Cementos

INTRODUCCIÓN

El cemento es un conglomerante hidráulico, de estado pulverulento, compuesto predominantemente por silicatos y aluminatos de calcio, que, en reacción con agua y luego de un proceso de fraguado, conducen a la formación de una matriz endurecida, estable y durable, de propiedades ligantes, con adecuada resistencia y rigidez. Sus usos son extensivos, comprendiendo aplicaciones intensivas en las construcciones civiles, la estabilización de suelos, la consolidación de desechos, entre otros casos.

Para su fabricación, se emplean rocas calizas (carbonato de calcio), arcillas y/o esquistos (óxidos de silicio, aluminio y hierro), que se extraen de canteras. Luego, los materiales se someten a un proceso industrializado de cocción hasta fusión parcial en hornos rotatorios a una temperatura del orden de 1400 a 1500°C, en presencia de pequeñas proporciones de otros materiales rectificadores de la materia prima y/o con propiedades fundentes.

Figura 1. Cantera de Piedra Caliza en Olavarría.

El material resultante es enfriado rápidamente, obteniéndose una sustancia denominada "clinker", la que luego es molida y combinada con pequeñas proporciones de yeso (sulfato de calcio) en hasta un 5%, en masa, -para proveer un apropiado tiempo de fraguado- y, eventualmente, adiciones minerales activas y/o inertes. Los componentes principales del clínker son: silicato dicálcico (SiO_2. $2CaO$), silicato tricálcico (SiO_2 .$3CaO$), aluminato tricálcico (Al_2O_3. $3CaO$) y ferroaluminato tetracálcico (Fe_2O_3. Al_2O_3. $4CaO$).

Figura 2. Clinker.

En la actualidad, la mayoría de los cementos empleados en la Argentina contienen diferentes proporciones de aditivos, del tipo de las cenizas volcánicas, tobas, escoria granulada de alto horno, filler calcáreo o cenizas volantes. Su empleo permite alcanzar mejoras tecnológicas en los morteros y hormigones elaborados con dichos materiales, y propicia la implementación de políticas que promueven la preservación del medio ambiente mediante la reducción en el consumo de energía insumida en los procesos de fabricación, y el empleo de subproductos (residuos) de otros complejos industriales.

En la Argentina, la incorporación de adiciones minerales al cemento portland "puro" se realiza predominantemente en las fábricas de cemento, confiriendo al material

propiedades específicas de acuerdo con las necesidades de los usuarios y los requerimientos técnicos y normativos vigentes. El uso de distintos tipos de cementos y adiciones minerales puede variar entre las diversas regiones geográficas, de acuerdo con la disponibilidad local de materiales en las plantas.

Tanto el producto obtenido como las materias primas empleadas son sometidas a procesos de control mediante procedimientos estandarizados, que comprenden análisis químicos (generalmente, por técnicas automatizadas de fluorescencia o difracción de rayos X) para la determinación de sus elementos principales -calcio, silicio, aluminio, hierro, magnesio, sodio, potasio y sodio-, y ensayos para la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del material.

Típicamente, el cemento presenta un color gris a gris verdoso, aunque también pueden encontrarse otros de color blanco, valorados para aplicaciones ornamentales o fines arquitectónicos. Estos cementos se obtienen en procesos de fabricación similares a los anteriores, aunque en entornos de producción muy controlados, y con bajos contenidos de óxido de hierro y magnesio en sus materias primas.

En la Argentina, el despacho del cemento se realiza, predominantemente, en bolsas de 50 kg de masa neta, o a granel, en vehículos de transporte automotor o ferroviario.

MARCO NORMATIVO Y CERTIFICACIÓN

La importancia del cemento como material de construcción, y la necesidad de establecer criterios que aseguren la aptitud del material para su uso, han conducido a distintos organismos internacionales a la normalización de sus características, composición y métodos de control. En la Argentina, dicho rol recae en el Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM), siendo el marco normativo actual el siguiente:

- IRAM 50000 Cemento para uso general. Composición, características, evaluación de la conformidad y condiciones de recepción.
- IRAM 50001 Cementos con propiedades especiales.
- IRAM 50002 Cemento para hormigón de uso vial, aplicable con tecnología de alto rendimiento (TAR). Composición, características, evaluación de la conformidad y condiciones de recepción.
- IRAM 1685 Cemento de Albañilería.

