumergidos 	<ul style="list-style-type: none"> • Sótanos no ventilados • Fundaciones • Tableros y pilas de puentes • Elementos de hormigón en cubiertas de edificios • Exteriores de edificios. • Interiores de edificios con humedad del aire alta o media • Pavimentos • Losas para estacionamientos
A 3	Clima cálido y húmedo		Corrosión por carbonatación	<ul style="list-style-type: none"> • Exteriores expuestos a lluvias con precipitación media anual ≥ 1.000 mm • Temperatura media mensual durante más de 3 meses al año ≥ 25° C. 	

Tabla 2.1. Clases de exposición generales que producen corrosión de armaduras (continuación)

1	2	3	4	5	6
EXPOSICIÓN					
Desig.	Clase	Subclase	Tipo de proceso	Descripción del medio ambiente	Ejemplos ilustrativos de estructuras donde se pueden dar las clases de exposición
C L	Húmedo o sumergido, con cloruros de origen diferente del medio marino		Corrosión por cloruros	<ul style="list-style-type: none"> • Superficies de hormigón expuestas al rociado o la fluctuación del nivel de agua con cloruros • Hormigón expuesto a aguas naturales contaminadas por desagües industriales 	<ul style="list-style-type: none"> • Piletas de natación sin revestir. • Fundaciones en contacto con aguas subterráneas • Cisternas en plantas potabilizadoras • Elementos de puentes
M 1	Marino	Al aire	Corrosión por cloruros	<ul style="list-style-type: none"> • A más de 1 km. de la línea de marea alta y contacto eventual con aire saturado de sales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Construcciones alejadas de la costa pero en la zona de influencia de los vientos cargados de sales marinas (*).
M 2		Al aire	Corrosión por cloruros	<ul style="list-style-type: none"> • A menos de 1 km. de la línea de marea alta y contacto permanente o frecuente con aire saturado con sales 	<ul style="list-style-type: none"> • Construcciones próximas a la costa.
M 2		Sumergidos	Corrosión por cloruros	<ul style="list-style-type: none"> • Sumergidos en agua de mar, por debajo del nivel mínimo de mareas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estructuras de defensas costeras • Fundaciones y elementos sumergidos de puentes y edificios en el mar
M 3		Sumergidos	Corrosión por cloruros	<ul style="list-style-type: none"> • En la zona de fluctuación de mareas o expuesto a salpicaduras del mar 	<ul style="list-style-type: none"> • Estructuras de defensas costeras, fundaciones y elementos de puentes y edificios
(*) La distancia máxima depende de la dirección de los vientos predominantes. Cuando ellos provengan del mar, como ocurre en la mayor parte del litoral de la Provincia de Buenos Aires, esta zona está entre 1 km y 10 km. En la mayor parte de la Patagonia esta zona es inexistente. El Director del Proyecto deberá acotar los límites de aplicación de esta zona de agresividad.					

Tabla 2.2. Clases específicas de exposición que pueden producir degradación distinta de la corrosión de armaduras

1	2	3	4	5	6
Desig.	Clase	Subclase	Tipo de proceso	Descripción del medio ambiente	Ejemplos ilustrativos de estructuras donde pueden darse las clases de exposición
C 1	Congelación y deshielo	Sin sales descongelantes	Ataque por congelación y deshielo	Elementos en contacto frecuente con agua, o zonas con humedad relativa ambiente media en invierno superior al 75 %, y que tengan una probabilidad mayor que el 50 % de alcanzar al menos una vez temperaturas por debajo de -5 °C	<ul style="list-style-type: none"> • Superficies expuestas a la lluvia o a atmósferas húmedas. • Estructuras que contienen agua o la conducen.
C 2		Con sales descongelantes	Ataque por congelación y deshielo y por sales descongelantes	Estructuras destinadas al tráfico de vehículos o peatones en zonas con más de 5 nevadas anuales o con temperatura mínima media en los meses de invierno inferior a 0°C	<ul style="list-style-type: none"> • Pistas de aterrizaje, caminos y tableros de puentes. • Superficies verticales expuestas a la acción directa del rociado con agua que contiene sales descongelantes. • Playas de estacionamiento y cocheras en los edificios.
Q 1	Ambientes con agresividad química	Moderado	Ataque químico	<ul style="list-style-type: none"> • Suelos, aguas o ambientes que contienen elementos químicos capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad lenta (Ver Tablas 2.3 y 2.4). 	
Q 2		Fuerte		<ul style="list-style-type: none"> • Suelos, aguas o ambientes que contienen elementos químicos capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad media (Ver Tablas 2.3 y 2.4). • Exposición al agua de mar 	
Q 3		Muy fuerte		<ul style="list-style-type: none"> • Suelos, aguas o ambientes que contienen elementos químicos capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad rápida (Ver Tablas 2.3 y 2.4). 	

