

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR
JOSÉ MIGUEL CARRERA

CONSTRUCCIONES DE HORMIGON ARMADO BAJO AGUA

Trabajo de Titulación para
optar al Título de TÉCNICO
UNIVERSITARIO en CONSTRUCCIÓN

Alumno:
Rodrigo Guerra Espinoza

Profesor guía:
Marcos Díaz Espinola

RESUMEN

En respuesta a una inquietud personal y la intención de que un trabajo de investigación como el desarrollado, sirviera de apoyo a otros estudiantes, se ha abordado el tema de la presente memoria. En ella podemos encontrar información, recopilada y analizada, referida al estado del arte de los hormigones bajo agua.

El Capítulo 1, muestra lo referente a la tecnología de los hormigones sumergidos, vale decir, contiene la información relativa a las cualidades y calidades de los constituyentes de la mezcla (agua de amasado, áridos, cemento, aditivos) y de los diferentes tipos de hormigones que se pueden utilizar en ambiente sumergido. Además entrega la información necesaria para obtener buenas dosificaciones de hormigones bajo agua.

En el Capítulo 2, se muestra la información referente a los inconvenientes de tener un hormigón armado sumergido en ambiente marino. Esto se refiere a los efectos del ambiente propiamente tal, ya sea la sumersión, la composición química del agua marina, la presión (profundidad), la temperatura del agua, los organismos marinos que se adhieren, los hielos que solicitan al quedarse adheridos, e incluso el movimiento del agua por mareas o por sismos. Además muestra los efectos de: la causa de la abrasión, la cavitación, el ataque químico, la corrosión y la durabilidad. La corrosión se trata con especial cuidado, por ser uno de los fenómenos más dañinos en el hormigón armado, colocado en ambiente marino.

El Capítulo 3, trata sobre las técnicas que se utilizan para hormigonar bajo el agua, pasando desde algunas bastante rudimentarias, como lo es el talud que avanza, hasta inyecciones de mortero activado, claro está, pasando por otras técnicas como: el hormigón ensacado, el tubo-tolva y el hormigón en cubas.

Capítulo 4, que trata sobre las estructuras marinas, esto quiere decir que muestra la clasificación de estructuras, las técnicas de diseño y las consideraciones que se deben tener en el momento de ejecutar un proyecto de construcción de una estructura marina.

La memoria en sí, consta de cinco partes, que van desde los problemas que genera el mantener un hormigón armado en ambiente sumergido, pasando por la manera de dosificar y de hormigonar , además se explican los problemas causados por la corrosión y los aditivos mas usados en el mercado.

INDICE

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

CAPITULO 1: TECNOLOGÍA DE LOS HORMIGONES MARÍTIMOS

- 1.1. DISEÑO DE HORMIGONES
 - 1.1.1. Calidad de los materiales
- 1.2. TIPOS DE HORMIGONES MARÍTIMOS.
 - 1.2.1. Hormigón pesado
 - 1.2.2. Hormigón liviano
 - 1.2.3. Hormigón ciclópeo

CAPÍTULO 2: AMBIENTE SUBMARINO Y LA DURABILIDAD

- 2.1. EFECTOS DEL AMBIENTE MARINO
 - 2.1.1. Sumersión
 - 2.1.2. Constitución química del agua
 - 2.1.3. Gases disueltos y atrapados en el cemento
 - 2.1.4. Presión
 - 2.1.5. Temperatura
 - 2.1.6. Organismos marinos
 - 2.1.7. Hielos
 - 2.1.8. Fuerzas sísmicas, tsunamis y ondas expansivas de explosiones
 - 2.1.9. Movimiento del agua
- 2.2. DURABILIDAD DEL HORMIGÓN.
 - 2.2.1. Abrasión
 - 2.2.2. Cavitación
 - 2.2.3. Organismos marinos
 - 2.2.4. Ataque químico.
 - 2.2.5. Hielo-deshielo
- 2.3. CORROSIÓN DE ARMADURAS.
 - 2.3.1. Inspección y medición de la corrosión
 - 2.3.2. Análisis de las grietas y su influencia en la corrosión
 - 3.2.3. Medición de la corrosión

