INGENIERÍA CIVIL OCEÁNICA

Universidad de Valparaíso CHILE
Facultad de Ingeniería

UTILIZACIÓN DEL HORMIGÓN EN OBRAS MARÍTIMAS. ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE HORMIGÓN TRADICIONAL Y HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE

Defensa del proyecto para optar al Título de Ingeniero Civil Oceánico

Ricardo Parra Villarzun
Marzo 2018

Introducción al estudio

La finalidad de este estudio teórico es realizar un análisis comparativo entre dos tipos de hormigones. Por un lado el hormigón tradicional (HC), utilizado ampliamente en obras de todo tipo, y por otro lado, el hormigón autocompactante (HAC), que a pesar de sus ventajosas prestaciones sigue siendo menos empleado.

Objetivos

Objetivo General:
Realizar una comparación entre el hormigón tradicional y el hormigón autocompactante en obras marítimas en Chile.

Objetivos específicos

1.- Revisión bibliográfica sobre el hormigón para colocación bajo agua y hormigón autocompactante.

2.- Establecer las variables específicas que permitan comparar un hormigón de características convencionales versus un hormigón autocompactante.

3.- Analizar los parámetros que permiten obtener una mejor impermeabilidad y determinar si el hormigón autocompactante tiene un mejor desempeño en obras de ingeniería marítima.

4.- Generar sugerencias y/o recomendaciones a partir de los resultados para la utilización del hormigón autocompactante u hormigón tradicional para obras marítimas.

Alcances y Limitaciones

Alcances

Información obtenida de obras marítimas en el mundo

Análisis y sugerencias aplicado de acuerdo a la información obtenida en la Dirección de Obras Portuarias (DOP).

Limitaciones

Se considerará información disponible en internet, especialmente la referida a obras y hormigón de otros países.

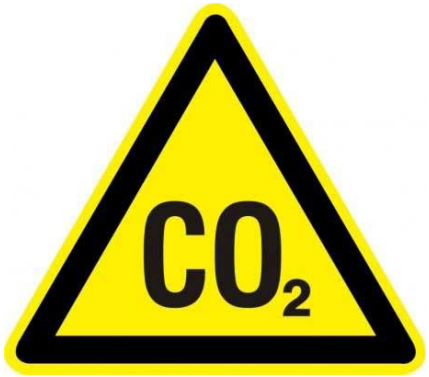
Se verificará información nacional respecto a obras marítimas de acuerdo a lo informado por la DOP.

Marco Teórico

Fundamentos teóricos

- Material utilizado por excelencia en la construcción
- Sustentabilidad y emisión de CO_2
- Principales propiedades del HAC
- Vacío en la Normativa

Obras con hormigón



NCh [illegible]:1985 → NCh 170:2016

Marco Teórico

Hormigón

Composición

CEMENTO

+

ARIDO GRUESO Y FINO

+

AGUA

+

ADITIVOS

Propiedades

- TRABAJABILIDAD
- RESISTENCIA DURABILIDAD
- MASA TERMICA
- VERSATILIDAD

Características

- PRODUCCION
- JUNTAS FRIAS
- FRAGUADO

Tipos

- HORMIGÓN MASA
- HORMIGÓN ARMADO
- HORMIGÓN POS Y PRE TENSADO
- HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE

Marco Teórico

Hormigón autocompactante (HAC)

