

REVISION DE NORMAS NACIONALES E INTERNACIONALES DE CEMENTOS

Vitale, G.¹

RESUMEN

En este trabajo se realiza una revisión de normas correspondientes a cementos, con base en clinker de cemento portland, dicha revisión es motivada por el cambio en la especificación de cementos de la norma IRAM. Se analizan las nuevas normas IRAM y se las compara con ASTM y UNE. El objetivo de la revisión es identificar las diferentes adiciones que utilizan las diferentes normativas y los porcentajes de reemplazo de clinker de cemento Portland que las mismas permiten. Del mismo modo se comparan los requisitos físicos, químicos y mecánicos que cada norma impone.

INTRODUCCIÓN

En Argentina, como en la mayoría de los países productores de cemento, los cementos que se fabrican contienen diferentes tipos de adiciones minerales que se incorporan al clinker de cemento Portland, constituyendo sistemas cementicios binarios, ternarios, etc., en función del número de adiciones que intervengan.

Las adiciones minerales utilizadas pueden ser hidráulicamente activas, o sea que en contacto con agua y con hidróxido de calcio proveniente de la hidratación del cemento Portland "puro", forman compuestos de silicatos hidratados que por su secuencia de formación se denominan secundarios. Este es el caso de cenizas volantes, silica fume, escoria granulada de alto horno, puzolanas naturales, arcillas activadas, entre otras. Existe otro tipo de adición, el filler calcáreo, que no se considera hidráulicamente activo, aunque algunas investigaciones consideran que se producen determinadas reacciones químicas en la superficie de dichas partículas.

El filler calcáreo es un material de naturaleza inorgánica compuesto principalmente por carbonato de calcio, que molido conjuntamente con el clinker de cemento portland incide favorablemente en las propiedades en estado fresco y endurecido de morteros y hormigones. El filler calcáreo no tiene la capacidad de generar productos de hidratación de la clase de los silicatos de calcio hidratados. La mayoría de la investigaciones, sobre la forma de actuar del filler calcáreo, conducen a, el efecto "filler" generado a partir de partículas suficientemente finas, el incremento de la velocidad de hidratación del clinker, la formación de carbono aluminatos, la modificación de la micro estructura.

Entre las razones por las cuales se han desarrollado este tipo de cementos con adiciones, podemos citar, cuestiones ecológicas, económicas y tecnológicas.

¹ Becario CIC-LEMIT.

gervasiovitale@hotmail.com

Director: Dr. R. Zerbino (Investigador CONICET-LEMIT- Prof. UNLP)

La producción de cemento Pórtland involucra un gran consumo de energía, debido a que implica una transformación química de materias primas en un horno a elevada temperatura. Esto a su vez genera importantes cantidades de CO₂ que influye negativamente sobre el ambiente (efecto invernadero). Aproximadamente el 7% del CO₂ mundial es atribuible a la producción de cemento Pórtland. La producción de cada tonelada de cemento Pórtland contribuye con aproximadamente una tonelada de dióxido de carbono a la atmósfera. Por otro lado la industria del cemento es una gran consumidora de recursos naturales no renovables tales como arcillas y caliza, materias primas para la elaboración del cemento. La utilización de subproductos industriales, como materiales cementíceos suplementarios contribuyen al desarrollo sustentable de la industria del cemento.

Existen razones tecnológicas favorables para la utilización de este tipo de adiciones en el cemento entre las que podemos citar mayor refinamiento de la estructura de poros debido a la reacción puzolánica, menor generación de calor durante la hidratación con la consecuente menor tendencia a la fisuración térmica, además, los hormigones elaborados con cemento con adiciones presentan, en general, menor exudación que un hormigón elaborado a partir de un cemento Pórtland "puro".

Entre las razones económicas para la utilización de adiciones en el cemento podemos citar la generación de un valor agregado a determinados subproductos industriales con potenciales propiedades cementantes que de otro modo no encontrarían utilización alguna y serían dispuestos finalmente como rellenos con el riesgo de contaminar suelos, acuíferos y la atmósfera. La utilización de adiciones permite aumentar la capacidad instalada de las fábricas de cemento con una eventual reducción de costos.

NORMA IRAM

Nuevas normas de cementos

En el año 2000 entraron en vigencia nuevas normas de especificación de cementos. La IRAM 50000 establece las especificaciones de CEMENTOS PARA USO GENERAL y la IRAM 50001 establece las especificaciones de CEMENTOS CON PROPIEDADES ESPECIALES. Estas nuevas normas engloban a un conjunto de cementos que antes tenían normas de especificación individuales y no incluyen a los cementos de albañilería, no aptos para usos estructurales, cuya especificación continúa siendo cubierta por la norma IRAM 1685.

En las Tablas 1 y 2 se presenta la nomenclatura actual y su equivalencia con la nomenclatura antigua.

Como se observa en la Tabla 1, el único cambio en las especificaciones de cementos para uso general es el nombre del **cemento de escoria de alto horno**, que creaba confusión con el cemento Pórtland con escoria de alto horno, por lo que se lo designó **cemento de alto horno**.

Es importante remarcar que los requisitos de composición, químicos y físico-mecánicos no han sido modificados y se mantienen inalterados con respecto a la normativa antigua, esto hace a una similitud, en este aspecto, entre la normativa actual y la antigua.

Tabla 1. Equivalencia entre la nomenclatura nueva y antigua de cementos para uso general.

IRAM 50000		Normativa antigua	
Tipo de cemento		Denominación	IRAM
CPN	Cemento Pórtland normal	Idem	1503
CPF	Cemento Pórtland con filler calcáreo	Idem	1592
CPE	Cemento Pórtland con escoria de alto horno	Idem	1636
CPC	Cemento Portland compuesto	Idem	1730
CPP	Cemento Portland puzolánico	Idem	1651
CAH	Cemento de alto horno	Cemento de escoria de alto horno	1630

Tabla 2. Equivalencia entre la nomenclatura nueva y antigua de cementos con propiedades especiales.

IRAM 50001		Normativa antigua	
Tipo de cemento		Denominación	IRAM
ARI	De alta resistencia inicial	Idem	1646
MRS	Moderadamente resistente a los sulfatos	Idem	1656
ARS	Altamente resistente a los sulfatos	Idem	1669
BCH	De bajo calor de hidratación	Idem	1670
RRAA	Resistente a la reacción álcali-agregado	Idem	1671
B	Blanco	Idem	1691

Otro aspecto importante de destacar es que se establece un esquema de evaluación de la conformidad y de certificación de producto, que implica un sistema externo de verificación de la calidad aún más riguroso que el llevado a cabo hasta la fecha.

La "evaluación de la conformidad", se trata en el capítulo 8 de la norma IRAM 50000:2000, y sus objetivos son: establecer el esquema para la evaluación de la conformidad de cementos con los requisitos establecidos en sus correspondientes especificaciones de producto; establecer las condiciones para el otorgamiento, por tercera parte, de una certificación de conformidad; establecer reglas técnicas para el control de calidad en planta por el fabricante, incluyendo los ensayos de autocontrol de muestras y las tareas de la tercera parte.

Las nuevas normas exigen que el productor de cemento cuente con un sistema de calidad según IRAM – IACC – ISO E 9001 ó 9002, complementado con la certificación de sus productos.

IRAM 50000. Cementos para uso general

Esta norma engloba a un conjunto de cementos para uso general en la construcción en un solo documento facilitando la utilización por parte del usuario. (Tabla 1)

Especifica los componentes de los cementos para uso general basados en clinker de cemento Pórtland, y las proporciones en que deben combinarse para producir una serie de tipos y clases de cemento. Establece, asimismo, las exigencias mecánicas, físicas y químicas aplicables a estos tipos y clases de cementos y establece las condiciones de recepción de los mismos.

