

Importancia de la selección del cemento adecuado para la construcción de elementos prefabricados de concreto en rompeolas

Flores Álvarez Juan Esteban, Ávila Arzani Dora Luz, Servín Lugo María Dolores

Investigadores de la Coordinación de Ingeniería Portuaria y Costera del Instituto Mexicano del Transporte.

jflores@imt.mx, davila@imt.mx, dservin@imt.mx

R e s u m e n

Desde los inicios de la construcción de estructuras de protección costera y portuaria, se han utilizado distintos materiales para dar forma a estos elementos, en un inicio han sido de cualquier material que estuviera cerca de las zonas a proteger, como por ejemplo rocas, restos de barreras naturales (corales), arena y hasta vegetación abundante (árboles principalmente) del sitio. Con la creciente necesidad de proteger mejor la franja costera, surgió también el avance en la investigación en que materiales servirían para tal propósito.

Las protecciones marginales en la costa se optimizaron con el paso de los años, estas mejoras consistieron en construir estos elementos a base de capas graduadas en peso y tamaño de los materiales que lo conforman; así también se observó que los materiales que lo integraban tenían que ser los más resistentes a la acción de los elementos naturales presentes en las playas y al paso del tiempo. Estos materiales resultaron ser los más duros en su consistencia como las rocas, que dieron paso a las construcciones de montículos permeables.

En países de pequeña extensión territorial (como por ejemplo Inglaterra y Japón) con mayor avance económico y tecnológico, pero con menos bancos de enrocamiento disponibles para construir las obras de protección costeras, surgió la necesidad de crear estas estructuras con la misma durabilidad pero que el proceso de construcción resultara rápido con el tiempo, debido a esto se realizaron los estudios para utilizar el concreto para la producción y remplazo de elementos que sustituirían las grandes rocas que eran transportadas de países continentales. En la elaboración del concreto resultó de suma importancia el uso del cemento, que tuviera características esenciales para resistir las condiciones químicas del agua de mar y la agresividad del oleaje principalmente. En la actualidad el uso del cemento debe cumplir con las normas y especificaciones en la construcción de los elementos de concreto para su uso e implementación en el medio marítimo.

Características de elementos construidos a base de concreto

Algunos de estos elementos (figura 1), fueron desarrollados para su implementación en obras de protección portuaria y costera, compuestas por capas de material graduado, otras para su empleo en revestimientos o como elementos constituyentes de paredes verticales.