Nota 1. Este artículo no incluye referencias específicas respecto a los cementos de albañilería, por no estar indicados para utilizarse con fines estructurales.

Existen normas adicionales de métodos de ensayo que complementan a las 4 anteriores, estableciendo los procedimientos y técnicas que se emplean para la caracterización y/o control del material.

Todos los cementos que se producen y comercializan en nuestro país están normalizados, y se encuentran sujetos a un régimen de certificación de producto, mediante ensayos de control, de contraste, de autocontrol de producción en cada fábrica de cemento, sumado a la implementación de un Sistema de Gestión de la Calidad en el establecimiento. El cumplimiento de las respectivas especificaciones normativas es verificado por un organismo de tercera parte (en la actualidad, el Instituto Nacional de Tecnología Industrial), el que cuenta con una acreditación por el Organismo Argentino de Acreditación (OAA). Cada bolsa de producto o remito de una remesa a granel de cemento incluye una identificación gráfica que alude a la Certificación de Conformidad del producto.

TIPOS DE CEMENTO DE USO ESTRUCTURAL Y SUS PRICNIPALES APLICACIONES

En nuestro país se producen diferentes tipos de cemento, tanto para uso general, como con propiedades especiales y para usos específicos. Los usuarios pueden seleccionar el producto que resulte adecuado para su aplicación, de acuerdo con las necesidades del proyecto, las condiciones de diseño, servicio y durabilidad, sus costos y prestaciones requeridas.

La norma IRAM 50000 establece los siguientes 6 tipos de cementos, cuya categorización se establece de acuerdo con su composición - ver **Tabla 1**-.

Tabla 1. Tipos de Cemento para uso general, y su composición (IRAM 50000).

Tipos de cemento	Nomenclatura	Composición (g/100 g)				
		Clínker + Sulfato de Calcio	Puzolana o CenizaVolante (P ó CV)	Escoria (E)	"Filler" Calcáreo (F)	Componentes Minoritarios
Cemento portland normal	CPN	100-95	---	---	---	0-5
Cemento portland con "filler" calcáreo	CPF	94-75	---	---	6-25	0-5
Cemento portland con escoria	CPE	94-65	---	6-35	---	0-5
Cemento portland compuesto	CPC	94-65	6 < (P o CV + E + F) < 35 con F < 25			0-5
Cemento portland puzolánico	CPP	85-50	15-50	---	---	0-5
Cemento de alto horno	CAH	64-25	---	36-75	---	0-5

- Cemento Portland Normal (CPN): se utiliza en construcciones en general, pisos y pavimentos, elementos prefabricados armados o pretensados, mobiliario urbano, aplicaciones viales, en ambientes no agresivos. Puede presentar propiedades especiales, según el caso que se trate. Corresponde a la designación de los cementos denominados "puros".
- Cemento Portland con Fílller calcáreo (CPF): al igual que en el caso anterior, se lo utiliza en construcciones en general, con la particularidad que la presencia del filler calcáreo provee mejoras en la reología, cohesión y trabajabilidad de las mezclas en estado fresco, pudiendo contribuir a leves mejoras en la resistencia a edad temprana.
- Cemento Portland Compuesto (CPC): sus aplicaciones son similares a los anteriores casos, aunque combinan los atributos que le confiere la presencia de 2 o más adiciones minerales (generalmente, filler calcáreo y una o más adiciones activas), en proporciones adecuadas.
- Cemento Portland con Escoria (CPE): es generalmente empleado en proyectos en los que se prevean condiciones de agresividad por ataque por sulfatos y/o uso de agregados reactivos, y permiten alcanzar elevadas resistencias mecánicas finales, baja porosidad y alta durabilidad en la matriz cementicia.
- Cemento Portland Puzolánico (CPP): su desarrollo de resistencia a edad temprana suele ser más lento en comparación con un cemento CPN ó CPF, con menor calor de hidratación liberado. Sin embargo, los cementos puzolánicos logran resistencias finales más elevadas a edades prolongadas, con muy buen desempeño en los casos en los que se requieran atender requerimientos rigurosos en términos de durabilidad y baja impermeabilidad. No son aconsejables para los casos en los que se requiera alta resistencia a edad temprana, una pronta habilitación en servicio del elemento de hormigón, o trabajos en clima frío.
- Cemento de Alto Horno (CAH): su componente mayoritario es la escoria de alto horno, y se lo utiliza fundamentalmente en estructuras de hormigón masivo, tales como las presas de hormigón, trabajos de estabilización de suelos o materiales granulares, o ambientes agresivos.