Tabla 2.3. Valores límites de sustancias agresivas en aguas de contacto

Grado de ataque	Sulfatos solubles (SO₄²⁻) (1)	Magnesio (Mg²⁺) (2)	pH (3)	Disolución de cal por ataque con ácido carbónico (CO₂²⁻) (4)	Amonio (NH₄⁺) (5)
	mg/litro	mg/litro	-----	mg/litro	mg/litro
Moderado	150 a 1.500	300 a 1.000	6,5 a 5,5	15 a 40	15 a 30
Fuerte	1.500 a 10.000	1.000 a 3.000	5,5 a 4,5	40 a 100	30 a 60
Muy fuerte	Mayor de 10.000	Mayor de 3.000	Menor de 4,5	Mayor de 100	Mayor de 60
(1); (2); (3) y (5) Se determinarán con el método especificado en la norma IRAM 1872:2004. (4) Se determinarán con el método especificado en la norma IRAM 1708:1998.					

Tabla 2.4. Valores límites de sustancias agresivas en suelos de contacto

Grado de ataque	Sulfatos solubles (SO₄²⁻) (1)	Grado de acidez Baumann – Gully Modificado (2)
	% en masa	Nº
Moderado	0,10 a 0,20	Mayor de 20
Fuerte	0,20 a 2,00	-----
Muy fuerte	Mayor de 2,00	-----
(1) Se determinará con el método especificado en la norma IRAM 1873:2004.		
(2) Se determinará con el método especificado en la norma IRAM 1707-1:1998		

Tabla 2.5. Requisitos de durabilidad a cumplir por los hormigones, en función del tipo de exposición de la estructura

Requisitos	Tipos de exposición de las estructuras, de acuerdo con la clasificación de las Tablas 2.1. y 2.2. y sus complementarias 2.3. y 2.4.									
	A 1	A 2	A 3 y M 1	C L y M 2	M 3	C 1 ⁽²⁾	C 2 ⁽²⁾	Q 1	Q 2	Q 3 ⁽³⁾
a) Razón a/c máxima ⁽¹⁾										
Hormigón simple	----	----	----	0,45	0,45	0,45	0,40	0,50	0,45	0,40
Hormigón armado	0,60	0,50	0,50	0,45	0,40	0,45	0,40	0,50	0,45	0,40
Hormigón pretensado	0,60	0,50	0,50	0,45	0,40	0,45	0,40	0,50	0,45	0,40
b) f'c min (MPa)										
Hormigón simple	----	----	----	30	35	30	35	30	35	40
Hormigón armado	20	25	30	35	40	30	35	30	35	40
Hormigón pretensado	25	30	35	40	45	30	35	35	40	45
Penetración de agua o succión capilar según 2.2.11.	no	si	si	si	si	si	si	si	si	si

(1) Cuando se use cemento pórtland más una o varias adiciones minerales activas incorporadas directamente en planta elaboradora, se podrá reemplazar la **razón agua/cemento (a/c)**, por la **razón agua/ material cementicio [a/(c+x)]**, que tenga en cuenta la suma del cemento pórtland (c) y la cantidad de la adición mineral (x), cuando se trate de puzolanas según norma IRAM 1668:1968 o de escorias según norma IRAM 1667:1990.

(2) Debe incorporarse intencionalmente aire, en la cantidad requerida en la Tabla 5.3..

(3) Cuando corresponda se debe proteger a la estructura según 2.2.5.2.c3 ó 2.2.10.3.

Tabla 2.6. Contenido máximo de ión cloruro (Cl⁻) en el hormigón endurecido

Hormigón	Condición de exposición en servicio	Contenidos máximos de ión cloruro (Cl ⁻) en el hormigón endurecido (IRAM 1857)
		% en masa del cemento
Sin armar	Cualquier condición	1,20
Armado, con curado normal	Medio ambiente con cloruros	0,15
	Medio ambiente sin cloruros	0,30
Armado, con curado a vapor	Cualquier condición	0,10
Pretensado	Cualquier condición	0,06

2.3. RESISTENCIA DE LOS HORMIGONES

2.3.1. Resistencia especificada

2.3.1.1. La **resistencia especificada o resistencia característica de rotura a compresión f'_c** es el valor de la resistencia a compresión que se adopta en el proyecto y se utiliza como base para los cálculos.