CAPÍTULO 3: TÉCNICAS DE HORMIGONADO

- 3.1. HORMIGÓN TREMIE (TUBO-TOLVA)
- 3.2. HORMIGÓN ENSACADO
- 3.3. HORMIGÓN POR TALUD QUE AVANZA
- 3.4. HORMIGÓN EN CUBAS
- 3.5. INYECCIONES SUBMARINAS DE MORTERO ACTIVADO
 - 3.5.1. Formas de activación para morteros
 - 3.5.2. Técnicas de inyección
- 3.6. CEMENTOS HIDRÁULICOS.
- 3.7. APLICACIONES DE CEMENTOS HIDRÁULICOS.
- 3.8. MOLDAJES PARA HORMIGONES SUMERGIDOS.
- 3.9. CUBRIMIENTOS PROTECTORES
 - 3.9.1. Cubrimientos hechos de hormigón
 - 3.9.2. Funda metálica
 - 3.9.3. Macizos elásticos
 - 3.9.4. Pinturas bituminosas
 - 3.9.5. Pinturas y enlucidos protectores
 - 3.9.6. Resina epoxica
 - 3.9.7. Usos de las resinas epóxicas.

CAPÍTULO 4: ESTRUCTURAS MARINAS, CARACTERISTICAS

- 4.1. CLASIFICACION FUNCIONAL DE ESTRUCTURAS MARINAS.
- 4.2. CONSIDERACIONES PARA EL TIPO DE ESTRUCTURA A EDIFICAR.
 - 4.2.1. Condiciones de diseño en situ
- 4.3. CONSTRUCCION
- 4.4. ANÁLISIS SÍSMICO
- 4.5. MODELACIÓN DE LA CUBIERTA DE UN MUELLE SOBRE LA BASE DE PILOTES
- 4.6. ESTRUCTURAS PORTUARIAS.
 - 4.6.1. Estructuras empotradas
 - 4.6.2. Estructuras de gravedad
 - 4.6.3. Estructuras flotantes
 - 4.6.4. Apuntalada
 - 4.6.5. Amarrado
 - 4.6.6. Rotulado

CAPÍTULO 5: ADITIVOS Y CORROSION

- 5.1. MECÁNICA DE LA CORROSIÓN
- 5.2. TEORÍA ELECTROQUÍMICA DE LA CORROSIÓN
- 5.3. FORMAS DE CORROSIÓN
- 5.4. CARACTERÍSTICAS DE LA CORROSIÓN EN AMBIENTE MARINO
- 5.5. EFECTO DEL CEMENTO EN LA CORROSIÓN
- 5.6. ADITIVOS
 - 5.6.1. Sikacrete W.
 - 5.6.2. Sikament FF-86
 - 5.6.3. Sikament NF (superplastificante)
 - 5.6.4. Sika Ferrogard 901 (inhibidor de corrosión)
 - 5.6.5. Sikacrete 950.
 - 5.6.6. Fro-Be (incorporador de aire)

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

INDICE DE FIGURAS

Figura 3-1:	Modelo de equipo para hormigón Tremie
Figura 3-2:	Esquema de hormigonado por Tubo-Tolva
Figura 3-3:	Muro de muelle, en base a hormigón en sacos
Figura 3-4:	Esquema para hormigonado por talud que Avanza
Figura 3-5:	Cuba para hormigonado
Figura 3-6:	Esquema hormigonado por cuba
Figura 3-7:	Amasador de activación mecánico
Figura 3-8:	Esquema de amasador colcrete
Figura 3-9:	Procedimiento de Activación Mixtos
Figura 3-10:	Mampuesto sellado con mortero
Figura 3-11:	Sellado de macizo con mortero
Figura 3-12:	Encofrado tipo FAYE
Figura 3-13:	Encofrado viga directriz. esquema de avancé vertical.
Figura 4-1:	Modelo de deformación de un pilote
Figura 4-2:	Tablaestaca Simplemente empotrada
Figura 4-3:	Tablaestaca simplemente anclada
Figura 4-4:	Tablaestaca doblemente anclada
Figura 4-5:	Muro sólido
Figura 4-6:	Muro de bloques
Figura 4-7:	Muro por niveles
Figura 4-8:	Estructura flotante apuntalada
Figura 4-9:	Estructura flotante amarrada
Figura 4-10:	Rotulado

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Aditivos
Tabla 3-1:	Dosificación para hormigón bombeado
Tabla 3-2:	Dosificación para hormigón Tremie
Tabla 4-1:	Clasificación de estructuras marinas

Tabla 5-1:	Tabla de hormigón fluidificado
Tabla 5-2:	Efecto sobre La resistencia
Tabla 5-3:	Efectos sobre La permeabilidad

INDICE DE GRAFICOS

Grafico 5-1: Gráfico de Pérdida de masa de Hormigón con aditivos, por vaciado bajo agua.