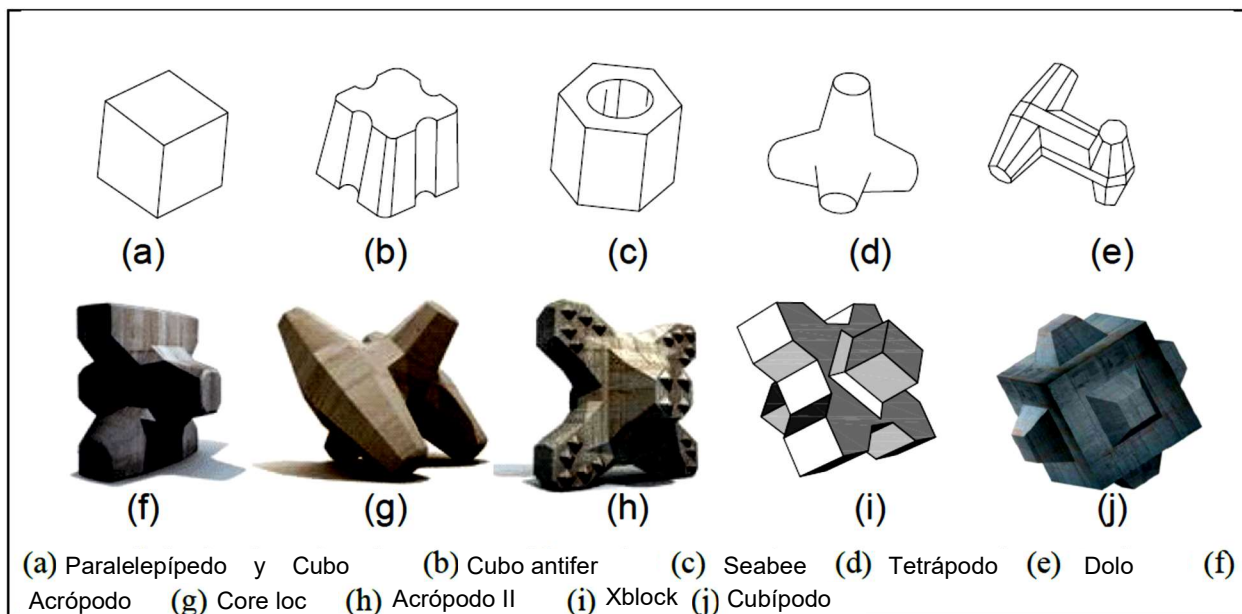


Figura 1. Evolución de los elementos de concreto (Dupray, S., 2010).

De estos elementos construidos a base de concreto, las formas cubicas en la actualidad aún son básicas, ya que de acuerdo a las formas geométricas que resultan más estables al colocarse sobre los taludes de las obras de protección costera, son las semiesféricas con aristas agudas y bien definidas que permitan la sujeción entre sí mismas y brinden mayor estabilidad al elemento de protección. Derivado de una gran variedad de estudios en laboratorios, se han definido formas paralelepípedas como son el tetrápodo, hexápodo y más recientemente el Xbloc y el Cubípodo.

En el diseño y creación de estos elementos, los primeros diseños fueron para trabajar a dos capas sobre el montículo de enrocamiento, posteriormente incluso algunos se utilizaron en combinaciones de acomodados de acuerdo a su forma geométrica, y los más recientes para un acomodo a una sola capa. Estas formas de acomodo pueden ser de forma aleatoria, uniforme e incluso más recientemente orientada con GPS (Global Positioning System) para contribuir a la estabilidad y durabilidad de la estructura de protección.

Durabilidad de las piezas de concreto

Dentro de la durabilidad de estas piezas, independientemente de la forma geométrica que posea, está inmerso el concreto, que es la parte medular del propio elemento, ya que, al no ser bien elaborado, aun cuando sea la forma con mayor estabilidad, no tendrá la vida útil para la cual fue diseñado.

La resistencia del concreto (ya sea estándar o alta), depende de los elementos que lo componen, los agregados finos (arena), gruesos (grava) y el aglutinante (cemento). El cemento depende de la calidad de fabricación, es decir, puede ser estándar, reciclado, de bajo carbono, entre otros; y de la forma en que el concreto es elaborado: prefabricado (llevado en camión a la obra), realizado y vertido en el mismo lugar donde se construyen los elementos, e incluso si es inyectado (en bolsacretos).

El ciclo de vida de estas piezas prefabricadas de concreto depende del tipo de obra para la cual es construido; desde la conceptualización, el diseño, la preparación, fabricación, colocación, tiempo de vida útil e incluso si fuera el caso, la reparación y/o el reciclaje del elemento, lo anterior se engloba en el siguiente de actividades:

1. Diseño: selección del tipo de elemento y preparación.
2. Dimensionamiento: identificación y aprobación de las proporciones de los componentes del concreto, mezcla, moldes o cimbra, colado y área de almacenamiento, plantas de mezcla, concreteiras y equipos vibromecánicos.
3. Fabricación (del concreto): preparación de moldes o cimbra (es decir engrase y ensamble), cierre de moldes, vertido de concreto y vibrado (a veces relleno con más concreto), ajuste de la mezcla, incluye el control de calidad en las tomas de las muestras del concreto, esto para las pruebas de revenimiento y selección de los cilindros que serán sometidos a pruebas de compactación una vez fraguado el concreto.
4. Fabricación (de piezas): de moldes, curado, endurecimiento, primera elevación y almacenamiento, incluidos las pruebas a los cilindros de control de calidad que son llevados a pruebas de compactación para determinar la resistencia y durabilidad del concreto
5. Transporte y manejo: manipulación y transporte(s) y fase(s) de fijación, elevación y colocación de las piezas en su lugar final sobre la obra de protección marítima.
6. Servicio: la exposición a la acción del mar y el proceso de deterioro natural de los elementos de concreto.
7. Reparación o reciclaje: recuperación del elemento, manipulación, almacenamiento y procesamiento para su reutilización.