VENTAJAS

1.- HORMIGONADO FACIL Y RAPIDO

2.- SIN VIBRADO

3.- GRAN FLUIDES

4.- EXCELENTE ACABADO SUPERFICIAL

5.- MAYOR IMPERMEABILIDAD

6.- MENOR CONTAMINACION ACUSTICA

7.- MENOR MANO DE OBRA

8.- REDUCE EL COSTO GLOBAL DE LA OBRA

DESVENTAJAS

1.- GRAN CONTROL DE DOSIFICACION

2.- MAYOR COSTO

3.- MOLDAJES EPECIALES

MATERIALES DE FABRICACIÓN

- CEMENTO PORTLAND
- ARIDOS (FINOS Y GRUESOS)
- AGUA
- ADITIVOS
- ADICIONES

CENIZAS VOLANTES

FILLER CALIZO

Marco Teórico

Universidad de Valparaíso
CHILE
Facultad de Ingeniería

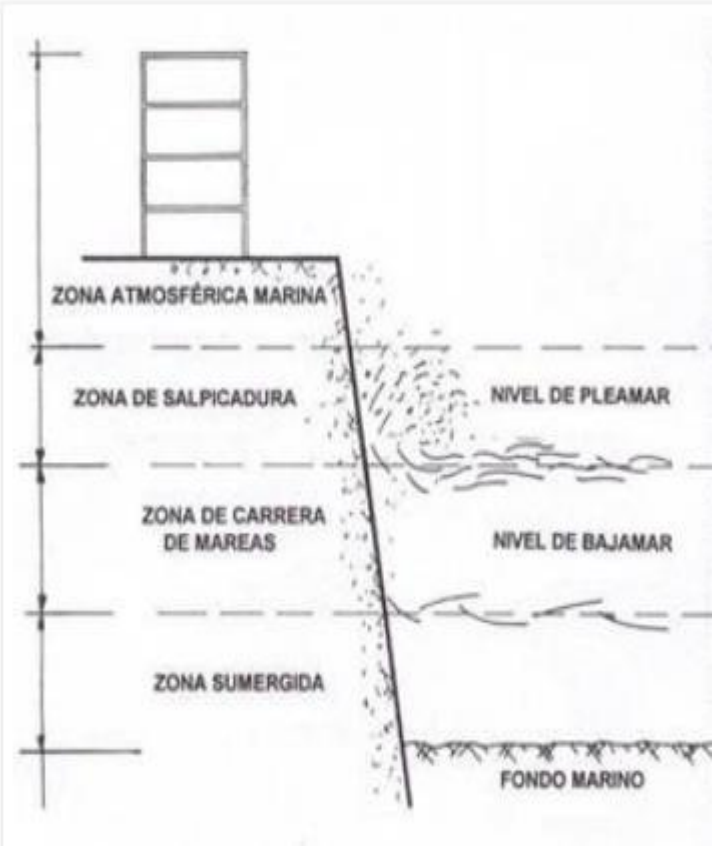
Hormigón en Ambiente Marino

Historia

OBRAS MARITIMAS PORTUARIAS

- Puerto Asmar.
- Muelle Melinka.
- Muelle y Terminal Mejillones.
- Mejoramiento costero Estrecho de Magallanes.