Los cementos para uso general son aquellos aptos para aplicaciones estructurales y que además pueden utilizarse para aplicaciones no estructurales en la construcción.

Los cementos conformes a esta norma se subdividen en seis tipos. En la Tabla 3 se especifica la nomenclatura y composición de los mismos en cuanto al porcentaje de reemplazo permitido para cada tipo de adición. Las adiciones permitidas por esta norma como reemplazo de clinker de cemento Pórtland son puzolanas naturales (IRAM 1668), escoria granulada de alto horno (IRAM 1667) y filler calcáreo (IRAM 1593).

Los cementos conformes a esta norma deben cumplir requisitos, físicos, tales como, finura, constancia de volumen, tiempo de fraguado, contracción por secado; mecánicos, desarrollo de resistencia y químicos, pérdida por calcinación, cloruros sulfuros, etc., según su tipo. En Tablas 1, 2 y 3 del Anexo Tablas se muestran dichos requisitos.

Tabla 3. Tipo, nomenclatura y composición de los cementos para uso general.

Tipo de cemento	Nomenclatura	Composición (g/100g)			
		Clinker+ sulfato de calcio	Puzolana (P)	Escoria (E)	Filler calcáreo (F)
Cemento Portland normal	CPN	100-90		0-10	
Cemento Pórtland con filler calcáreo	CPF	99-80			1-20
Cemento Pórtland con escoria	CPE	89-65		11-35	
Cemento Pórtland compuesto	CPC	98-65	Dos o más con P+E+F ≤ 35		
Cemento Pórtland puzolánico	CPP	85-50	15-50		
Cemento de alto horno	CAH	65-25		35-75	

Los cementos para uso general se identifican del siguiente modo: tres letras que identifican el tipo de cemento, referido a su composición, tal como se indica en la Tabla 3 más dos dígitos que indican la categoría de resistencia a la que pertenece el cemento. Tabla 2 del Anexo Tablas.

IRAM 50001. Cementos con propiedades especiales

Esta norma engloba a un conjunto de tipo de cementos que poseen propiedades especiales. (Tabla 2). Los cementos con propiedades especiales, además de cumplir con los requisitos establecidos en la norma IRAM 50000, deben cumplir con los requisitos específicos indicados para cada caso según corresponda. Los requisitos pueden ser de alta o moderada resistencia a los sulfatos, en donde se establecen límites al contenido de aluminatos en el cemento si se trata de cemento portland normal, o en el clinker, en el caso de cemento con adiciones. De alta resistencia inicial en donde se especifica la finura y el desarrollo de resistencia que debe cumplir. De bajo calor de hidratación se establece el desarrollo de calor máximo que puede generar el cemento durante la hidratación. Cementos resistentes a la reacción álcali – agregado en donde se establece la máxima expansión permitida. Cemento blanco en donde se especifica las propiedades que debe cumplir. En las Tablas 4, 5, 6, 7, 8 y 9 del Anexo Tablas se muestran dichas especificaciones.

NORMA UNE

El estado actual de las principales normas para cementos, sancionadas en el 2002, es el siguiente:

UNE 197-1:2000: Para cementos comunes: definiciones, denominaciones, designaciones, composición y especificaciones de los mismos.

UNE 80303-1:2001: Para cementos resistentes a los sulfatos.

UNE 80303-2:2001: Para cementos resistentes al agua de mar.

UNE 80303-3:2001: Para cementos de bajo calor de hidratación.

UNE 80304:2001: Para el cálculo de la composición potencial del clinker Pórtland.

UNE 80305:2001: Para cementos blancos.

UNE 80307:2001: Para cementos para usos especiales.

UNE 80309:1994: Para cementos naturales.

UNE 80310:1996: Para cementos de aluminato de calcio.

UNE-ENV 413-1:1995: Para cementos de albañilería.

UNE 80401:1991(EN 196-8:1989): Para toma y preparación de muestras de cemento.

UNE 80402:2002: Para suministro y control de recepción de cementos.

UNE 197-2:2000: Para evaluación de la conformidad.

Con carácter general, en todas ellas figuran los distintos tipos, subtipos y clases o categorías de resistencia de los cementos, a los que en cada caso afectan, incluyendo la definición – denominación y designación de los mismos, su composición, especificaciones mecánicas, físicas, químicas y de durabilidad, así como los correspondientes criterios de conformidad y , en su caso, las características especiales o adicionales, si las hubiere.

La norma UNE 197-1:2000 comprende a los cementos comunes utilizados con carácter general en morteros y hormigones de todas clases, agrupados en los siguientes tipos, con sus respectivas denominaciones y designaciones, Tabla 4.

Tabla 4. Tipos de cementos.

Tipos de cemento	Designaciones	Denominaciones
I	CEM I	Cemento Pórtland
II	CEM II	Cemento Pórtland con adiciones
III	CEM III	Cemento Pórtland con escorias de horno alto
IV	CEM IV	Cemento puzolánico
V	CEM V	Cemento compuesto

Algunos de estos tipos se subdividen en subtipos, según el contenido de la adición o mezcla de adiciones presentes en el cemento. Estos subtipos, según dicho contenido creciente, pueden ser A, B ó C. Las adiciones acompañantes en todo caso del clinker Pórtland, designado por "K", pueden ser, con sus denominaciones y designaciones las siguientes, Tabla 5.

Tabla 5. Tipos de adiciones.

Adiciones	
Denominaciones	Designaciones
Escoria de horno alto	S
Humo de sílice	D
Puzolana natural	P
Puzolana natural calcinada	Q
Ceniza volante silícea	V
Ceniza volante calcárea	W
Esquisto calcinado	T
Caliza L	L
Caliza LL	LL

Todas estas adiciones, pueden ser "componentes principales" de los cementos junto con el clinker K, ya sea en forma aislada o conjunta según los casos (una o más adiciones), si forman parte de los mismos en proporciones altas, esto es superiores a 5 %. En forma semejante, pueden ser "componentes minoritarios", si su proporción total (una adición aislada o varias), es igual o inferior a 5 %. De este modo, los tipos y subtipos de los cementos, en función de las adiciones que contengan, quedan constituidos como lo muestra la Tabla 6, con sus respectivas denominaciones y designaciones.

Tabla 6. Tipos y subtipos de cementos.

Tipo de cemento	Subtipo	Denominación	Designación
CEM I	Sin subtipo	Cemento Pórtland	CEM I
CEM II	A B	Cemento Pórtland con escoria de horno alto	CEM II/A-S CEM II/B-S
	Sólo A	Cemento Pórtland con humo de sílice	CEM II/A-D
	A B	Cemento Pórtland con puzolana natural	CEM II/A-P CEM II/B-P
	A B	Cemento Pórtland con puzolana natural calcinada	CEM II/A-Q CEM II/B-Q
	A B	Cemento Pórtland con ceniza volante silícea	CEM II/A-V CEM II/B-V
	A B	Cemento Pórtland con ceniza volante calcárea	CEM II/A-W CEM II/B-W
	A B	Cemento Pórtland con esquisto calcinado	CEM II/A-T CEM II/B-T
	A B	Cemento Pórtland con caliza L	CEM II/A-L CEM II/B-L
	A B	Cemento Pórtland con caliza LL	CEM II/A-LL CEM II/B-LL
	A B	Cemento Pórtland mixto con todas las adiciones	CEM II/A-M CEM II/B-M
CEM III	A B C	Cemento con escoria de horno alto	CEM III/A CEM III/B CEM III/C
CEM IV	A B	Cemento puzolánico con D, P, Q, V, W	CEM IV/A CEM IV/B
CEM V	A B	Cemento compuesto con S, P, Q, V	CEM V/A CEM V/B

Resultan así los 27 cementos de la Norma, cuyos márgenes de contenidos, cualitativa y cuantitativamente en cuanto a componentes principales y secundarios se refiere son los de la Tabla 10 del Anexo Tablas.