Al igual que los puntos anteriores, que son importantes para una adecuada cronología y vida útil de los elementos de concreto, también es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos del concreto previos en la construcción de elementos prefabricados:

- Estabilidad hidráulica y rendimiento.
- Manejabilidad óptima de la mezcla.
- Resistencia estructural, en particular para unidades con miembros estructurales

delgados (por ejemplo, alrededor de 8 aristas) que rara vez se estudia con modelos hidráulicos físicos.

- Refuerzo y/u opciones de diseño alternativos para limitar la ruptura del elemento.
- Aumento de la densidad de la mezcla.

Puntos clave en la fabricación de elementos de concreto para un correcto almacenamiento y manejo:

- Tamaño, ubicación y organización del área de fabricación.
- Métodos y equipos de elevación, manipulación y apilamiento para minimizar el riesgo de daños a las piezas antes de la construcción.
- Riesgos tecnológicos particulares y problemas que son específicos del sitio, pero también del tipo pieza (principalmente de su tamaño).
- Oportunidades y desafíos tecnológicos determinados, como la compactación, el desmolde a temprana edad del concreto, la manipulación de la resistencia a corto plazo y el almacenaje de las piezas para optimizar el número de usos de la cimbra y de los equipos de realización de la mezcla, las degradaciones de las piezas asociadas a la temperatura.
- La calidad del concreto y la determinación de la calidad de la mezcla con pruebas de revenimiento del concreto fresco y con pruebas de ensaye a la compresión de cilindros con el concreto endurecido; así como de las unidades ya construidas, incluido el almacenaje de los elementos en lotes y el manejo de los moldes.

Los siguientes aspectos se deben considerar para la construcción de piezas de concreto:

- Procesos de transporte y/o manipulación, referente a los equipos de colocación y los mecanismos para minimizar los daños a las piezas de concreto
- Disponibilidad de equipos de elevación con referencia a la capacidad de carga y alcance.
- Calidad de colocación de las piezas de concreto, es decir, capacidad en el posicionamiento y orientación de los equipos de acomodo, en particular bajo el agua.
- Uso de equipos alternativos, cuando el tamaño de las piezas permite mayor manejabilidad y los moldes están disponibles.

Los siguientes aspectos clave deben ser considerados para la colocación y mantenimiento de las piezas de concreto en las estructuras de protección marítima:

- Exposición a las primeras tormentas, que pueden inducir fuerzas en las piezas de concreto debido a la acción local de los fenómenos naturales.
- Abrasión severa que puede inducir desgaste y pequeños daños en partes específicas de las piezas, lo que reduce la resistencia estructural y el agarre o trabazón entre piezas.
- Reparación de taludes que generalmente depende de la disponibilidad de algunas piezas de repuesto; compatibilidad de las piezas de concreto que se

utilizarán para la recarga o reparación con el tipo de elemento existente y el porcentaje de vacíos para cubrir el número de unidades requeridas.

Procesos de deterioro de las piezas de concreto

La calidad de las piezas de concreto se logra obtiene al evitar el uso de cualquier material de mala calidad durante todas las etapas de la preparación, fabricación y construcción enumeradas anteriormente; la durabilidad se logra cuando la calidad de la pieza de concreto es adecuada y suficiente para soportar los diversos agentes agresivos durante todo su ciclo de vida y estos se enumeran en la tabla 1.

Las piezas de concreto están expuestas a diversas cargas y mecanismos de deterioro. Su existencia varía no solo con la exposición real de la estructura, sino también en las condiciones, métodos de fabricación y construcción, así como el tipo pieza a construir. En la tabla 1 se indican los agentes externos e internos (es decir, fuerzas y fuentes de deterioro) así como los posibles efectos sobre el concreto, el refuerzo (si se utiliza) y las piezas, es decir, durante la preparación, fabricación, construcción, acarreo y colocación.

Tabla 1. Resumen de los agentes y efectos sobre la mezcla, el refuerzo y las unidades de concreto