Contribuyen a disminuir el calor de hidratación generado, controlando así efectos nocivos por gradientes térmicos inadmisibles, así como también pueden ofrecer desempeños óptimos frente a ataques por sulfatos o en condiciones de daño por reacción álcali-agregado. Al igual que en el caso anterior, la ganancia de resistencia a edad temprana puede ser menor en comparación con los otros tipos de cementos.

En la norma IRAM 50000 también pueden consultarse los requisitos químicos y físicos que corresponden a cada uno de los 6 tipos de cementos mencionados. Asimismo, los cementos son clasificados de acuerdo con su categoría resistente (30, 40 y 50), cuya correspondencia se establece de acuerdo con los requisitos de la Tabla 2. La denominación numérica de 2 dígitos de la categoría resistente acompaña a la nomenclatura precedente de 3 letras según el tipo de cemento que se trate, de acuerdo con su composición.

Algunos cementos presentan propiedades especiales, con orientación a características o desempeños particulares, o usos en presencia de agentes agresivos, las que se verifican mediante ensayos de control adicionales. La norma IRAM 50001 establece las especificaciones correspondientes a las 6 propiedades especiales tipificadas en Argentina para los cementos:

- Resistente a la Reacción Álcali-Agregado (RRAA): se utilizan como una alternativa para evitar daños por la reacción deletérea entre minerales potencialmente reactivos en agregados al hormigón o morteros, y elementos alcalinos del cemento. Estos cementos pueden tener propiedades que les permitan inhibir o reducir la reacción mencionada, a niveles aceptables.
- De Alta Resistencia Inicial (ARI): particularmente empleados en aquellos casos en los que se requiere un rápido desarrollo de las propiedades resistentes del material y/o una temprana habilitación al uso del elemento constructivo elaborado, tal como en elementos premoldeados, pavimentos fast-track, trabajos de reparación de estructuras existentes, tareas de hormigonado en clima frío, entre otros casos. Usualmente, la mayor resistencia inicial lograda puede responder a alguno de los siguientes factores: mayor contenido de silicato tricálcico en detrimento del silicato dicálcico, mayor finura del cemento, ajuste del contenido de yeso o uso de aditivos específicos.
- De Alta (ARS) o Moderada (MRS): Resistencia a los Sulfatos: recomendados para su empleo en elementos que se encuentren sometidos a un ataque severo o moderado -respectivamente- de sulfatos en aguas y/o suelos de contacto. En estructuras en contacto con agua de mar o ambiente marino, se sugiere el empleo de cementos con propiedad MRS, y no de cementos con propiedad ARS. El contenido de aluminato tricálcico en el clínker de un cemento con propiedad MRS no supera el 8%, mientras que en los cementos con propiedad ARS, dicho contenido es igual o menor al 4%, siendo la suma de los contenidos de aluminato tricálcico y ferroaluminato tetracálcico no superior al 22%.
- De Bajo Calor de Hidratación (BCH): se emplean en estructuras de hormigón masivo, en las que resulta necesario limitar el calor generado en la hidratación del cemento para evitar daños en el hormigón por el desarrollo de elevados gradientes térmicos. Comúnmente, estos cementos contienen adiciones activas, tales como puzolanas o escoria granulada de alto horno.
- Blanco (B): se emplea con fines ornamentales o arquitectónicos en virtud a su color. Presenta requisitos específicos de bajo contenido de óxidos férrico y de magnesio, e índice de blancura. Estos cementos son de uso estructural, a diferencia de los empleados en la elaboración de pastinas o mosaicos, los que no son aptos para la ejecución de estructuras de hormigón debido a su menor nivel resistente y superiores contenidos de materiales suplementarios.