Grafico 5-2: Grafico de resistencia a la presión en el hormigón con aditivos.

INTRODUCCIÓN

La siguiente memoria se ha realizado gracias a una inquietud presentada durante mucho tiempo que es la de construir en un ambiente submarino, se tiene por objetivo dar a conocer los métodos para realizar un hormigonado bajo el agua, proporcionar información con respecto a la corrosión de las estructuras y que aditivos se deben utilizar, explicar en forma general los procesos de las nuevas tecnologías y aquellas técnicas más tradicionales, y lo más importante es dar a conocer la importancia de una buena dosificación para hormigones sumergidos.

Se tiene como objetivo general dar los conocimientos que se refieren al hormigón submarino para lograr un buen mantenimiento de los puertos principales especialmente el puerto de Valparaíso. Por eso se entrega la información necesaria para complementar futuros proyectos en lo que se refiere a la construcción y mantención de nuestras obras portuarias.

El hormigón sumergido propiamente tal, es un hormigón el cual debe mantenerse inerte a las características del ambiente en el cual se encuentra, esto significa que el cemento y agregados no deben reaccionar con elementos presentes en el agua. Además este debe ser impermeable, para que así las armaduras utilizadas no sufran de corrosión. Esas características anteriormente enunciadas deben acompañar a las de resistencia requerida por la estructura.

Como es de esperar la tarea de construir estructuras en un ambiente que no sea el común (fuera del agua) tiene algunas complicaciones, en este caso los mayores problemas que se presentan son durante su proceso constructivo. Durante este proceso, se pueden encontrar problemas o interrogantes tales como ¿qué hormigón utilizar?, ¿qué moldaje es el apropiado?, ¿cómo realizar la faena de hormigonado?, preguntas que en construcciones fuera del agua están más que estudiadas, en el caso del ambiente

sumergido, se estudian para cada caso en particular, ya que cada zona de construcción presenta sus características especiales, ya sean las características del agua, las mareas, el tipo de suelo, etc.

En la actualidad el desarrollo de tecnologías especiales, para los requerimientos que presenta el trabajo en este ambiente tan especial, ha hecho que las labores se hagan en forma menos complicada y costosa. Dentro de los progresos que más han ayudado, se encuentran: el estudio de los aditivos, que se necesitan para mantener las características del hormigón durante el proceso de hormigonado y posterior fraguado, utilización de estructuras prefabricadas y maquinarias específicas para estas labores.

Claro está que los materiales y tecnologías a utilizar para y durante la construcción de una estructura que esté en ambiente sumergido, dependerán de su magnitud y posterior utilización.

Para llegar a conocer el comportamiento del hormigón, las formas de hormigonar, y los cuidados que hay que tener al construir estructuras en un ambiente complicado, como lo es el sumergido, es que se ha procesado una cantidad importante de información, recopilada de publicaciones, tanto de años anteriores como actuales. Con dicha información es que se ha realizado este texto, donde se puede encontrar la información necesaria, ordenada de tal forma que se puede pasar desde los efectos que tiene el ambiente marino en el hormigón, las dosificaciones, las técnicas de hormigonado, la mecánica de la corrosión, el uso de aditivos y los efectos del ambiente marino en las armaduras.

CAPITULO 1: TECNOLOGÍA DE LOS HORMIGONES MARÍTIMOS

1. TECNOLOGÍA DE LOS HORMIGONES MARÍTIMOS

Para obtener hormigones de la calidad que uno desea, es necesario establecer, mediante el uso de dosificaciones adecuadas, la combinación adecuada de los agregados. Se establece como objetivo general el presentar los cuidados que se deben tener en el diseño de las dosificaciones para obtener un hormigón sumergido de calidad. Además se tienen como objetivos específicos el detallar las dosificaciones y tipos de hormigones necesarios para realizar obras de calidad en ambiente sumergido, esto quiere decir el establecer las cantidades de: agregados pétreos, de agua de amasado, de aire incorporado, la cuantía de armadura, de aditivos y de cemento.