ZONAS DE EXPOCISION COSTERAS

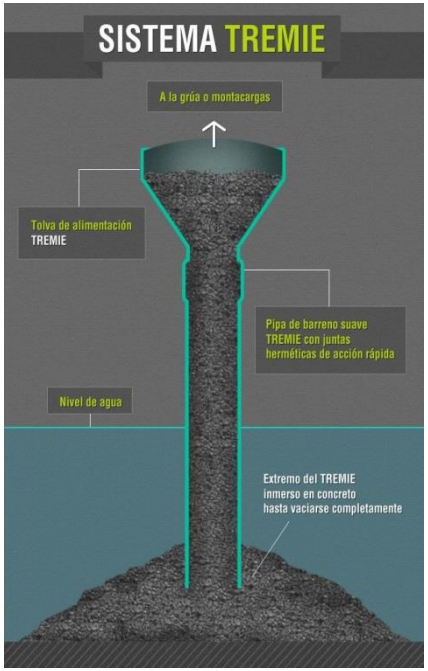


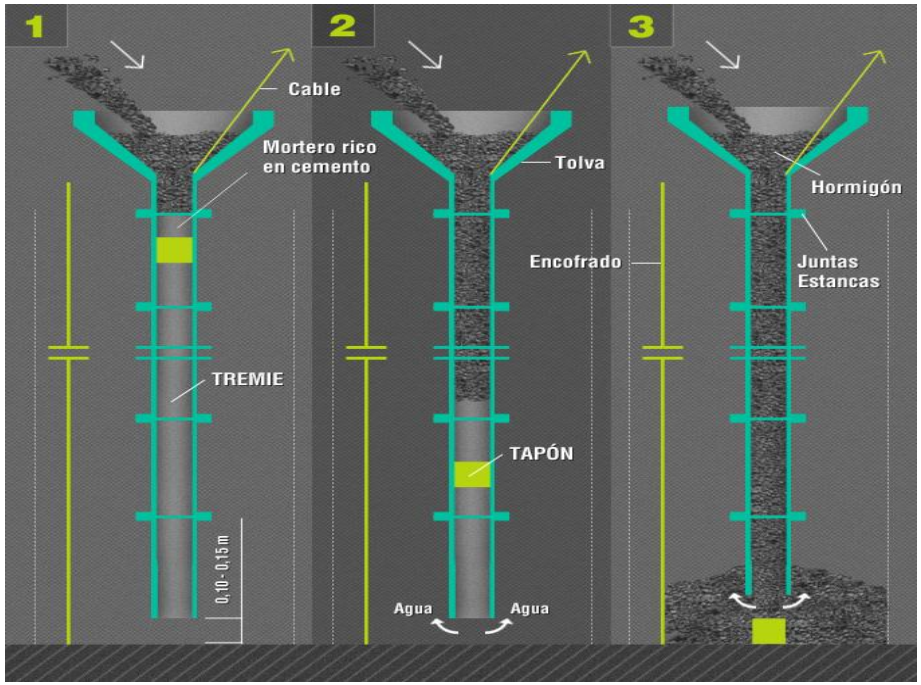
Marco Teórico

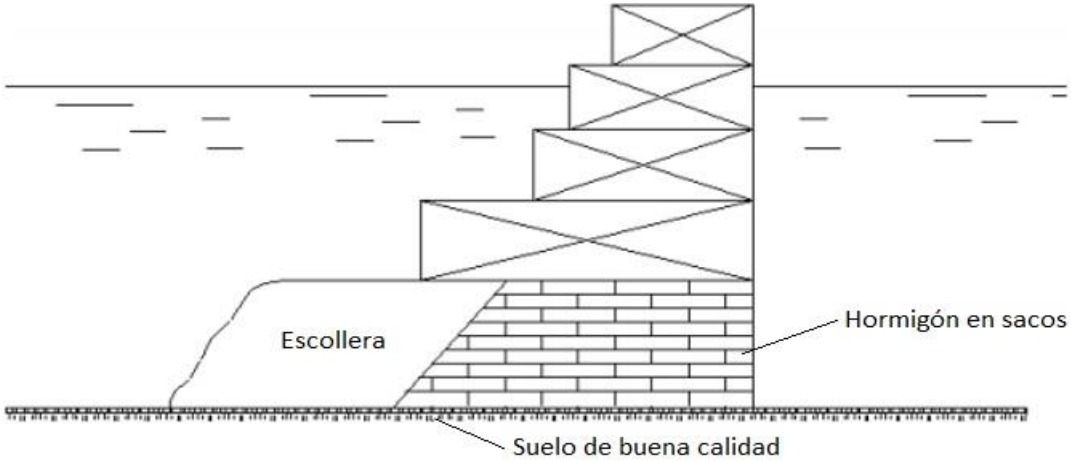
Técnicas de Hormigonado

Tremie

Ensacado







Marco Teórico

Normativa

NCh 170:2016

Grado de exposición	Mínimo grado de resistencia especificado [MPa]	Dosis mínima de cemento [Kg/m³]	Profundidad de penetración de agua, según NCh2262 [mm]
C0	G17	–	–
C1	G17	270	<50
C2-A	G20	300	<40
C2-B	G25	330	<30
C2-C	G35	360	<20

AMBIENTE MUY SEVERO

NCh170:2016

5 Requisitos y designación del hormigón

5.1 El hormigón debe cumplir la resistencia especificada de proyecto, los requisitos de durabilidad y los otros requisitos indicados en esta norma.

5.2 La designación del hormigón debe considerar como mínimo los parámetros siguientes:

a) grado de resistencia mecánica especificada;

b) fracción defectuosa;

c) tamaño máximo nominal del árido; y

d) asentamiento de cono.

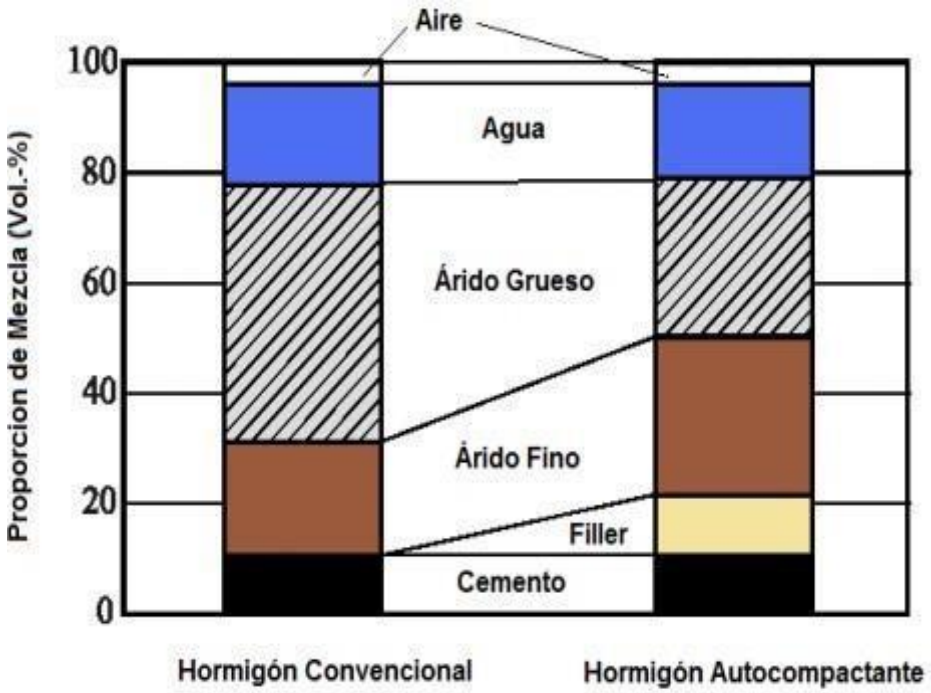
EXCLUYE HORMIGONES DE TECNOLOGIAS ESPECIALES

Metodología

Revisión bibliográfica del hormigón autocompactante

- Años 80´ falta de homogeneidad y durabilidad asociada a la mala compactación como error humano.
- Con la introducción de los aditivos superplastificantes fue posible el diseño de mezclas fluidas en estado fresco sin la necesidad de una elevada cantidad de cemento.
- En 1988 se desarrolla el concepto de Hormigón Autocompactante (HAC), por Okamura en Japón.
- Rápido desarrollo en elementos prefabricados, debido a las ventajas que presenta el HAC frente al hormigón convencional, gracias a sus propiedades en estado fresco.

