

## **Construcción de elementos prefabricados de concreto para rompeolas**

Flores Álvarez Juan Esteban, Toledano Vega Noe

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

[iflores@imt.mx](mailto:iflores@imt.mx), [n/toledano@imt.mx](mailto:n/toledano@imt.mx)

### **R e s u m e n**

La construcción de elementos prefabricados de concreto para formar parte de un rompeolas como estructura de protección portuaria es muy importante ya que, de la adecuada elaboración de estos elementos depende tanto su propia durabilidad y vida útil, así como de la propia estructura de protección (rompeolas), lo cual se ve reflejado en una correcta zona protegida detrás de los rompeolas.

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 el inicio de la construcción de los rompeolas se han utilizado un sinfín de materiales que se encontraran cerca de las zonas a proteger, como rocas, restos de barreras naturales (corales), arena y hasta vegetación abundante (árboles principalmente) del sitio. Con el avance del tiempo y la necesidad de proteger mejores franjas costeras para el desarrollo de diversas vocaciones económicas y humanas, surgió también el avance en la investigación sobre diversos materiales para concebir mejores obras de protección.

Con el paso del tiempo las protecciones marginales en la costa se mejoraron y optimizaron, estos progresos consistieron en construir elementos de protección a base de capas graduadas en peso y tamaño de los materiales que lo conforman; de igual forma con el avance de la investigación se observó que los materiales con los cuales se construían debían de ser más resistentes que los convencionales a la acción del oleaje y corrientes (principalmente) presentes en las playas y al paso del tiempo. Estos materiales resultaron ser los más resistentes en su consistencia como las rocas, que dieron paso a las conformaciones 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 material disponibles para construir las obras de protección costeras, surgió la necesidad de crear estructuras con la misma durabilidad pero que en la construcción y acarreo resultara la obra más económica que con los métodos convencionales de construcción con enrocamiento. Para alcanzar este objetivo se realizaron estudios para utilizar el concreto en 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 la adecuada selección del cemento, el cual, debería de ser no convencional si no que tuviera características especiales para resistir las condiciones químicas del agua de mar principalmente y como resultado la durabilidad con adecuadas metodologías de construcción y colocación en las obras de protección. 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 a base de concreto

Algunos de los primeros elementos prefabricados de concreto (figura 1) fueron construidos para su implementación en obras de protección portuaria y costera, compuestas por capas de material graduado, otras para su uso en revestimientos o como elementos de paredes verticales.