A todos los tipos y subtipos de cemento de la Tabla 10 del Anexo Tablas les puede corresponder alguna de las clases o categorías de resistencia de la Tabla 7.

Tabla 7. Categorías de resistencia.

Clase de Resistencia	Resistencia a compresión MPa (N/mm ²)			
	Resistencia inicial		Resistencia normal	
	2 días	7 días	28 días	
32.5 N	---	≥ 16.0	≥ 32.5	≤ 52.5
32.5 R	≥ 10.0	---		
42.5 N		≥ 20.0	---	≥ 42.5
42.5 R	---			
52.5 N	≥ 30.0	---	≥ 52.5	---
52.5 R		---		

En las Tablas 11 y 12 del Anexo Tablas, se establecen las especificaciones que deben cumplir los cementos resistentes a los sulfatos, limitando principalmente el contenido de aluminatos, y al agua de mar respectivamente. Los cementos de bajo calor de hidratación (UNE 80303-3) son aquellos pertenecientes a la norma UNE 197-1 que a la edad de 5 días desarrollan una energía térmica inferior a 272 J/g.

Los cementos deben cumplir con especificaciones mecánicas, las cuales se refieren a las clases de resistencia exigidas a cada edad; físicas, se refiere a los tiempos de fraguado, expansión máxima admisible, máximo calor de hidratación blanca mínima y finura; químicas, especifica los valores máximos porcentuales en masa admisible para la pérdida por calcinación PC, el residuo insoluble RI, el contenido de sulfatos expresados como SO₃, el de cloruros expresado como CL⁻, y la puzolanicidad.

Las especificaciones de durabilidad señalan que para aplicaciones del cemento en condiciones ambientales severas, la elección del mismo influye en la durabilidad de las mezclas, en función de las clases de exposición a que dichas mezclas puedan estar sometidos. En este sentido, la elección del cemento, en cada caso, será la que las reglamentaciones para las mezclas – morteros y hormigones- válidas en el lugar de uso del cemento, se impongan. En las Tablas 13, 14 y 15 del Anexo Tablas se muestran dichas especificaciones.

NORMA ASTM

Realiza la especificación de cementos bajo dos normas la ASTM C 150, especificación para cemento portland y ASTM C 595 especificación para cementos hidráulicos mezcla.

ASTM C 150 Especificación para cemento Pórtland

Estos cementos se producen modificando la composición del compuesto del clinker del cemento portland. Los silicatos de calcio, C₃S, C₂S, continúan siendo los constituyentes cementantes principales; solamente las fases de aluminato y de ferrita son alterados adecuadamente para obtener las propiedades deseadas, Tabla 8.

Esta especificación cubre ocho tipos de cementos Pórtland:

Tipo I: Para ser usados cuando no son requeridas propiedades especiales. No se imponen límites en ninguno de los cuatro componentes principales del cemento.

Tipo IA: Cemento Tipo I con aire incluido, en donde se desea la inclusión de aire.

Tipo II: Para uso general, más específicamente cuando se desea resistencia moderada a los sulfatos o un calor moderado de hidratación.

Tipo IIA: Cemento Tipo II con aire incluido, cuando se desea la inclusión de aire.

Tipo III: Para ser usado cuando se desea alta resistencia inicial.

Tipo IIIA: Cemento Tipo III con aire incluido, cuando se desea la inclusión de aire.

Tipo IV: Para ser usado cuando se desea un bajo calor de hidratación.

Tipo V: Para usarse cuando se desea alta resistencia a los sulfatos.

Tabla 8. Composición de cementos ASTM C 150.

Composición típica de compuestos de varios tipos de cemento Pórtland disponible en EEUU					
Tipo ASTM	Descripción general	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
I	Propósito general	45-55	20-30	8-12	6-10
II	Prop. general con moderada resist. a los sulfatos y moderado calor de hidratación	40-50	25-35	5-7	6-10
III	Alta resistencia inicial	50-65	15-25	8-14	6-10
V	Resistente a los sulfatos	40-50	25-35	0-4	10-20

Cada uno de los cementos deberá cumplir con los respectivos requerimientos químicos, tales como, pérdida por calcinación, contenido de óxidos, contenido de aluminatos, etc. De igual modo deberán cumplir con los requerimientos físicos correspondientes, tales como, finura, desarrollo de resistencia, tiempo de fraguado, etc. En las Tablas 16, 17, 18 y 19 del Anexo Tablas se muestran dichas especificaciones.

Certificado de fabricación

Sobre solicitud del comprador en el contrato u orden de compra, el fabricante deberá anexar un informe indicando, al tiempo del despacho, el estado de los resultados de los ensayos realizados sobre muestras del material tomado durante su producción ó transferir y certificar, cómo los requerimientos aplicables a esa especificación han sido realizados.

ASTM C 595 Especificación para cementos hidráulicos mezcla

Esta especificación cubre cinco clases de cementos hidráulicos mezcla para aplicaciones generales y especiales, usando escoria ó puzolana, ó ambas, con cemento Pórtland ó clinker de cemento Pórtland ó escoria con cal.

Clasificación

Los cementos mezcla cubiertos por esta especificación son los siguientes:

Cemento portland con escoria de alto horno: Un tipo, con tres especificaciones opcionales.

Tipo IS: Cemento Pórtland con escoria de alto horno para uso general en la construcción. Moderada resistencia a los sulfatos, aire incorporado, ó moderado calor de hidratación ó una combinación puede ser especificada. (MS), (A), (MH).

Cemento portland puzolánico: Dos tipos, cada uno con tres especificaciones opcionales.

Tipo IP: Cemento Pórtland puzolánico para uso general en la construcción. Moderada resistencia a los sulfatos, aire incorporado, ó moderado calor de hidratación ó una combinación puede ser especificada. (MS), (A), (MH).

Tipo P: Cemento Pórtland puzolánico para utilizar en estructuras de hormigón cuando no es requerida alta resistencia a edad temprana. Moderada resistencia a los sulfatos, aire incorporado, ó bajo calor de hidratación ó una combinación pueden ser especificados. (MS), (A), (LH).

Cemento de escoria: Un tipo.

Tipo S: Cemento de escoria para usar en combinación con cemento Pórtland en la elaboración de hormigón. Aire incorporado puede ser especificado. (A).

Cemento portland modificado con puzolana: Un tipo.

Tipo I (PM): Cemento Pórtland modificado con puzolana para uso general en la construcción. Moderada resistencia a los sulfatos, aire incorporado, ó moderado calor de hidratación, ó una combinación puede ser especificada. (MS), (A), (MH). El cemento portland modificado con puzolana no podrá ser utilizado cuando características especiales al uso de grandes cantidades de puzolana en el cemento Pórtland puzolánico sean necesarias.

Cemento portland modificado con escoria: Un tipo.

Tipo I (SM): Cemento Pórtland modificado con escoria para uso general en la construcción. Moderada resistencia a los sulfatos, aire incorporado, ó moderado calor de hidratación, ó una combinación pueden ser especificados. (MS), (A), (MH).