Proporciones entre el hormigón autocompactante y el hormigón convencional.



Escala no especificada.

Metodología

Filler
Cenizas volantes

Según UNE-EN 197-1
CEM I 42,5 y CEM I 52,5

Aditivos plastificantes
Aditivos superplastificantes
Retardadores y Aceleradores de Fraguado

Árido grueso ≤ 12-13 [mm]
Árido fino < 0.125 [mm]

Importancia impurezas
Como hidratante
Como lubricante

Propiedades del HC Y HAC

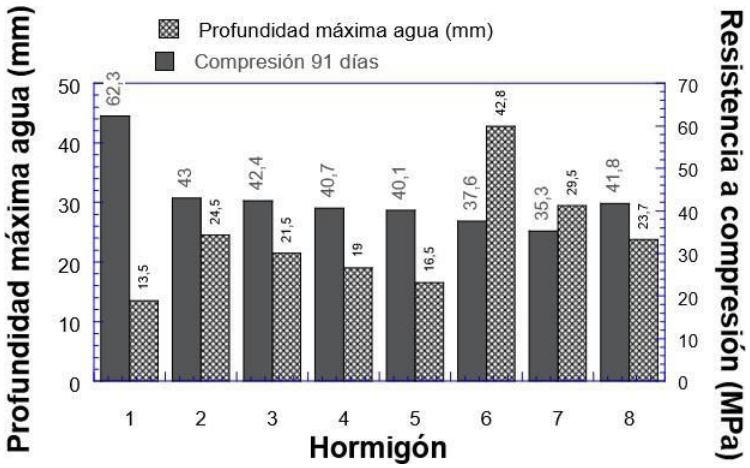
RESISTENCIA

La resistencia es la propiedad del hormigón de mayor referencia a la hora de su caracterización.

Mayores resistencias a compresión en los hormigones autocompactantes que en los hormigones convencionales.

IMPERMEABILIDAD

Un hormigón con una baja permeabilidad incrementa la durabilidad del hormigón y colabora en la protección de las armaduras frente a la corrosión. Lo anterior se puede evaluar por medio de ensayos de desempeño del hormigón realizados en laboratorio y/o terreno



Propiedades del HC Y HAC

TRABAJABILIDAD

La utilización de aditivos superplastificantes de última generación, ha revolucionado la tecnología del hormigón, debido, fundamentalmente, a que proporcionan una alta trabajabilidad.

Los retardadores del fraguado del hormigón son útiles en tiempos de altas temperaturas porque suelen aumentar la retracción

Ensayo del cono de Abrams (se mide altura de asentamiento)

Ensayo de cono invertido para HAC (se mide diámetro de asentamiento)

FRAGUADO

Los factores más relevantes a considerar para el fraguado son:

- La temperatura
- Relación agua/cemento
- Contenido de cemento/adiciones
- Tipo de cemento
- Aditivos químicos

Protección de hormigonado en el fraguado

Hidratación del hormigón en el fraguado

Plataforma Petrolífera en Valencia:

Puente Akashi Kaikyo, en Japón

Puente de la Constitución de 1812 sobre la Bahía de Cádiz:

Métodos constructivos en Obras marítimas

- Ensacado, bombeo y Tremie:

1- Para hormigones convencionales se debe evitar la caída libre del hormigón desde una altura superior a 2 [m].

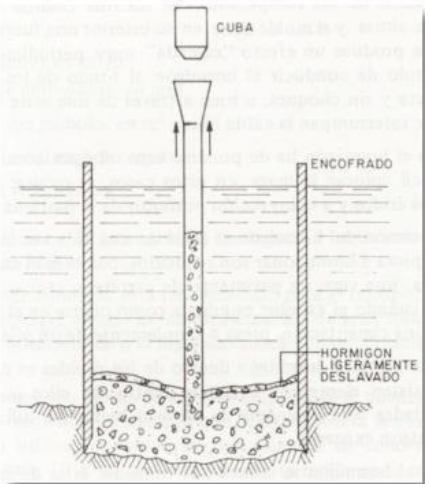
2- La colocación del hormigón se hace de una sola vez cuando los espesores de la pieza a hormigonar son reducidos o en varias capas o tongadas cuando el espesor es grande como ocurre en el caso del hormigonado de una cimentación.

3- Para evitar el deslavado del hormigón por la acción del agua se utilizan diferentes sistemas de transporte directo del hormigón al fondo del encofrado a través de conductos

4- El transporte puede realizarse en tubos que se elevan a medida que sube el nivel del hormigón, pero, permaneciendo siempre introducidos en la masa del mismo, al objeto de que no se produzca una caída libre.

5- Para el hormigonado bajo agua la masa del hormigón suele estar delimitada por un encofrado situado bajo el agua. Existen en el mercado aditivos que incrementan de una forma elevada la cohesión del hormigón impidiendo el lavado que pueda producir el agua.