Cargas y agentes de deterioro		Posibles efectos	
Externos	Internos	Cemento y piezas de concreto	Refuerzo
Agua de mar ^{C,S}	Temperatura ^{P,F}	Intrusión de sulfatos ^{F,C,S}	Corrosión ^S
Temperatura ambiente ^{P,F}	Contenido alcalino ^{P,F}	Agrietamiento ^{F,C,S}	Expansión ^S
Dióxido de carbono atmosférico ^S	Contenido de sulfatos ^{P,F}	Desprendimiento ^{F,C,S}	Rupturas ^S
Cargas dinámicas ^{F,C,S}	Contenido de cloruros ^{P,F}	Escarificación ^{F,C,S}	Desprendimiento de partes ^S
Cargas estáticas ^{F,C,S}	Otros contenidos químicos ^{P,F}	Rupturas ^{F,C,S}	
Abrasión ^S		Desprendimiento de partes ^{F,C,S}	
Invasión biológica ^S		Reacción alcalina de los agregados ^{F,C,S}	
Proceso de congelación y descongelación ^{F,S}		Expansión ^{F,C,S}	
Hielo ^S			
Esfuerzos (accidentales) ^{F,C,S}			
Deterioro (accidental) ^{F,C,S}			

Parte del proceso donde es relevante: ^P Preparación, ^F Fabricación, ^C Construcción, ^S Servicio de colocación.

Fuente: Dupray, S. (2010).

Normas y especificaciones del concreto en el medio marítimo

Aunado a las especificaciones descritas anteriormente, se han creado normas y especificaciones en la construcción de las piezas de concreto para su uso e implementación en el medio marítimo, para poder garantizar que la calidad del

concreto sea, en la manera de lo posible, la más alta para determinar una vida útil de las piezas acorde a las necesidades y demandas.

En el mundo, históricamente, la implementación de estas piezas de concreto se empezó a utilizar a partir de aproximadamente el primer tercio del siglo XX hasta años recientes en este siglo XXI, esto ha generado distintas formas geométricas de elementos artificiales que puedan colocarse en la capa coraza de los rompeolas. Las formas principales van desde los primeros cubos que fueron diseñados semejante a las rocas nombradas escollera (ver figura 2), formas cúbicas, bloques antifer o cubo ranurado, tetrápodos, dolos, y distintas formas que varían de acuerdo a su geometría, a sus valores de trabazón (sujeción) entre ellas mismas al momento de ser colocadas sobre el talud del rompeolas.

Tipo de elemento	País	Año	Tipo de elemento	País	Año
<i>Cubo</i>	---	---	<i>Seabee</i>	<i>Australia</i>	1978
Tetrápodo	Francia	1950	Shed	Reino Unido	1982
Tribar	Estados Unidos	1958	Acrópodo	Francia	1980
Cubo modificado	Estados Unidos	1959	Haro	Bélgica	0.1984
Stabit	Reino Unido	1961	Cubo hueco	Alemania	1991
Akmon	NL	1962	Cole-Loc [®]	Estados Unidos	1996
Trípode	NL	1962	A-Jack	Estados Unidos	1996
Cob	Reino Unido	1969	Diahitis	Irlanda	1996
Dolos	Rusia	1963	Bloque Samoa	Estados Unidos	2002
Cubo ranurado	Francia	1973			

Figura 2. Evolución de las formas geométricas de elementos constituyentes de la capa coraza (Flores, J., 2022).

Con esta innovación tecnológica, también surgió la necesidad de hacer estas piezas además de estables, duraderas. Para alcanzar tal propósito, fue preciso investigar qué tipos de materiales resultaban más adecuados para alcanzar la misma resistencia de la roca.

En distintos países, con base en la investigación realizada en laboratorios de resistencia de materiales, se determinaron normas bajo las cuales se establecieron los parámetros para que las piezas de concreto que se construyeran para trabajar en el ambiente marino tuvieran una vida útil de al menos 10 años.

En Estados Unidos de Norteamérica, en el *Coastal Engineering Manual* del cuerpo de ingenieros de la armada, a mediados del siglo pasado establecieron las consideraciones de construcción de todo lo relacionado con el medio marítimo, bajo las Normas de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (*American Society of Civil Engineers* que estableciera las Normas ASCE) y de la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (*American Society for Testing and Materials ASTM*).

En estas normas, se menciona que todo material para construir proyectos de ingeniería

costera debe ser de calidad para el éxito y la longevidad de los elementos de concreto, ya que estos son construidos en el medio marítimo y a menudo deben soportar los intensos golpes incesantes de las olas en un entorno corrosivo que puede sufrir ciclos de congelación y deshielo. Los principales criterios de selección de materiales son las propiedades físicas, la resistencia, la durabilidad, la adaptabilidad, el costo, la disponibilidad, los requisitos de manipulación, los requisitos de mantenimiento y el impacto ambiental. De igual forma reconocen que el conocimiento del rendimiento de materiales en proyectos costeros es una consideración importante para el ingeniero de diseño.