Las proporciones de reemplazo se observan en la Tabla 9.

Estos cementos deben cumplir los requerimientos químicos y físicos correspondientes. En Tablas 20 y 21 del Anexo Tablas se muestran dichas especificaciones.

Tabla 9. Tipos y composición de cementos hidráulicos mezcla. (ASTM C 595).

Tipo de cemento	Tipo	Composición (g/100g)		
		Clinker + sulf. calcio	Puzolana	Escoria
Cemento portland con escoria de alto horno	IS	75-30		25-70
Cemento portland modificado con escorias	I (SM)	> 75		< 25
Cemento portland puzolánico	IP, P	85-60	15-40	
Cemento portland modificado con puzolana	I (PM)	> 85	< 15	
Cemento de escoria.	S	< 30		> 70

COMPARACION ENTRE LAS TRES NORMAS

En la Tabla 10, se observan las distintas adiciones indicadas por las tres normativas en la elaboración de cementos Pórtland mezclados.

Tabla 10. comparación de las adiciones indicadas por las distintas normas para elaborar cementos mezclados, siempre en presencia de clinker de cemento Pórtland.

NORMA	ADICIONES UTILIZADAS
IRAM	Puzolana natural, Escoria granulada de alto horno, Filler calcáreo.
UNE	Escoria de alto horno, Puzolana natural, Humo de sílice, Puzolana natural calcinada, Ceniza volante silícea, ceniza volante calcárea, Esquisto calcinado, Filler calcáreo.
ASTM	Puzolana natural, Escoria granulada de alto horno.

La norma IRAM permite la incorporación de adiciones, tales como puzolanas naturales, filler calcáreo escoria granulada de alto horno, que son ampliamente disponibles en Argentina ya sea en forma natural puzolanas y fillers, los cuales deben ser tratados para otorgarles las propiedades particulares necesarias, o subproductos de la industria del acero. Las puzolanas son ampliamente disponibles en la cordillera de Los Andes, mientras las escorias son provistas por las acerías del país. Constituyendo de este modo los seis tipos de cementos con adiciones que la norma especifica. La disponibilidad de microsilice de origen local es nula, por lo tanto para disponer de esta se la debe importar con el consecuente aumento en el costo, debido a esto no se especifica su utilización como adición al cemento. Un caso similar ocurre con las cenizas volantes.

La norma UNE involucra una gran cantidad de adiciones que en distintos porcentajes y combinaciones constituyen los 27 tipos de cementos de esta norma anteriormente descritos, Tabla 10 del Anexo Tablas. Esta norma además asigna definiciones de "componentes principales" a aquellas adiciones que se incorporan en más de 5 % y "componentes minoritarios" a aquellos que se incorporan en menos de 5 %.

La norma ASTM C 595 para cementos hidráulicos mezclados, como se describió, cubre cinco clases de cementos, pero la producción comercial está limitada al cemento Pórtland de escoria de alto horno (Tipo IS) y al cemento Pórtland con puzolana (Tipo IP).

Categorías de resistencia

Las categorías de resistencia, de los cementos, que establecen las normas IRAM y UNE son semejantes, éstas establecen rangos de resistencia a compresión de 30, 40 y 50 MPa, evaluados a 28 días sobre mortero normalizado. (Tabla 7 y Tabla 2 del anexo Tablas). Para los cementos correspondientes a las categorías de 30 y 40 MPa además de establecer un resistencia mínima a los 28 días de 30 y 40 MPa respectivamente, establece resistencias máximas de 50 y 60 MPa, respectivamente, que no se deben superar, esto hace a un mejor control de producción de dichos cementos. En el caso del cemento de categoría resistente 50 MPa no se establece, en ambas normas, ninguna restricción de resistencia máxima a los 28 días Una diferencia a destacar es que la norma UNE además realiza una categorización en función de la velocidad de ganancia de resistencia según: N – normal, R –rápido. ASTM no realiza la especificación de cementos en rangos de resistencias.

Tipos de cementos

Se observa una aproximada similitud tanto en la denominación de los cementos como en los porcentajes de adición entre las normas IRAM y UNE. (Tabla 3 y Tabla 10 del Anexo Tablas). Se debe recordar que la norma UNE admite una mayor variedad de tipos de adiciones. En la Tabla 11 se resumen algunos cementos desde ambas normas. Una diferencia importante entre ambas normativas es que UNE realiza una clasificación en función del porcentaje creciente de reemplazo, pudiendo ser A, B ó C (Tabla 10 del Anexo Tablas), lo cual hace a un mayor conocimiento por parte del usuario de la composición del cemento.

En la Tabla 11 se observa que la norma UNE admite hasta un 35 % de filler calcáreo, estando éste limitado a 20 % en la norma IRAM. En el caso del cemento Pórtland con escoria de alto horno no se observa diferencia, al igual que en el cemento Pórtland compuesto. La norma IRAM admite hasta un 75 % de escoria en el cemento de alto horno, para éste ultimo la norma UNE admite hasta un 95%.

La norma ASTM C 595 especifica tres tipos de cementos con adición de escoria aumentando el porcentaje de reemplazo en cada uno de ellos, así especifica el cemento portland modificado con escorias I(SM) que contiene hasta un 25 % de ésta, éste tipo de cemento es aproximadamente "equivalente" al cemento Pórtland con escorias de IRAM (CPE) y al cemento Pórtland con escorias de UNE (CEM II-S), También especifica un cemento de escoria (S) que tiene más de 70 % de escoria, su "equivalente" en IRAM sería el cemento de alto horno (CAH) y en UNE sería el cemento con escoria de horno alto (CEM III), por último también especifica un cemento Pórtland con escoria de alto horno que permite un reemplazo entre 25 - 70 % de escoria.

Tabla 11. Comparación de tipos de cementos según IRAM y UNE.

Tipo de cemento IRAM (UNE)	Nomenclatura IRAM (UNE)	Composición (g/100g) IRAM (UNE)			
		Clinker + sulfato de calcio	Puzolana (P)	Escoria (E)	Filler calcáreo (F)
Cemento portland normal (Cemento portland)	CPN (CEM I)	100-90 (100-95)		0-10	
Cemento portland con filler calcáreo (Cemento portland con caliza)	CPF (CEM II-L,LL)	99-80 (94-65)			1-20 (6-35)
Cemento portland con escoria (Cemento portland con escoria)	CPE (CEM II-S)	89-65 (94-65)		11-35 (6-35)	
Cemento Pórtland compuesto (Cemento Pórtland compuesto)	CPC (CEM II-M)	98-65 (94-65)	Dos o más con P+E+F \leq 35 (6-35)		
Cemento Pórtland puzolánico (Cemento puzolánico)	CPP (CEM IV)	85-50 (89-45)	15-50 (11-55)		
Cemento de alto horno (Cemento con escoria de alto horno)	CAH (CEM III)	65-25 (64-5)		35-75 (36-95)	

Las especificaciones físicas de las normas estudiadas son muy similares, no apreciándose mayores diferencias en este aspecto, en la Tabla 12 se presenta una comparación de algunas propiedades físicas desde las tres normas. Se observa una total coincidencia en la especificación de los tiempos de fraguado inicial, en el caso del tiempo de fraguado final la norma IRAM establece el mayor período, en cambio la norma UNE no establece ningún límite. Con respecto a la finura que deben cumplir los cementos para uso general se observa una diferencia mínima entre las normas IRAM y ASTM, la norma UNE no especifica una finura mínima a cumplir por los cementos. En cuanto a la expansión en autoclave la diferencia entre IRAM y ASTM es mínima.