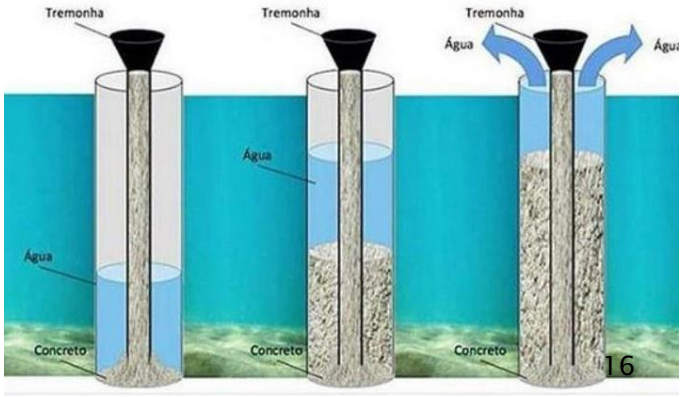
Hormigonado bajo el agua



Encofrado preparado para colocar el hormigón HAC mediante bombeo de abajo hacia arriba.

Pilote hormigonado en contacto con el agua de mar.

Proceso de expulsión de agua del moldaje al hormigonar



Análisis

Obras en Hormigón Autocompactante en Chile

- En cuanto a las Obras en Hormigón autocompactante en Chile, se obtiene escasa información al respecto de la DOP, uno de los motivos por el cual se desarrolla esta investigación

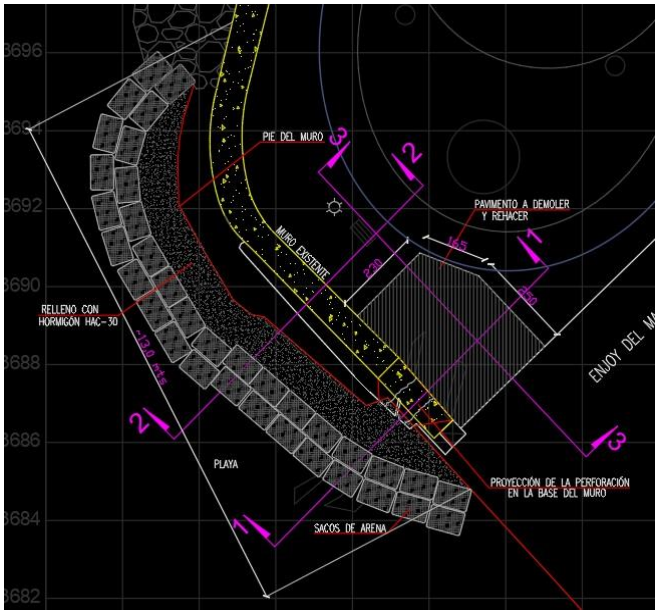
En la Ciudad de Viña del Mar en el año 2016, como consecuencia de un socavón posterior a las marejadas del mismo año, se llevó a cabo en el paseo borde costero Avenida Perú, una obra de restauración.

El diagnostico señala que se genera una socavación que deja al descubierto una perforación de 40 a 50 [cm] de diámetro que atraviesa todo el muro, esta perforación se ubica bajo el pavimento socavado, permitiendo una fuga del relleno, Ilustración 20.

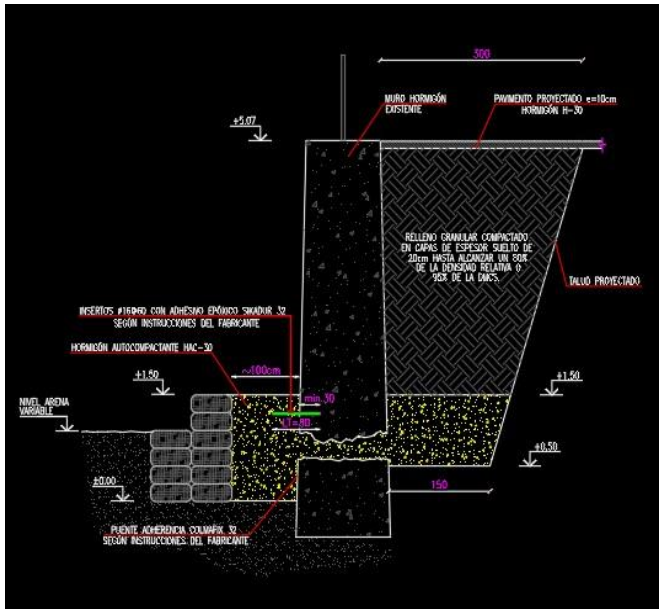
Análisis

- Las Bases técnicas del proyecto señalan que el hormigón que se utilizo fue Hormigón Autocompactante (HAC-25), ya que este puede fluir por su propio peso y llenar completamente la cavidad, incluso en presencia de pocos espacios, sin necesidad de vibración, manteniendo la homogeneidad, y de esta manera, otorgando mejor impermeabilidad que un hormigón tradicional. (Contreras Gómez, 2016). El Hormigón debía tener las siguientes especificaciones de referencia:

Análisis



- Con respecto al moldaje, en primera instancia se utilizarían tabla estacas como moldaje para poder hormigonar y taponar la fuga de material del socavón.