Dentro de estas normas, mencionan que el concreto se considera duradero y se espera una vida útil prolongada en la mayoría de los proyectos costeros, siempre que el concreto no esté expuesto a sustancias químicas adversas o de abrasión excesiva, y las cargas se encuentren dentro de los límites de diseño. Las grietas en el concreto pueden conducir a la separación de la superficie y en caso de ser un concreto reforzado podría causar la exposición del refuerzo de acero, que comenzará inmediatamente a oxidarse. El manejo rudo de las piezas de concreto individuales durante la colocación, puede ocasionar astillado o agrietamiento de miembros delgados.

Para alcanzar esta durabilidad las normas *ASTM C-150* enumeran los tipos de cemento que debe de utilizarse en la construcción de piezas de concreto en general:

- Tipo I. Cemento utilizado para concreto estructural ordinario para cimientos, carreteras y cimientos no sujetos a condiciones de congelación/descongelación o exposición marina. El concreto de tipo IA especifica el arrastre de aire en condiciones de congelación.
- Tipo II. Cemento resistente al sulfato suave que puede usarse en ambientes marinos no congelados. No es tan duradero como el cemento tipo V en agua de mar. El arrastre de aire en concreto tipo IIA ayuda a tolerar las condiciones de congelación.
- Tipo III. Este cemento proporciona alta resistencia antes del proceso de curado. Después de 7 días, el concreto Tipo III alcanza la misma resistencia que el Tipo I después de 28 días. El tipo III NO debe utilizarse para la construcción marina.
- Tipo IV. Proporciona bajo calor de hidratación para su uso en estructuras como presas o donde la acumulación de calor es indeseable.
- Tipo V. Este cemento tiene la mayor resistencia a los sulfatos y debe ser utilizado en todos los ambientes marinos. El arrastre de aire es esencial en ambientes de congelación.

De lo anterior descrito se determina que el cemento tipo II o V son los ideales para utilizarse en mezclas para elementos de concreto en el medio marítimo.

En Japón, la Sociedad Japonesa de Ingenieros Civiles (*Japan Society of Civil Engineers JSCE*) en conjunto con la Sociedad Japonesa del Cemento (*Japan Cement*

Association JCA) son las encargadas de emitir las regulaciones y especificaciones del uso del cemento para las obras civiles de su zona, con la norma (*Japanese Industrial Standard*) JIS R 5210 específicamente para el cemento Pórtland que básicamente clasifican el cemento en 6 tipos de uso:

1. Cemento Pórtland ordinario.
2. Cemento Pórtland de alta resistencia temprana.
3. Cemento Pórtland de ultra resistencia temprana.
4. Cemento Pórtland de calor moderado.
5. Cemento Pórtland de bajo calor.
6. Cemento Pórtland resistente a sulfatos.

Por lo que, de igual forma recomiendan el uso del tipo 6 de cemento para su uso en obras marítimas que, acompañado con las especificaciones de construcción, establecen los lineamientos para la durabilidad del concreto en sus construcciones portuarias.

Por otra parte, Francia se basa en la nueva normativa europea del uso del concreto, las normas del concreto NF EN 206-1 y la guía de la utilización del concreto en sitios marítimos, que establecen el uso del concreto hecho con cemento tipo Pórtland de acuerdo a la exposición de éste a los siguientes tipos de ambientes:

XO: concreto sin ningún riesgo de ataque ambiental ni corrosión.

XC: concreto expuesto a la corrosión inducida por la carbonatación.

XD: concreto expuesto a la corrosión inducida por cloruros de origen no marino.

XS: concreto expuesto a la corrosión por los cloruros de agua de mar.

XF: concreto expuesto al congelamiento/descongelamiento con o sin agente descongelante.

XA: Concreto expuesto a ataques químicos.

De acuerdo a la siguiente enumeración de cementos que se identifican en Francia, se elige el tipo adecuado a utilizarse en ambientes marinos:

Tabla 2. Tipos de cementos en Francia

Tipo de Cemento	Descripción
Cemento tipo I <i>CEM I</i>	Tradicional, sin componentes secundarios.
Cemento tipo II <i>CEM II</i>	Con componentes secundarios. Es ampliamente utilizado en obras. Se adapta a diversos usos.
Cemento tipo III <i>CEM III</i>	Con productos secundarios: escoria de alto horno, puzolana y otros. Este tipo de cemento están destinados a usos específicos.
Cemento tipo IV <i>CEM IV</i>	No se fabrica en Francia.
Cemento tipo V <i>CEM V</i>	Es adecuado para trabajos de cimentación y para ambientes agresivos.