Tabla 12. Comparación de algunas especificaciones físicas.

Norma	Tiempo de fraguado (Vicat)		Finura (Blaine) (m ² / Kg.)	Expansión en autoclave
	Inicial (minutos)	Final (horas)		
IRAM	45	10	250	1 %
ASTM	45	6.25	280	0.80 %
UNE	45	-	-	10 mm

Las especificaciones mecánicas presentan una total coincidencia entre las normas IRAM y UNE, estas establecen las categorías de resistencia y los niveles de resistencia exigidos a cada edad. La norma ASTM no clasifica a los cementos en categorías de resistencia, pero establece niveles de resistencia a cumplir a determinadas edades.

Los cementos de bajo calor de hidratación de la norma UNE 80303-3 son todos aquellos de la Tabla 10 que a la edad de 5 días desarrollan menos de 272 J/g. Los cementos de la norma IRAM 50001, deben desarrollar menos de 270 J/g a la edad de 7 días y menos de 310 J/g a la edad de 28 días.(Tabla 7 del Anexo Tablas). Los cementos de la norma ASTM C 150 (Tipo IV), deben desarrollar menos de 250 J/g a la edad de 7 días y menos de 290 J/g a la edad de 28 días.(Tabla 19 del Anexo Tablas). No se observan mayores diferencias en este aspecto.

La norma IRAM 50001 especifica dos tipos de cementos resistentes alta y moderadamente a los sulfatos, estableciendo límites a los contenidos de aluminato tricálcico y a la suma de aluminato tricálcico más aluminoferrito tetracálcico ya sea en el cemento o en el clinker en el caso de los cementos con adiciones. Los cementos resistentes a los sulfatos de la norma UNE 80303-1 establece límites a los contenidos de aluminato tricálcico y a la suma de aluminato tricálcico más aluminoferrito tetracálcico. La norma ASTM C 150 establece dos especificaciones de cementos a la acción de sulfatos, estas son, cemento Tipo II moderadamente resistente a los sulfatos y cemento tipo V altamente resistente a los sulfatos. Esta especificación coincide con la estructura de la norma IRAM en dividir en cementos moderadamente y altamente resistente a los sulfatos. Comparando las tres normas se observa que los valores límites del contenido de aluminatos y ferroaluminatos son prácticamente los mismos.

Se debe notar que la normativa española posee una especificación para cementos resistentes al agua de mar UNE 80303-2, que no tiene "equivalencia" en IRAM y ASTM, pero, se sabe que los cementos que son resistentes a los sulfatos resisten al agua de mar por la mayor exigencia del ensayo a los sulfatos, la reciprocidad no se cumple.

CONSIDERACIONES FINALES

Con respecto a las nuevas normas de cementos IRAM:50000, 50001, las mismas no introducen ninguna modificación, desde el punto de vista técnico, en los requisitos para los cementos. Estas tienen una estructura que facilita la tarea del usuario en lo que hace a la selección del tipo de cemento a emplear en una determinada construcción. Anteriormente el usuario que debía especificar un cemento, se encontraba frente a 13 normas IRAM diferentes, sin ninguna orientación acerca de si un cemento determinado servía para cualquier uso o si se trataba de un cemento especial. La nueva estructura normativa simplifica la tarea de los usuarios, ya que separa a los cementos en dos grandes grupos, los cementos para uso general y los cementos con propiedades especiales.

El enfoque de englobar los distintos tipos de cementos en una única norma, sigue los lineamientos de la Norma Europea de cementos, CEN 197:2000. Esto hace a la gran similitud entre las normas IRAM 50000, IRAM 50001 y la norma española UNE 2002 para cementos.

Las adiciones que utiliza cada norma responde a necesidades y disponibilidad de las mismas a nivel local, de este modo en Argentina no se especifica el uso de materiales puzolánicos, tales como microsilice o cenizas volantes, por la nula disponibilidad local de los mismos.

De la comparación realizada surge que, las especificaciones de cemento estudiadas, responden a necesidades locales, pero en lo que respecta a aspectos técnicos son aproximadamente iguales variando de una a otra en detalles menores, o en la metodología de ensayo de algunas propiedades.

REFERENCIAS

- (1) IRAM 1503 (1998), Cemento Pórtland normal.
- (2) IRAM 1592 (1998), Cemento Pórtland con filler calcáreo.
- (3) IRAM 1636 (1989), Cemento Pórtland con escoria de alto horno.
- (4) IRAM 1651 (1998), Cemento Pórtland puzolánico.
- (5) IRAM 1630 (1998), Cemento de escoria de alto horno.
- (6) IRAM 1646 (1967), Cemento Pórtland de alta resistencia inicial.
- (7) IRAM 1670 (1970), Cemento Pórtland de bajo calor de hidratación.
- (8) IRAM 1671 (1970), Cemento Pórtland resistente a la reacción álcali – agregado.
- (9) IRAM 1691 (1973), Cemento portland blanco.
- (10) IRAM 1730 (1997), Cemento portland compuesto.
- (11) IRAM 50000 (2000), Cemento para uso general.
- (12) IRAM 50001 (2000), Cementos con propiedades especiales.
- (13) UNE – EN 197 – 1(2000), Para cementos comunes: definiciones, denominación, designaciones, composición, clasificación y especificaciones de los mismos.
- (14) UNE 80303 - 1 (2000), Cementos resistentes a los sulfatos.
- (15) UNE 80303 - 2 (2000), Cementos resistentes al agua de mar.
- (16) UNE 80303 - 3 (2000), Cementos de bajo calor de hidratación.
- (17) UNE 80304 (2000), Cálculo de la composición potencial del clinker Pórtland.
- (18) UNE 80305 (2000), Cementos blancos.
- (19) UNE 80307 (2000), Cementos para usos especiales.
- (20) UNE 80310 (2000), Cementos de aluminato de calcio.
- (21) EN 197 - 2 (2000), Evaluación de la conformidad.
- (22) ASTM C 150 (1998), Standard specification for portland cement, Annual book of ASTM standards, vol. 04.02, American Society for Testing and Materials, USA, 1999, pp.92-96.
- (23) ASTM C 595 (1998), Standard specification for blended hydraulic cement, Annual book of ASTM standards, vol. 04.02, American Society for Testing and Materials, USA, 1999, pp.291-295.

ANEXO TABLAS

Tabla 1. Requisitos físicos. (IRAM 50000)

Requisito		Unidad	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Finura	Material retenido sobre el tamiz IRAM 75 μm .	g/100g	-	15	IRAM 1621
	Superficie específica	Promedio	250	-	IRAM 1623
		Individual	225		
Constancia de volumen	Expansión en autoclave	%	-	1	IRAM 1620
Tiempo de fraguado	Inicial	Minutos	45	-	IRAM 1619
	Final	Horas	-	10	
Contracción por secado *	A los 28 días de la lectura inicial	%	-	0.15	IRAM 1651-1
Requerimiento de agua, por ciento por masa de cemento **		g/100g	-	64	

*Solo se aplica para los cementos tipo CPP.

**Solo se aplica para los cementos tipo CPP y CPC.

Tabla 2. Requisitos mecánicos. (IRAM 50000)

Categoría	Resistencia a la compresión (MPa)				Método de ensayo
	2 d	7 d	28 d		
CP 30	-	Mín. 16	Mín. 30	Máx. 50	IRAM 1622
CP 40	Mín. 10	-	Mín. 40	Máx. 60	
CP 50	Mín. 20	-	Mín. 50	-	

Nota: en todos los casos, los valores de resistencia obtenidos a los 28 días deberán ser mayores a los obtenidos a los 2 días y a los 7 días.