- Considerando que el hormigón autocompactante es muy fluido y a modo de evitar el deslave de este, se opto como mejor solución el moldaje de ensacado.

Análisis comparativo

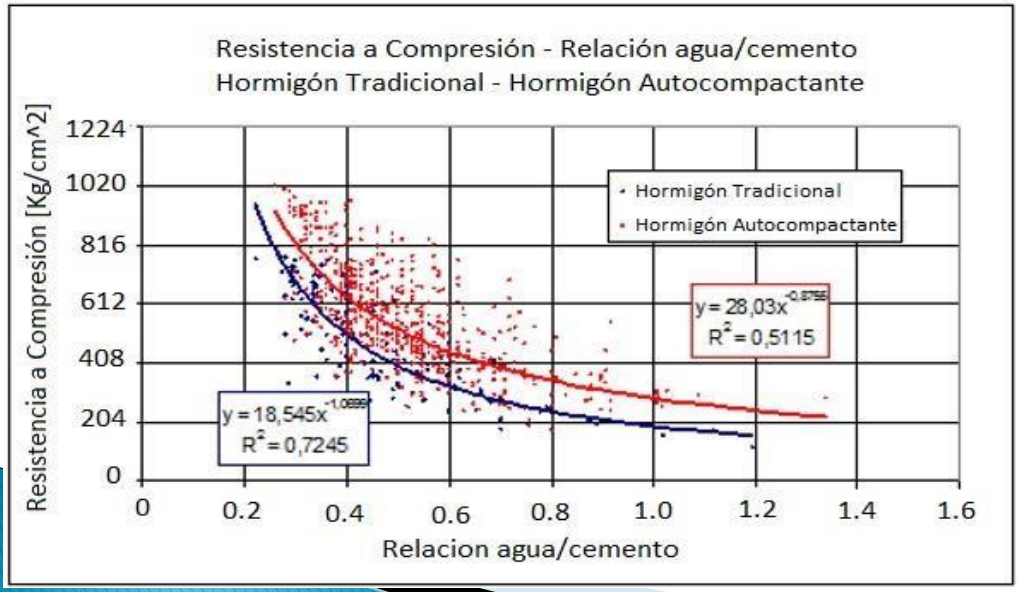
FACTOR	HORMIGÓN TRADICIONAL	HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE
DURABILIDAD	- Capaz de resistir la intemperie, acción de productos químicos y desgastes - Un buen vibrado, una buena compactación y los materiales otorgarán durabilidad al hormigón. - Cabe mencionar que al ser un hormigón más poroso y tener una compactación no asegurada completamente, su durabilidad es menor comparada con la del hormigón autocompactante.	- La inter fase pasta-árido es más densa que en un hormigón convencional, debido a la ausencia de vibración y al uso de adiciones, que permiten una mayor compacidad y como consecuencia, una reducción de la velocidad de penetración de los agentes agresivos. - Se puede deducir que es de esperar que el HAC presente una durabilidad igual o superior a los hormigones convencionales con resistencias al menos equivalentes.
RESISTENCIA	- Depende de su dosificación. Para dosificaciones ricas en cemento Portland (800 [Kg/m3] de cemento), se consigue una resistencia de 40 [kg/cm2]; con 500 [kg/m3] de cemento, la resistencia se reduce a 35 [kg/cm2]; mientras que la más habitual con 300 [kg/m3] proporciona una resistencia de 25 [kg/cm2]. - Por falta de adiciones minerales su resistencia tiende a ser menor que la de un hormigón autocompactante.	- Aplican las mismas fórmulas utilizadas en la elaboración de un hormigón tradicional. - Dada su composición y el empleo de adiciones minerales en su dosificación, algunas de ellas con propiedades de reactividad hidráulica o puzolánica, hacen que el hormigón autocompactante ofrezca en general, mejores propiedades mecánicas que el hormigón convencional.

Análisis comparativo

FACTOR	HORMIGÓN TRADICIONAL	HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE
IMPERMEABILIDAD	-El hormigón tradicional, a pesar del uso de aditivos impermeabilizantes y también inhibidores de corrosión en las armaduras de acero, es más permeable que un HAC. -Su principal desventaja ante la impermeabilidad que impone el medio marino es la porosidad.	- Con una baja permeabilidad el HAC, incrementa la durabilidad del hormigón y colabora en la protección de las armaduras frente a la corrosión. - utiliza aditivos especiales que permiten llegar al punto requerido en la aplicación. - A su vez, gracias a estos aditivos y también a las adiciones, estas mezclas se destacan por tener menor porosidad y por tanto, mayor resistencia a la penetración de agua.
TRABAJABILIDAD	- Sus componentes distan de otorgar una mezcla fluida Incluso con superplastificantes, nunca se logrará una trabajabilidad superior a la del HAC.	- Adiciones con diámetros no superiores a 13 [mm] , junto con los aditivos superplastificantes, haciendo un hormigón mucho mas fluido y capaz de llenar completamente los moldajes. - Menor mano de obra y hormigonado en menos tiempo y completamente compactos.