Tabla 2. Categorías de cemento.

Categoría del cemento	Resistencia a la compresión		
	A 2 d	A 7 d	A 28 d
30	---	≥ 16 MPa	≥ 30MPa - 50MPa
40	≥ 10 MPa	---	≥ 40 MPa - 60 MPa
50	≥ 20 MPa	---	≥ 50MPa

En caso de corresponder, la designación de la propiedad especial de cierto cemento se alude entre paréntesis, a continuación de la nomenclatura del tipo de cemento (según IRAM 50000) y la categoría resistente que corresponda. Por ejemplo, un cemento portland normal, categoría 50, con propiedad de alta resistencia inicial, se designa como: CPN 50 (ARI).

Los cementos que se utilizan en la elaboración de hormigones para uso vial, con colocación mediante el empleo de tecnologías de alto rendimiento con encofrado deslizante, presentan contenidos de adiciones que no superan, en todos los casos, el 20%. Ello responde a las necesidades tecnológicas particulares de este tipo de aplicación, en cuanto a los requerimientos de uniformidad del producto a lo largo del proceso constructivo, y al desarrollo de resistencia mecánica a edades tempranas en el pavimento. Los requisitos mecánicos, físicos y químicos, así como los criterios de evaluación de la conformidad y condiciones de recepción de dichos cementos, son homólogos a los establecidos en la IRAM 50000, y se citan en la norma IRAM 50002. Los cementos de alto horno (CAH) no se utilizan para esta aplicación.

CARACTERÍSTICAS E INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES DE LOS MORTEROS Y HORMIGONES

Cada cemento presenta características y propiedades distintivas en relación con su tiempo de fraguado, desarrollo de resistencia mecánica, desempeño frente a condiciones de ataque en ambientes agresivos, liberación de calor en su hidratación, color, entre otras. La importancia e incidencia de estas cualidades depende de su aplicación particular y las necesidades específicas de cada caso.

- Finura: refiere al tamaño de las partículas del cemento, y presenta gran importancia en la hidratación del material (velocidad, calor liberado y grado de reactividad de las partículas), tiempo de fraguado, desarrollo de resistencia (especialmente a edad temprana), consumo de agua de mezclas cementicias y su capacidad de exudación. El tamaño máximo admisible de partículas es de 40 µm. Generalmente, la finura de un cemento, referida en base a su superficie específica, se encuentra en el orden de 300 a 500 m2/kg.
- Tiempo de fraguado: refiere a la transición de la pasta de cemento desde el estado plástico al endurecido; incide en el tiempo de fraguado de morteros u hormigones que se elaboren con él, aunque en forma parcial.
- Pérdida por calcinación: alude a posible prehidratación del cemento y/o a su posible carbonatación.

Tabla 3. Tipos de cementos TAR, y su composición.

Tipos de cemento Según IRAM 50000	Nomen-clatura	Composición (g/100 g)				
		Clínker + sulfato de calcio	Puzolana o CenizaVolante (P ó CV)	Escoria (E)	"Filler" calcáreo (F)	Componentes Minoritarios
Cemento portland normal	CPN	100-95	---	---	---	0-5
Cemento portland con "filler"calcáreo	CPF	94-80	---	---	6-20	0-5
Cemento portland con escoria	CPE	94-80	---	6-20	---	0-5
Cemento portland compuesto	CPC	94-80	6 < (P o CV + E + F) < 20 con F < 25			0-5
Cemento portland puzolánico	CPP	85-50	15-50	---	---	0-5