Fuente: Béton, T. (2022).

Por lo tanto, para las obras en sitio marítimo, las características complementarias normalizadas de los cementos son objeto de la norma NF P 15-317 "Cementos para trabajos en el mar". Estos cementos presentan contenidos limitados de aluminato

tricálcico (C₃A) que les permiten conferir al concreto una mayor resistencia a la agresión de los sulfatos en presencia de cloruro, durante la mezcla y posteriormente.

Los cementos para trabajos en el mar son:

- El CEM I y CEM II que poseen características físicas y deben respetar especificaciones químicas complementarias,
- CEM III/A (si el contenido de escoria es superior al 60%), B o C y CEM V/A o B que se califican para este uso,
- Cementos rápidos naturales (CNP) definidos por la norma NF P 15-314 y cementos aluminosos fundidos (CA) desafiados por la norma NF EN 14647.

Estos cementos llevan la mención PM (Prise Mer) Adaptados al Mar en el empaque. Las especificaciones de los cementos PM se refieren a la composición de la escoria, a una limitación de la proporción de componentes distintos de los residuos, de componentes secundarios (3 %) y de aditivos (0.1 %).

En México la norma N-CMT-2-02-001/02 establecida por la Secretaria de Comunicaciones y Transportes, de igual forma, menciona las calidades del cemento, para indicar cual debe de ser el adecuado a utilizarse en la creación de elementos de concreto para obras marítimas.

Según los materiales que los componen, los cementos Pórtland se clasifican como:

- **Tipo CPO (cemento Pórtland ordinario).** El producido mediante la molienda de la escoria Pórtland y sulfato de calcio. Cuando el proyecto no establezca el tipo de cemento Pórtland por usar en cada caso, se entenderá que se trata de cemento Tipo CPO.
- **Tipo CPP (cemento Pórtland puzolánico).** El que resulta de la molienda conjunta de la escoria Pórtland, puzolanas y sulfato de calcio.
- **Tipo CPEG (cemento Pórtland con escoria granulada de alto horno).** El producido mediante la molienda conjunta de la escoria Pórtland, escoria granulada de alto horno y sulfato de calcio.
- **Tipo CPC (cemento Pórtland compuesto).** El que se obtiene de la molienda conjunta de la escoria Pórtland, puzolanas, escoria de alto horno, caliza y sulfato de calcio. En este tipo de cemento la caliza puede ser el único componente adicional a la escoria Pórtland con el sulfato de calcio.
- **Tipo CPS (cemento Pórtland con humo de sílice).** El que resulta de la molienda conjunta de la escoria Pórtland, humo de sílice y sulfato de calcio.
- **Tipo CEG (cemento con escoria granulada de alto horno).** El producido mediante la molienda conjunta de la escoria Pórtland, sulfato de calcio y mayoritariamente escoria granulada de alto horno.

Adicional a lo anterior descrito, para identificar un cemento Pórtland, la clase resistente

se anotará inmediatamente después de la designación del tipo de cemento que se indica en esta norma, por ejemplo:

- CPO 30, cuando se trate de un cemento Pórtland ordinario con una resistencia normal mínima de treinta (30) mega pascales (306 kg/cm²).
- CPEG 40R, si se requiere un cemento Pórtland con escoria granulada de alto horno, que tenga una resistencia normal mínima de cuarenta (40) mega pascales (408 kg/cm²) y deba cumplir con una resistencia inicial mínima de treinta (30) mega pascales (306 kg/cm²).

Los cementos Pórtland pueden presentar una o más de las características especiales que se indican en la Tabla 3.

Tabla 3. Características especiales de los cementos Pórtland

Característica especial	Nomenclatura
Resistente a los sulfatos	RS
Baja reactividad álcali-agregado	BRA
Bajo calor de hidratación	BCH
Blanco	B

Fuente: NMCT, SCT (2002).