2.3.1.2. La **resistencia especificada se debe indicar en los planos y Documentos del Proyecto.**

2.3.2. Clases de hormigón

Para el proyecto y construcción de las estructuras se deben utilizar una, o más clases de hormigones de los indicados en la Tabla 2.7. También se deben respetar las restricciones establecidas en el **Reglamento Argentino para Construcciones Sismorresistentes INPRES-CIRSOC 103, Parte II-2005**, para las distintas zonas sísmicas.

Tabla 2.7. Resistencias de los hormigones

Clase de hormigón	Resistencia especificada a compresión f'_c (MPa)	A utilizar en hormigones
H – 15	15	simples (sin armar)
H – 20	20	simples y armados
H – 25	25	Simples, armados y pretensados
H – 30	30	
H – 35	35	
H – 40	40	
H – 45	45	
H – 50	50	
H – 60	60	

2.3.3. Edad de diseño

2.3.3.1. Los Documentos del Proyecto deben establecer la **edad de diseño** a la cual se debe verificar la resistencia especificada. Dicha edad de diseño tendrá en consideración el tipo de estructura, el momento de su puesta en servicio y el cemento a utilizar en la construcción.

Cuando los Documentos del Proyecto no establezcan una **edad de diseño diferente**, ella se debe adoptar igual a **28 días**.

2.3.3.2. Cuando el hormigón se elabore con aditivos y/o adiciones minerales activas que modifiquen el desarrollo de la resistencia del cemento utilizado, los Documentos del Proyecto también deben indicar la **edad de diseño**. Cuando ella no se especifique se la debe adoptar igual a **28 días**.

2.3.3.3. En las estructuras masivas, cuando se utilicen cementos que tengan un desarrollo de resistencia importante posterior a **28 días**, se podrá considerar una edad de diseño superior a 28 días. En este caso, la edad de diseño adoptada debe constar en los planos y en los documentos del Proyecto.

2.4. REQUISITOS DE LOS HORMIGONES CON CARACTERISTICAS ESPECIALES

2.4.1. Existen estructuras y elementos estructurales que para su construcción requieren la utilización de **hormigones con características especiales**.

2.4.2. Este Reglamento establece las condiciones mínimas que se deben tener en cuenta para los siguientes tipos de hormigones:

- hormigones a colocar bajo agua.
- hormigones de elevada impermeabilidad.
- hormigones expuestos a abrasión.

2.4.3. Los hormigones mencionados en el artículo 2.4.2. deben cumplir con los requisitos que se indican en la Tabla 2.8, además de todos los que les correspondan de acuerdo con lo establecido en los artículos 2.2. y 2.3.

Tabla 2.8. Hormigones con características especiales

Tipo de hormigón	Hormigón a colocar bajo agua	Hormigón de elevada impermeabilidad	Hormigón expuesto a abrasión
Casos típicos	Pilotes de gran diámetro.	<ul style="list-style-type: none"> • Cisternas. • Depósitos para agua. • Conductos. • Tuberías. 	<ul style="list-style-type: none"> • Resbalamiento de materiales a granel. • Movimiento de objetos pesados. • Escurrimiento rápido de agua
Máxima razón agua/cemento, en masa	0,45	espesor \leq 500 mm: 0,45 espesor $>$ 500 mm: 0,55	0,42
Clase mínima de hormigón	H-30	espesor \leq 500 mm: H-30 espesor $>$ 500 mm: H-20	H-40
Aire incorporado	si	no	no
Aditivo fluidificante	recomendable	recomendable	recomendable
Aditivo superfluidificante	recomendable	recomendable	recomendable
Asentamiento (mm)	180 \pm 20	menor de 150	menor de 100
Penetración de agua IRAM 1554:1983	-----	Para espesor de hormigón \leq 500 mm, la penetración de agua en el ensayo IRAM 1554:1983 debe ser igual o menor que 30 mm (2.2.11.2).	-----
Exigencias adicionales a cumplir por los agregados	<p>Agregado grueso:</p> <p>Tamaño máximo nominal igual o menor que 25 mm</p>	-----	<p>Agregado grueso:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tamaño máximo nominal \leq 26,5 mm • Tamaño máximo nominal no mayor de 1/3 del espesor del elemento estructural. • Desgaste "Los Angeles" igual o menor que 30 % (3.2.4.5).