- **Óxido de calcio libre:** se hidrata en forma muy lenta, y puede provocar expansiones tardías; un ensayo de expansión en autoclave permite determinar posibles efectos nocivos.
- **Óxido de magnesio:** se limita y controla su contenido, pues, en exceso, puede conllevar a fenómenos expansivos.
- **Cloruros:** actúan como catalizadores en la reacción de corrosión de elementos ferrosos presentes en el hormigón, por lo que su contenido es controlado. El aporte de cloruros del cemento es parcial al contenido total en un mortero u hormigón. Generalmente provienen de las materias primas o los combustibles empleados en el proceso de calcinación.
- **Residuo insoluble:** es indicador de la presencia de sílice insoluble y/o impurezas.
- **Trióxido de azufre:** Proviene de la adición de yeso al clinker para controlar (extendiendo en el tiempo) la hidratación del aluminato tricálcico. El contenido de sulfatos en el cemento puede provenir de esa fuente, o sulfatos presentes en el clinker. Influyen en el requerimiento de agua de las mezclas cementicias.
- **Componentes minoritarios:** provienen de las materias primas, combustibles empleados en el proceso de fabricación, o restos de aquél. Su presencia, y sus efectos, pueden considerarse marginales en el desempeño del cemento.
- **Resistencia a la compresión:** refiere a su resistencia mecánica, e influye en las propiedades mecánicas de las mezclas elaboradas con dicho cemento, aunque no con exclusividad. Se distinguen las 3 categorías mencionadas anteriormente. Las fases silíceas del cemento son las responsables del desarrollo de resistencia a lo largo del tiempo. La **Figura 3** muestra una probeta de cemento en ensayo de compresión.

Figura 3. Probeta de mortero de cemento en ensayo de resistencia a la compresión.

CEMENTOS EN LA ERA DE LA SOSTENIBILIDAD

El uso de materiales alternativos en reemplazo de clínker para la fabricación de cemento, y la utilización de combustibles alternativos en la producción, permiten reducir la relación clínker/cemento y las emisiones de CO_2 al ambiente, así como el consumo de energía insumida en tales procesos, respectivamente. Los fabricantes de cemento promueven iniciativas de tal tipo, teniendo en cuenta la disponibilidad local de materiales, los requisitos de calidad del material a producir y las necesidades de sus usuarios. Con el fin de asegurar condiciones de construcción sostenible, es de importancia no sólo la reducción en el consumo de energía, las emisiones al ambiente y los residuos, sino también garantizar el desempeño y las propiedades durables de los morteros y hormigones elaborados con los cementos, para períodos de vida en servicio no inferiores a 50 años.

CONSIDERACIONES GENERALES PARA SU ALMACENAMIENTO Y USO

El almacenamiento del material debe efectuarse en ambientes preferentemente secos, bien ventilados y cerrados, y debe ser protegido del contacto con agua o fuentes de humedad que produzcan su hidratación. La temperatura de almacenamiento no debe superar los 100 °C.

Resulta recomendable que los cementos de distintas remesas, tipo o marca comercial se almacenen en forma separada, con registros documentados de acopio y uso del material.

No resulta esperable que, en condiciones normales de uso, este material ocasione riesgos para la salud de las personas. Sin embargo, se recomienda evitar el contacto directo de este material con los ojos y la piel, así como su ingesta y/o inhalación. En caso de contacto, es necesario realizar un profuso lavado con agua limpia potable y jabón de pH neutro, y debe recurrir a la consulta con un profesional médico.

Para la manipulación del material, se sugiere el empleo de elementos de protección ocular, guantes y protección lumbar.

No se recomienda el acopio del material por períodos superiores a 30 días -en caso que el modo de expedición sea en bolsas de papel kraft- o 1 año en silos metálicos con cierre hermético. En caso de duda, es conveniente efectuar ensayos de control que verifiquen la aptitud del material para su empleo.

.

INSTITUTO DEL CEMENTO PORTLAND ARGENTINO
San Martín 1137, 1er piso (C1004AAW)
Ciudad Autónoma de Buenos Aires,
Argentina
www.icpa.org.ar