Análisis comparativo

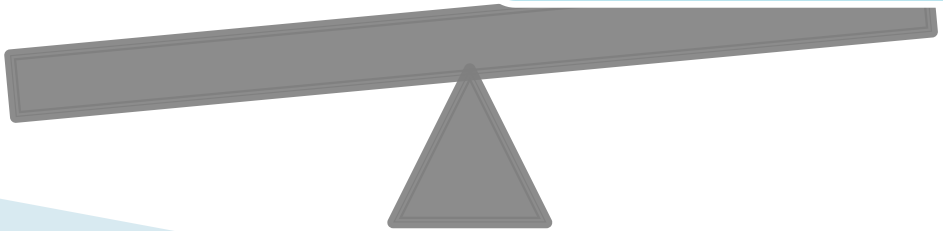
FACTOR	HORMIGÓN TRADICIONAL	HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE
FRAGUADO	– El fraguado del hormigón dependerá de los factores que afecten al nivel de conectividad entre partículas y vacíos. – También depende de las condiciones ambientales como la temperatura y humedad, información relevante en ambientes marinos y zonas costeras	–Los tiempos de fraguado son manejables y controlables, con aceleradores y retardadores de fraguado. – Al ser mas fluidos son mas vulnerables al lavado de la mezcla al momento de realizar el hormigonado.



Podemos evidenciar que las relaciones de agua/cemento en ambos hormigones son predominantes a la hora de elaborar hormigones resistentes, pero siendo el hormigón autocompactante el que logra obtener mayores resistencias por sobre el tradicional

Otros puntos relevantes

	HC	HAC
COSTOS	Mas barato (10 [m³]) $512.874,57	40% mas costo (10 [m³]) $894.242,84
RENDIMIENTO	Mayor numero y tiempo de ejecución, requiere ser vibrado en mas de una ocasión	Sin interrupciones., no requiere de vibrado, menos mano de obra y tiempo de ejecución
SUSTENTABILIDAD	Producción de residuos y mayor contaminación acústica.	Contribuye con la preservación del medio ambiente; produce menos residuos y menor contaminación acústica



Análisis y Sugerencias

1.- Para realizar una obra marítima, es necesario, en primer lugar, conocer el lugar de emplazamiento.

2.- No es menor el hecho de construir sobre o bajo el mar, con equipo flotante o apoyado en el suelo marino, sujeto a condiciones marítimas y oceanográficas cambiantes, cumpliendo las exigencias técnicas en el plazo contratado y los costos presupuestados.

3.- Es necesario poder contar con el capital humano competente y el equipamiento que corresponde para poder desarrollar cualquier obra de estas características.

4.- A pesar de que Chile cuenta con una extensa costa, las bahías disponibles para poder construir un puerto están en su mayor parte copadas. Por lo tanto, los desafíos para el crecimiento que se proyecta en el país en materia portuaria, es que el tipo de obra que se quiere construir debe ser de mayor valor. La mayor preocupación en este tipo de construcción, es generar una bahía adecuada, protegida del oleaje.

5.- España y Japón, consideran el hormigón autocompactante como el principal protagonista de estas obras, sobre todo por sus cualidades presentadas, no obstante, a nivel nacional, no han existido obras de gran envergadura, esto debido a lo copado que se encuentran las costas y porque no han existido nuevas construcciones marítimas que puedan probar estas nuevas técnicas, debido a sus altos costos.

6.- Sin embargo, lo que sí es relevante, y genera gran distinción, es la disminución de los costos de la mano de obra, razón por la cual fue creado el HAC, y porque aún sigue siendo el gran componente en países asiáticos en construcción marítima.

Conclusiones

1.- Respecto al fraguado, ninguno de los dos hormigones presenta ventajas por sobre el otro, ya que este proceso en la actualidad es controlado con aceleradores y retardadores, por lo que el endurecimiento del hormigón puede ser manipulado .

2.- De acuerdo con la trabajabilidad, el hormigón autocompactante corre con mucha ventaja por sobre el hormigón tradicional, ya que este no requiere ser vibrado para su completa compactación.

3.- El rendimiento del hormigón autocompactante se encuentra muy por encima del hormigón tradicional, ya que el tiempo efectivo del hormigonado del HAC es continuo a diferencia del hormigón tradicional.

4.- La impermeabilidad del hormigón autocompactante es superior que la del hormigón tradicional, gracias a su homogeneidad, compacidad, y menor porosidad, lo que le otorga una mejor barrera al paso del agua, protegiendo la armadura de acero, a diferencia del hormigón tradicional.

5.- Con respecto a los costos el HAC es aprox. 40% más costoso pero este costo es compensado con una importante reducción de la mano de obra, arriendo de maquinaria y mantención ya que el costo global de la obra, se ve disminuido al requerir de menos personal y maquinaria para su aplicación, reduciendo los tiempos de trabajo.