Tabla 3. Requisitos químicos. (IRAM 50000)

Características	Tipo de cemento	Requisito	Unidad	Método de ensayo
Pérdida por calcinación (máximo)	CPN	4	g/100g	IRAM 1504
	CPE			
	CPP			
	CAH	12		
	CPF			
	CPC			
Residuo insoluble (máximo)	CPN	2		
	CPE			
	CPP			
	CAH	5		
	CPF	--		
	CPC			
Trióxido de azufre (SO ₃) (máximo)	CPN	3.50		
	CPE			
	CPP			
	CAH			
	CPF			
	CPC			
Oxido de magnesio (MgO) (máximo)	CPN	5		
	CPE	6		
	CPP			
	CAH	--		
	CPF			
	CPC			
Cloruros (Cl) (máximo)	CPN	0.10		
	CPE			
	CPP			
	CAH			
	CPF			
	CPC			
Sulfuros (S ²⁻) (máximo)	CPN	0.10		
	CPE	0.10		
	CPP			
	CAH	0.50		
	CPF	1		
	CPC			
Coficiente puzolánico	CPP	< 1	---	IRAM 1651-2

Tabla 4. Requisitos específicos de cementos altamente resistente a los sulfatos. (ARS). (IRAM 50001)

Tipo de cemento	Propiedad	Unidad	Requisito	Método de ensayo
CPN	Contenido de aluminato tricálcico (C ₃ A) en el cemento.	%	≤ 4	IRAM 1504
	Contenido de aluminato tricálcico más aluminoferrito tetracálcico (C ₃ A + FAC ₄) en el cemento ó aluminoferrito tetracálcico más ferrito dicálcico (FAC ₄ + FC ₂) en el cemento.		≤ 22	
CPC, CPF, CPE, CAH, o CPP (ver nota)	Contenido de aluminato tricálcico (C ₃ A) en el clinker.		≤ 4	
	Contenido de aluminato tricálcico más aluminoferrito tetracálcico (C ₃ A + FAC ₄) en el clinker ó aluminoferrito tetracálcico más ferrito dicálcico (FAC ₄ + FC ₂) en el clinker.		≤ 22	

Nota: Ante requerimiento del usuario o ente fiscalizador, el productor entregará una muestra del clinker y de la puzolana o de la escoria de alto horno e informará las proporciones empleadas en la elaboración del cemento Pórtland altamente resistente a los sulfatos con adiciones, para que se proceda a su estudio.

Tabla 5 Requisitos específicos de cementos moderadamente resistente a los sulfatos. (MRS). (IRAM 50001)

Tipo de cemento	Propiedad	Unidad	Requisito	Método de ensayo
CPN	Contenido de aluminato tricálcico (C ₃ A), en el cemento.	%	≤ 8	IRAM 1504

Tabla 6 Requisitos específicos de cementos de alta resistencia inicial (ARI). (IRAM 50001)

Tipo de cemento	Propiedad	Unidad	Requisito	Método de ensayo
CPN, CPC, CPF,	Superficie específica (valor promedio)	m ² /Kg.	≥ 400	IRAM 1623
	Superficie específica (valores individuales)		≥ 370	
CPE, CAH, CPP	Resistencia a la compresión	MPa	Edad: 1d ≥ 10	IRAM 1622
			Edad: 2 d ≥ 20	
			Edad: 3 d ≥ 27	
			Edad: 7 d ≥ 40	
			Edad: 28 d ≥ 50	

Tabla 7 Requisitos específicos de cementos de bajo calor de hidratación. (BCH). (IRAM 50001)

Tipo de cemento	Propiedad	Unidad	Requisito	Método de ensayo
CPN, CPP CAH, ó CPE	Calor de hidratación <ul style="list-style-type: none"> • Edad: 7d • Edad 28 d 	J/g	≤ 270 ≤ 310	IRAM 1617
CPN, CPP, CAH, CPF, CPC, ó CPE	Calor de hidratación <ul style="list-style-type: none"> • Edad: 5d 		≤ 270	IRAM 1852 (ver nota)

Nota: cuando existan discrepancias al ensayar los cementos CPN, CPP, CAH ó CPE con el método indicado en la IRAM 1852, se debe ensayar el cemento en cuestión con la IRAM 1617 (Método de referencia), debiendo cumplir con los requisitos establecidos en esta tabla.

Tabla 8 Requisitos específicos de cementos resistentes a la reacción álcali – agregado.(RRAA). (IRAM 50001)

Tipo de cemento	Propiedad	Unidad	Requisito	Método de ensayo
CPN, CPP, CAH CPF, CPC, ó CPE	Expansión <ul style="list-style-type: none"> • Edad: 14 d • Edad: 56 d 	%	≤ 0.020 ≤ 0.060	IRAM 1648

Tabla 9 Requisitos específicos de cementos blancos. (B). (IRAM 50001)

Tipo de cemento	Propiedad	Unidad	Requisito	Método de ensayo
CPN, CPF, ó CPC	Contenido de Fe_2O_3	%	≤ 0.50	IRAM 1504
	Contenido de Mn_2O_3		≤ 0.10	
	Blancura		> 70	IRAM 1618

Tabla 10. Designación y composición de cementos. (UNE)

Tipo	Denominación de los 27 productos (Tipos de cementos comunes)	Composición (Proporción en masa) ¹⁾										
		Componentes principales										
		Clinker	Escoria de alto horno	Humo de sílice	Puzolana		Cenizas volantes		Esquistos calcinados	Caliza		Const. Menores
K	S	D ²⁾	P	Q	Silicea V	Cálcica W	T	L	LL			
CEM I	Cemento portland	CEM I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Cemento portland con escoria	CEM II/A-S CEM II/B-S	6-20 21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5 0-5
	Cemento portland con humo de sílice	CEM II/A-D	6-10	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Cemento portland con puzolana	CEM II/A-P	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-P	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-Q	60-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5
CEM II/B-Q		65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5	
CEM II	Cemento portland con ceniza volante	CEM II/A-V CEM II/B-V	-	-	-	6-20 21-35	-	-	-	-	-	0-5 0-5
	Cemento portland con esquistos calcinados	CEM II/A-W	60-94	-	-	-	6-20 21-35	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-W	65-79	-	-	-	-	6-20 21-35	-	-	-	0-5
		CEM II/A-T	80-94	-	-	-	-	-	6-20 21-35	-	-	0-5
		CEM II/B-T	65-79	-	-	-	-	-	-	6-20 21-35	-	0-5
	Cemento portland con caliza	CEM II/A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20 21-35	-	0-5
CEM II/B-L		65-79	-	-	-	-	-	-	-	6-20 21-35	0-5	
CEM II/A-LL		80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
CEM II/B-LL		65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
CEM III	Cemento Pórtland compuesto ³⁾	CEM III/A-M CEM III/B-M	80-94 65-79	-	-	-	6-20 21-35	-	-	-	-	0-5 0-5
	Cemento con escoria de alto horno	CEM III/A CEM III/B CEM III/C	35-64 20-34 81-95	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5 0-5 0-5
CEM IV	Cemento puzolánico ³⁾	CEM IV/A CEM IV/B	65-89 45-64	-	-	11-35 36-35	-	-	-	-	-	0-5 0-5
CEM V	Cemento compuesto ³⁾	CEM V/A CEM V/B	40-64 20-38	-	-	18-30 31-50	-	-	18-30 31-50	-	-	0-5 0-5

1) Los valores de la tabla se refieren a la suma de los componentes principales y minoritarios (núcleo de cemento).