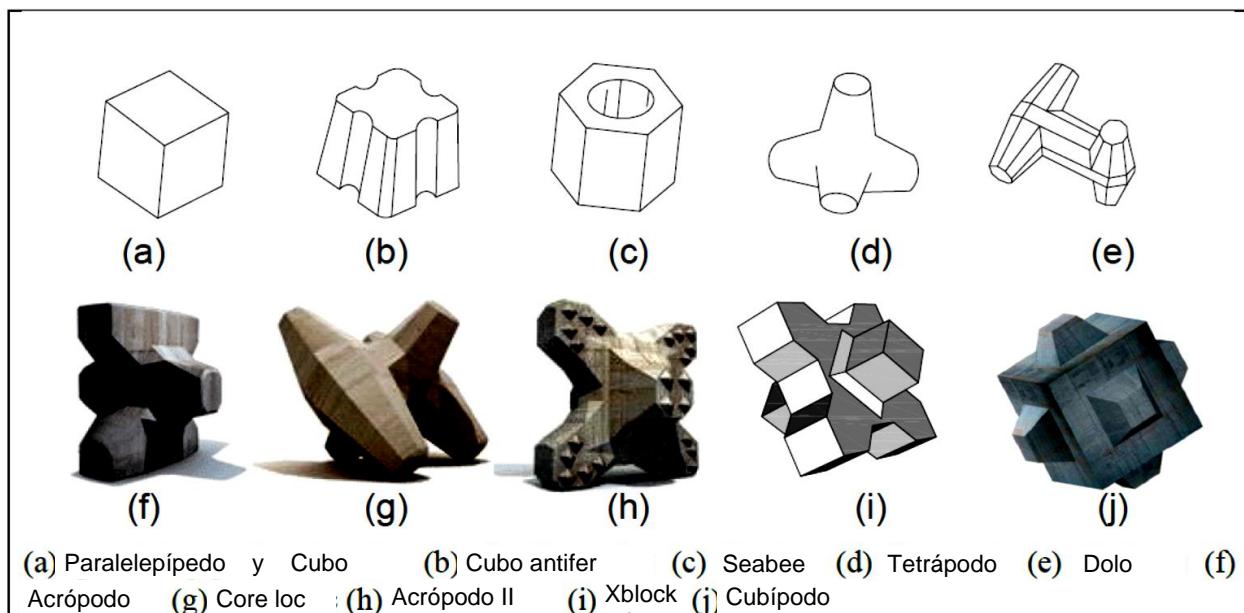


Figura 1. Evolución de los elementos de concreto (Dupray, S., 2010).

De estos elementos las formas cubicas en la actualidad aún son básicas, ya que de acuerdo al análisis de estabilidad estructural de cada geometría resultan ser las más estables al colocarse sobre los taludes de las obras de protección costeras, ya que se asemejan a las rocas utilizadas en un inicio que eran semiesféricas con aristas agudas y bien definidas, lo que permitía la trabazón entre sí mismas y generaban mayor estabilidad al ser colocadas en los elementos de protección. Como resultado de una gran variedad de estudios de laboratorio, se definieron formas paralelepípedas como el tetrápodo, hexápodo y más actualmente el Xblock y el Cubípodo.

Los primeros diseños de elementos artificiales fueron para colocarse a dos capas sobre el montículo de enrocamiento, los más recientes ya fueron diseñados para colocarse a en sola capa. Estos acomodos o colocaciones pueden ser de forma aleatoria, uniforme e incluso más recientemente orientada con GPS (Global Positioning System), lo cual contribuye a la estabilidad y durabilidad de la estructura de protección.

## Durabilidad del concreto

La durabilidad del concreto para la realización de los elementos de concreto independientemente de la forma geométrica depende principalmente de los compuestos de la mezcla, que es la parte modular del propio elemento, ya que de la elaboración y calidad de los materiales que lo conforman dependen la vida útil para la cual fue diseñado.

La resistencia del concreto (ya sea estándar o alta), depende de calidad de los materiales 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 (mezclado en cementera y transportado a la obra), realizado y vertido en el mismo lugar donde se construyen los elementos, e incluso si es inyectado (en bolsacretos).

La durabilidad de las piezas prefabricadas de concreto depende del tipo de obra para la cual se construye, desde la conceptualización, diseño, preparación, fabricación, colocación, uso e incluso si es el caso, la reparación y/o el reciclaje del elemento, lo anterior se enumera a continuación:

1. Diseño: selección del de elemento y análisis de su forma geométrica para habilitar la cimbra o molde.
2. Dimensionamiento: identificación y aprobación de las proporciones de los componentes del concreto, mezcla, vertido en moldes, descimbrado, área de almacenamiento, plantas de elaboración de agregados o de la mezcla y equipos mecánicos para el vibrado del concreto.
3. Fabricación (del concreto): preparación de moldes o cimbra (ensamble y aplicación de desmoldante), cierre de moldes, vertido de concreto y vibrado (si es necesario relleno con más concreto después del vibrado), tomas de las muestras del concreto 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): fraguado, curado, primera elevación y almacenamiento, incluidos las pruebas a los cilindros de control de calidad que son llevados a 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 piezas en su lugar final sobre la obra de protección marítima.
6. Servicio: después de la exposición a la acción del mar y proceso de deterioro natural de los elementos de concreto.
7. Reparación o reciclaje: recuperación del elemento, manipulación, almacenamiento y procesamiento para su reutilización.

De igual forma aunado a esta metodología se debe tener en cuenta los siguientes aspectos en la realización del concreto para la elaboración de los elementos prefabricados de concreto:

- 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.

También es importante mencionar los 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 almacenamiento 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 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.

### **Deterioro de las piezas de concreto**

La calidad de las piezas de concreto se obtiene al evitar el uso de cualquier material de mala calidad durante todas las etapas de preparación, construcción y manejo enumeradas anteriormente; la vida útil de los elementos se logra cuando la realización de la pieza de concreto es adecuada para soportar los diversos agentes agresivos del medio ambiente y estos se enumeran en la tabla 1 donde 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).