De esta forma, para identificar un cemento Pórtland con una característica especial, la nomenclatura de ésta será anotada inmediatamente después de la designación del tipo de cemento y de la clase resistente que se señala en la Tabla 2, separándolas con una diagonal, por ejemplo:

- CPO 30 RS, cuando se trate de un cemento Pórtland ordinario con una resistencia normal mínima de treinta (30) mega pascales (306 kg/cm²) y que sea resistente a los sulfatos.
- CPEG 40R BRA/BCH, si se requiere un cemento Pórtland con escoria granulada de alto horno, que tenga una resistencia normal mínima de cuarenta (40) mega pascales (408 kg/cm²), una resistencia inicial mínima de treinta (30) mega pascales (306 kg/cm²), baja reactividad álcali- agregado y bajo calor de hidratación.

Lo que resulta de utilidad para las obras marítimas en México el cemento tipo (CPO 30 RS) antes mencionado.

Conclusiones

Con base a lo anteriormente descrito, se concluye que el cemento utilizado alrededor del mundo, en cualquier parte de este, se define por las normas y estándares que, en primera instancia, son emitidos por el país donde se realice la obra, y posteriormente y a la par se rigen por normas internacionales como es el caso de la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (*American Society for Testing and Materials ASTM*).

Estas normas engloban las características y resultados de las pruebas realizadas a cilindros de concreto probados bajo condiciones de compresión y otros expuestos a pruebas químicas y de exposición a ambientes agresivos, como son la congelación y descongelación, salinidad excesiva, altas y bajas temperaturas de mezclado y fraguado, entre otras. Con las cuales se realizaron pruebas y mezclas con agregados químicos para mejorar las reacciones del concreto a tales condiciones adversas.

Cabe mencionar, que, si se cuenta con más recursos y experiencia en la construcción en el medio marítimo, los resultados serán de calidad y durabilidad del concreto empleado para realizar obras de protección portuaria y costera en cualquier región del mundo.

Referencias Bibliográficas

A. S. T. M., (2012): *Standard Specification for Portland Cement. Abstract. Página de internet.* https://www.astm.org/c0150_c0150m-22.html

Benaissa, B. (2009): *LES BETONS EN SITE MARITIME. Présentation du guide technique CETMEF et visite du chantier « Port 2000 ». Le Havre, France.* pp. 42, 119, 203-205. https://webissimo.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/32_BSM_LeHavre_cle59c2a9.pdf

CIMBETON, (2008): *Les bétons et les ouvrages en site maritime. CIMbéton, Centre D'information sur le Ciment et ses Applications.* Place de la Défense 7, Paris, France. p. 9. <https://mediatheque.snbpe.org/userfiles/file/mediatheque/public/CT-T93.pdf>

Dupray, S. (2010): *Review of the use of concrete in the manufacture of concrete armour units.* HRWallingford, Wallingford, United Kingdom. pp. 2-4. https://www.researchgate.net/publication/288661643_Review_of_the_use_of_concrete_in_the_manufacture_of_concrete_armour_units

Flores, J. (2022): *Investigación experimental del porcentaje de vacíos de elementos de la capa coraza de los rompeolas. Instituto Mexicano del Transporte. Secretaria de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes. Pedro Escobedo, Querétaro, México.* p. 5. <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt700.pdf>

Janković, K. (2011): *Concrete mix design for reconstruction of northwest breakwater in the tripoli harbour – Libya, Technical Gazette 18.* Tripoli, Libya. pp. 2-5. <https://hrcak.srce.hr/file/98656>

JIS, R5210 (2009): *JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD. JIS R 5210 (JCA). Portland cement. Japanese Industrial Standards Committee. Standards Board. Technical Committee on Civil Engineering.* Tokyo, Japan. https://dlscrib.com/download/jis-r-5210-Portland-cementpdf_5af00401e2b6f5b65b8c2ee8_pdf

N. M. C. T., S.C.T., (2002): *N-CMT-2-02-001/02. Libro: CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES. PARTE: 2. MATERIALES PARA ESTRUCTURAS. TÍTULO: 02. Materiales para Concreto Hidráulico. CAPÍTULO: 001. Calidad del Cemento Portland.* México D. F. <https://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-2-01-002-02.pdf>

U. S. Army Corps of Engineers, (2011): *Coastal Engineering Manual. Part IV*. Washington, DC. U.S.A.: Coastal Engineering Research Center. pp. 134-136.