2) El porcentaje de humo de sílice está limitado al 10 %.

3) En cementos Portland compuestos CEM III/A-M y CEM III/B-M, en cementos puzolánicos CEM IV/A y CEM IV/B y en cementos compuestos CEM V/A y CEM V/B los componentes principales además del clinker deben ser declarados en la designación del cemento (véase el apartado 8 de la norma).

Tabla 11. Cementos resistentes a los sulfatos. (UNE 80303-1)

Tipos	Denominaciones		Subtipos (designaciones)	Especificaciones del clinker de los cementos SR	
				C ₃ A %	C ₃ A + C ₄ AF %
I	Cementos Pórtland resistentes a los sulfatos		I	≤ 5	≤ 22
II	Cementos Pórtland con adiciones resistentes a los sulfatos	Con escoria de horno alto (S)	II/A-S II/B-S	≤ 6	≤ 22
		Con humo de sílice (D)	II/A-D		
		Con puzolana natural (P)	II/A-P II/B-P		
		Con ceniza volante (V)	II/A-V II/B-V		
III	Cementos con adiciones resistentes a los sulfatos	Con escoria de horno alto (S)	III/A III/B III/C	≤ 8	≤ 25
				Ninguna ¹	
IV		Cementos puzolánicos (D+P+V)	IV/A IV/B	≤ 6	≤ 22
V		Cementos compuestos (S+P+V)	V/A	≤ 8	≤ 25

Nota – Los tipos y subtipos de los cementos se refieren a los homólogos definidos en la norma UNE – EN 197 – 1.

¹⁾ Los cementos CEM III / B y CEM III / C siempre son resistentes a los sulfatos.

Tabla 12. Cementos resistentes al agua de mar. (UNE 80303-2)

Tipos	Denominaciones		Subtipos (designaciones)	Especificaciones del clinker de los cementos SR	
				C ₃ A %	C ₃ A + C ₄ AF %
I	Cementos Pórtland resistentes al agua de mar		I	≤ 5	≤ 22
II	Cementos Pórtland con adiciones resistentes al agua de mar	Con escoria de horno alto (S)	II/A-S II/B-S	≤ 8	≤ 25
		Con humo de sílice (D)	II/A-D		
		Con puzolana natural (P)	II/A-P II/B-P		
		Con ceniza volante (V)	II/A-V II/B-V		
III	Cementos con adiciones resistentes al agua de mar	Con escoria de horno alto (S)	III/A III/B III/C	≤ 10	≤ 25
				Ninguna ¹	
IV		Cementos puzolánicos (D+P+V)	IV/A IV/B	≤ 8	≤ 25
V		Cementos compuestos (S+P+V)	V/A	≤ 10	≤ 25

Nota – Los tipos y subtipos de los cementos se refieren a los homólogos definidos en la norma UNE – EN 197 – 1.

¹⁾ Los cementos CEM III / B y CEM III / C siempre son resistentes al agua de mar.

Tabla 13. Especificaciones mecánicas. (UNE)

Referencias	Normas	Cementos	Clases de resistencias	Resistencia a compresión (N /mm ² – MPa) A:												Normas de ensayo		
				Horas			Días						90					
				1	3	6	1	2	7	28	Min.	Máx.						
1	UNE-EN 197-1:2000 UNE 80303-1:2001 UNE 80303-2:2001 UNE 80303-3:2001	Todos	32.5 N	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	UNE-EN 196-1	
			32.5 R	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
			42.5 N	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		---
			42.5 R	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		---
			52.5 N	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		---
2	UNE 80305:2001	BL 22.5 X	22.5 N	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Como 6 UNE EN 80117:2001	
		El resto	Como 1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Como 1	
3	UNE 80307:2001	ESP VI-1	32.5 N	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	UNE-EN 196-1	
			42.5 N	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		---
4	UNE 80309:1994	CNR 4	4	0.5	0.8	1.0	1.2	---	---	---	2.0	4.0	---	---	---	---	UNE 80116	
		CNR 8	8	1	1.5	2.0	2.5	---	---	---	5.2	8.0	---	---	---	---		
		CNL 8	8	---	0.4	0.8	2.0	---	---	---	5.0	8.0	---	---	---	---		
5	UNE 80310:1996	CAC/R	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	UNE-EN 196-1	
		5	5	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
6	ENV 413-1:1994 UNE-ENV 413-1:1995	MC 5	12.5	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	UNE-EN 196-1	
		MC 12.5 X	12.5	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
		MC 22.5 X	22.5	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		

Tabla 14. Especificaciones físicas. (UNE)

Referencias	Normas	Cementos	Clases de resistencias	Especificaciones físicas						Normas de ensayo	
				Fraguado		Expansión	Calor de hidratación	Blancura	Finura		Norma ENV
				Principio	Final						
1	UNE-EN 197-1:2000 UNE 80303-1:2001 UNE 80303-2:2001 UNE 80303-3:2001	Todos	32.5 N	≥ 75	≤ 10	---	---	---	---	UNE-EN 196-1:1996 UNE-EN 196-3:1994 UNE 80118:1986	
			32.5 R	≥ 60							
			42.5 N	≥ 45							
			42.5 R	≤ 272 ≤ 65							
2	UNE 80305:2001	BL 22.5 X	≥ 60	≤ 15 H	---	---	---	---	Como 6	UNE EN 80117:2001	
		El resto	Como 1		---	---	---	---	Como 1	---	
3	UNE 80307:2001	ESP VI-1	≥ 60	---	≤ 10	---	---	---	---	UNE-EN 196-3:1994	
		CNR 4	≥ 1	≤ 8	---	---	---	---	---	UNE 80116 UNE 80102 UNE 80122 UNE 7050	
		CNR 8	≥ 10	≤ 120	---	---	---	---	---	UNE-EN 196-1 UNE-EN 196-3	
4	UNE 80309:1994	CNL 8	≥ 60	---	---	---	---	---	---	---	
		CAC/R	≥ 60	---	---	---	---	---	---	---	
5	UNE 80310:1996	MC 5	5	---	---	---	---	---	---	---	
		MC 12.5	12.5	≥ 60	≤ 15 H	---	---	---	---	---	
		MC 12.5 X	12.5	≥ 60	≤ 10	---	---	---	---	---	
		MC 22.5 X	22.5	≥ 60	≤ 10	---	---	---	---	---	
6	ENV 413-1:1994 UNE-ENV 413-1:1995	MC 12.5	12.5	≥ 60	≤ 10	---	---	---	---	---	
		MC 22.5 X	22.5	≥ 60	≤ 10	---	---	---	---	---	

Tabla 15. Especificaciones químicas.(UNE)

Ref.	Normas	Cementos	Clases de resistencia	Especificaciones químicas						
				PC *	1) RI*	2) 3) SO ₃ *	1) Cl ⁻ *	PUZ *	Normas de ensayo	
**	UNE-EN 197-1:2000	** CEM I CEM III	TODAS	≤ 5%	≤ 5 %				UNE-EN 196-2 ¹⁾ UNE-EN 196-21 ⁴⁾	
***	UNE 80303-1:2001	** Y SUS HOMOLOGOS ***	32.5 N 32.5 R 42.5 N			≤ 3.5%	≤0.1%			
***	UNE 80303-2:2001		CEM I CEM II ²⁾ CEM IV CEM V	42.5 R 52.5 N 52.5 R				≤ 4 %		
***	UNE 80303-3:2001		** CEM III ³⁾	TODAS						
***	UNE 80305:2001		** CEM IV	TODAS						
***	UNE 80307:2001		** CEM IV	TODAS						Cumplir el ensayo

* PC = Pérdida por calcinación. RI = Residuo insoluble. SO₃ = Trióxido de azufre. Cl⁻ = Cloruros. PUZ = Puzolanidad

Porcentajes en masa del cemento final. (Completo: núcleo del cemento + regulador de fraguado).