**Tabla 1. Resumen de los agentes y efectos sobre la mezcla, el refuerzo en 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**

Conjuntamente con las especificaciones descritas en párrafos anteriores, se han creado normas y especificaciones en la construcción de las piezas de concreto para su uso e implementación en el medio marítimo, para garantizar que la calidad del concreto sea la más alta, lo cual repercutirá directamente en la vida útil de las piezas acorde a las necesidades y demandas para las cuales son fabricadas.

De forma global, la implementación de estas piezas de concreto se empezó a realizar aproximadamente en el primer tercio del siglo XX y hasta años recientes en el presente siglo XXI. Con la investigación y diseño de piezas de concreto que ha evolucionado en los años mencionados, se han inventado distintas formas geométricas de elementos artificiales que se colocan en las capas de las estructuras de protección marítima y costeras. Las formas van desde geometrías cubicas que fueron diseñados semejantes a semiesferas nombradas escollera (ver figura 2), bloques tipo antifer o cubo ranurado, tetrápodos, dolos, y distintas formas que varían de acuerdo a su forma física especial, 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
Cubo	---	---	Seabee	Australia	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 la innovación tecnológica surgió la necesidad de hacer estas piezas además de estables, también duraderas. Para alcanzar tal propósito, fue preciso investigar qué tipos de materiales resultaban 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 crearon 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 el cuerpo de ingenieros de la armada, de los Estados Unidos de Norteamérica a mediados del siglo pasado se establecieron las consideraciones de construcción de todo lo relacionado con el medio marítimo (*Coastal Engineering Manual*), bajo las Normas de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (*American Society of Civil Engineers*) 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 la correcta fabricación y longevidad de las piezas de concreto, ya que estos son construidos en el medio marítimo y a menudo deben soportar los intensos embates incisantes 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, 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 a cargo del diseño.

Dentro de estas normas se menciona que el concreto debe de considerarse 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 pertenecientes a las piezas prefabricadas.

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 la anterior clasificación se determina que le 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 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 cemento tipo 6 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 CEM I	Tradicional, sin componentes secundarios.
Cemento tipo II CEM II	Con componentes secundarios. Es ampliamente utilizado en obras. Se adapta a diversos usos.
Cemento tipo III CEM III	Con productos secundarios: escoria de alto horno, puzolana y otros. Este tipo de cemento están destinados a usos específicos.
Cemento tipo IV CEM IV	No se fabrica en Francia.
Cemento tipo V CEM V	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 ( $C_3A$ ) 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) para la norma NF EN 14647.

Estos cementos llevan la mención PM (Prise Mer) Adaptados al Mar en el saco de 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 Secretaría 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).** 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).** Resultado de la molienda conjunta de la escoria Pórtland, puzolanas y sulfato de calcio.
- **Tipo CPEG (Cemento Pórtland con Escoria Granulada de alto horno).** Producido mediante la molienda conjunta de la escoria Pórtland, escoria granulada de alto horno y sulfato de calcio.
- **Tipo CPC (Cemento Pórtland Compuesto).** Obtenido 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).** Resultado 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.

De igual forma, 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 ( $306 \text{ kg/cm}^2$ ).
- 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 ( $408 \text{ kg/cm}^2$ ) y deba cumplir con una resistencia inicial mínima de treinta (30) mega pascales ( $306 \text{ kg/cm}^2$ ).

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 páscales (306 kg/cm<sup>2</sup>) 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 páscales (408 kg/cm<sup>2</sup>), una resistencia inicial mínima de treinta (30) mega páscales (306 kg/cm<sup>2</sup>), 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 las normas descritas y resumidas en distintas regiones, se concluye que el tipo de cemento utilizado para la obra en específico es emitido por el país donde se realice la obra, y a su vez, si es el caso, 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 sometidos a 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 suficiente 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 Pórtland Cement. Abstract.* Página de internet.  
[https://www.astm.org/c0150\\_c0150m-22.html](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-urable.gouv.fr/IMG/pdf/32\\_BSM\\_LeHavre\\_cle59c2a9.pdf](https://webissimo.developpement-urable.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](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. Secretaría 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). Pórtland cement.* Japanese Industrial Standards Committee. Standards Board. Technical Committee on Civil Engineering. Tokyo, Japan.  
[https://dlscrib.com/download/jis-r-5210-Pórtland-cementpdf\\_5af00401e2b6f5b65b8c2ee8\\_pdf](https://dlscrib.com/download/jis-r-5210-Pórtland-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 Pórtland.* 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.