6.- El HAC es más amigable con el medio ambiente que el hormigón tradicional, ya que la emisión de CO_2 es disminuida en gran medida gracias a la utilización de residuos industriales.

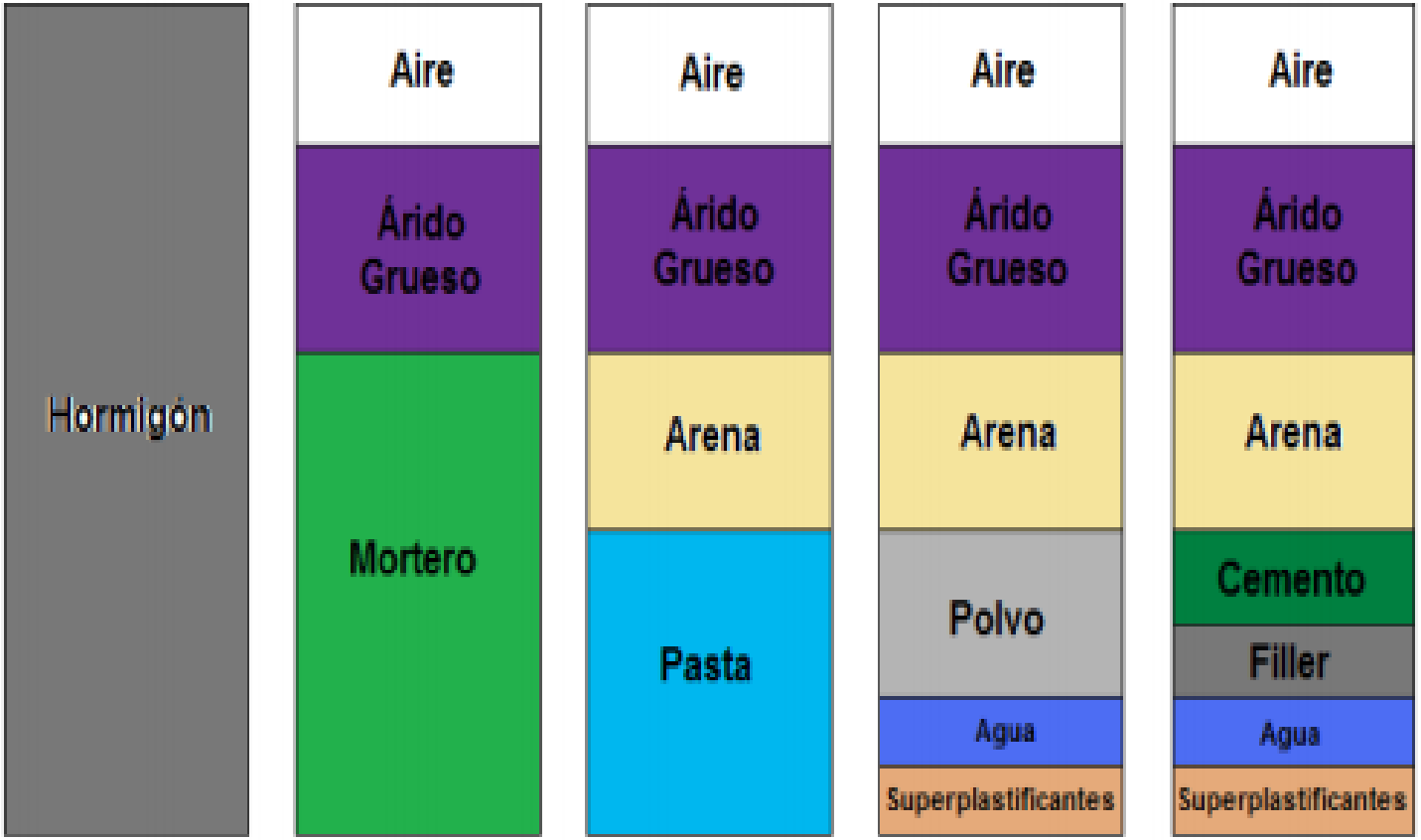
7.- Se puede inferir que la ausencia del hormigón autocompactante en las obras marítimas chilenas, se ve limitado, ya que en los últimos años no se han registrado grandes obras marítimas en donde se le pueda dar una chance al hormigón autocompactante.

8.- Finalmente, de acuerdo a lo investigado se puede decir que el hormigón autocompactante tiene un mejor desempeño en obras de ingeniería marítima.

- Gracias.

Obras con hormigón

La norma chilena NCh 2182. Of 95 establece la siguiente clasificación:

Tipo	Aditivo
A	Plastificantes
B	Retardadores de agua
C	Aceleradores
D	Plastificantes y retardadores de agua
E	Plastificantes y aceleradores de agua
F	Superplastificantes
G	Superplastificantes y retardadores de agua
H	Incorporadores de aire

Composición esquemática del HAC