1) Determinación del residuo insoluble en ácido clorhídrico y carbonato de sodio.

2) El cemento tipo CEM II/B-T puede contener hasta 4.5 % de SO₃ en todas sus clases de resistencia

3) El cemento CEM III/C puede contener hasta 4.5 % de SO₃

4) El cemento tipo CEM III puede contener más de 0.10 % de cloruros, consignándolo en envases y albaranes.

Para hormigón

pretensado el límite puede ser más bajo, consignándolo en los albaranes de entrega

Tabla 17. Requerimientos químicos opcionales. (ASTM C 150)

Tipo de cemento	I,IA	II,IIA	III,IIIA	IV	V	Observación
Aluminato tricálcico (C ₃ A),máx. %	-	-	8	-	-	Para resistencia moderada a los sulfatos.
Aluminato tricálcico (C ₃ A),máx. %	-	-	5	-	-	Para alta resistencia a los sulfatos.
Suma de silicato tricálcico y aluminato tricálcico, máx. %	-	58	-	-	-	Para moderado calor de hidratación.
Álcalis (Na ₂ O + 0.658 K ₂ O), máx. %	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	Cemento de bajo álcalis.

Nota: Para mayor información remitirse a la norma (ASTM C 150).

Tabla 16. Requerimientos químicos. (ASTM C 150)

Tipo de cemento	I, IA	II, IIA	III, IIIA	IV	V
Dióxido de silicio (SiO ₂), mínimo, %	-	20	-	-	-
Oxido de aluminio (Al ₂ O ₃), máximo, %	-	6	-	-	-
Oxido férrico (Fe ₂ O ₃), máximo, %	-	6	-	6.5	-
Oxido de magnesio (MgO), máximo, %	6	6	6	6	6
Trióxido de azufre (SO ₃), máximo, % Cuando (C ₃ A) es 8 % ó menos Cuando (C ₃ A) es más de 8 %	3	3	3.5	2.3	2.3
	3.5	-	4.5	-	-
Pérdida por calcinación, máximo, %	3	3	3	2.5	3
Residuo insoluble, máximo, %	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Silicato tricálcico (C ₃ S), máximo, %	-	-	-	35	-
Silicato dicálcico (C ₂ S), máximo, %	-	-	-	40	-
Aluminato tricálcico (C ₃ A), máximo, %	-	8	15	7	5
Alumino ferrito tetracálcico + dos aluminato tricálcico (C ₄ AF + 2(C ₃ A)), ó solución sólida (C ₄ AF + C ₂ F), máximo, %	-	-	-	-	25

Nota: Para mayor información remitirse a la norma (ASTM C 150).

Tabla 19. Requerimientos físicos opcionales. (ASTM C 150)

Tipo de cemento	I	IA	II	IIA	III	IIIA	IV	V
	50	50	50	50	50	50	50	50
Calor de hidratación 7 días, máximo, (Kj/Kg.) 28 días, máximo, (Kj/Kg.)	-	-	290	290	-	-	250	-
	-	-	-	-	-	-	290	-
Resistencia, no menor a los valores mostrados. Resistencia a compresión (MPa) 28 días	28	22	28	22	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	0.040

Nota: Para mayor información remitirse a la norma (ASTM C 150).

Tabla 18. Requerimientos físicos. (ASTM C 150)

Tipo de cemento	I	IA	II	IIA	III	IIIA	IV	V
Contenido de aire de los morteros, volumen, %: Máximo Mínimo	12	22	12	22	12	22	12	12
	-	16	-	16	-	16	-	-
Finura (m ² /Kg.) (Met. alternativos) Turbidimeter, mínimo Permeabilidad al aire, mínimo	160	160	160	160	-	-	160	160
	280	280	280	280	-	-	280	280
Expansión en autoclave, máx. %	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Resistencia, no menor a los valores mostrados para cada edad.								
Resistencia a compresión (MPa)								
1 día	-	-	-	-	12	10	-	-
3 días	12	10	10	8	24	19	-	8
7 días	19	16	17	14	-	-	7	15
28 días	-	-	-	-	-	-	17	21
Tiempo de fraguado (Met. Alt.)								
Ensayo Gillmore Inicial, minutos, no menos de Final, minutos, no más de	60	60	60	60	60	60	60	60
	600	600	600	600	600	600	600	600
Ensayo Vicat Inicial, minutos, no menos de Final, minutos, no más de	45	45	45	45	45	45	45	45
	375	375	375	375	375	375	375	375

Nota: Para mayor información remitirse a la norma (ASTM C 150).

Tabla 20. Requerimientos químicos. (ASTM C 595)

Tipo de cemento	I (SM), I (SM)-A, IS, IS-A	S, SA	I (PM), I (PM)- A,P,PA,IP, IP-A
Oxido de magnesio (MgO), máximo, %	-	-	6
Sulfuros reportados como sulfato (SO ₃), máx. %	3	4	4
Sulfuro (S), máximo, %	2	2	-
Residuo insoluble, máximo, %	1	1	-
Pérdida por calcinación, máximo, %	3	4	5
Alcalis solubles al agua, máximo, %	-	0.03	-

Nota: Para mayor información remitirse a la norma (ASTM C 150).

Tabla 21. Requerimientos físicos. (ASTM C 595)

Tipo de cemento	I(SM), IS,IP, I(PM)	I(SM)- A,IS- A,I(PM) -A,IP-A	IS(MS) IP(MS)	IS- A(MS), IP- A(MS)	S	SA	P	PA
Finura	a	a	a	a	a	a	a	a
Expansión en autoclave, máx., %	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Contracción en autoclave, máx., %	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Tiempo de fraguado (Vicát) Inicial, minutos, no menor de Final, horas, no más de	45	45	45	45	45	45	45	45
	7	7	7	7	7	7	7	7
Cont. De aire de los morteros (ASTM C 185), volumen, %	12 máx.	19+/-3	12 máx.	19+/-3	12 máx.	19+/-3	12 máx.	19+/- 3
Resistencia a compresión, mín., (MPa)								
3 días	13	10	11	9	-	-	-	-
7 días	20	16	18	14	5	4	11	9
28 días	25	20	25	20	11	9	21	18
Calor de hidratación								
7 días, máximo, (Kj / Kg.)	290	290	290	290	-	-	250	250
28 días, máximo, (Kj / Kg.)	330	330	330	330	-	-	290	290
Requerimiento de agua, máx. peso en % de cemento.	-	-	-	-	-	-	64	56
Contracción por secado, máx., %	-	-	-	-	-	-	0.15	0.15
Expansión de los morteros:								
A la edad de 14 días, máx., %	0.020	0.020	0.020	0.020	0.02	0.020	0.02	0.02
A la edad de 28 días, máx., %	0.060	0.060	0.060	0.060	0.06	0.060	0.06	0.06
Resistencia a los sulfatos Expansión a 180 días, máx., %	0.10	0.10	0.10	0.10	-	-	0.10	-

Nota: Para mayor información remitirse a la norma (ASTM C 150).