1.1. DISEÑO DE HORMIGONES

El diseño de hormigones comprende la correcta determinación cuantitativa de los componentes del mismo. Para ello es que se debe tener especial cuidado en las características deseadas en el producto final, ya que la dosificación, siendo como una receta, si se varía la cantidad de alguno de los agregados se obtiene quizás un producto que perjudique, en forma no pensada, la estructura a hormigonar.

1.1.1. Calidad de los materiales

La calidad de los materiales es proporcional a la calidad que se espera de la mezcla de hormigón en la cual se utilizaran. Por ello es que a continuación se muestran los cuidados que se debe tener a elegir y cuantificar cada elemento que constituirá la mezcla.

1.1.1.1. Agregados pétreos

Constituyen la porción mayor de la dosificación y no ha de contener materias orgánicas, sustancias solubles, películas adheridas, ni elementos blandos, deleznales o susceptibles de descomposición. Ha de ser químicamente inerte respecto del cemento y mecánicamente tenaz y adhesivo con la pasta de cemento. Estará constituido por trozos duros, no absorbentes ni permeables, estables e indivisibles. Su granulometría será aquella que dé el mínimo de huecos, o sea, la máxima compacidad.

En cuanto a su forma, el ideal para los agregados redondeados es la esférica y para los agregados angulosos, es la cúbica. Los que tienen formas laminadas, aplanadas y largas, cilíndricas o formas torcidas, dan mezclas poco trabajables y con tendencia a causar sedimentación o exudación.

Fundamentalmente, los agregados deberán estar limpios y libres de suciedad o depósitos de sal, por que lo es deseable, en caso de duda el lavado de los áridos. El contenido de sales no deberá superar los límites establecidos en la Norma NCh 163.

1.1.1.2. Agua de amasado.

Generalmente, deberá tener la calidad de ser potable y estar libre de turbidez excesiva y materiales orgánicos. Para una mayor durabilidad, y particularmente en exposiciones en climas semi-tropicales, se deberá imponer estrictas limitaciones con respecto al porcentaje aceptable de cloruro de magnesio (1%).

Con respecto al uso del agua de mar, algunos autores lo aceptan, pero con severas limitaciones y recomiendan un alto contenido de cemento con el fin de incrementar la alcalinidad e inhibir la corrosión. Toda esta propensión a la corrosión de las armaduras, limita el uso del agua marina en el hormigón armado y prohíbe su uso en el hormigón pretensado. Shalón y Raphael, dicen además, que

cuando la estructura esté permanentemente sumergida, la corrosión podría no ocurrir, siempre que exista un alto pH y un contenido de sal uniforme.

La norma NCh 163 limita el contenido de Cloruros a 0.250 (Kg/m³) en hormigones pretensados.

1.1.1.3. Aire incorporado.

Es esencial para un hormigón marítimo, ya que permite lograr mayor plasticidad, por la distribución uniforme del aire en la mezcla, estos esferoides de aire, obran a la vez como un árido fino y como un sistema de "rodamiento de bolas" que facilitan la movilidad y acomodamiento del agregado grueso.

Los beneficios que se pueden obtener con el uso del aire incorporado, son:

- a.- Disminución del contenido de arena en un volumen absoluto igual al del aire incorporado.
- b.- Disminución del agua de amasado, sin pérdida de asentamiento.
- c.- Mejoría de la trabajabilidad y disminución de la razón agua cemento.
- d.- Los glóbulos, se constituyen en una defensa contra la segregación y exudación, lo que facilita el transporte, vaciado y da un mejor acabado superficial. Su porcentaje varía de un 4 a 6 %. Actúan también como válvulas de absorción de presiones internas y como freno a la penetración salina.

1.1.1.4. Aditivos

Son los ingredientes que se agregan al hormigón, antes o durante el amasado, con el fin de conferirles alguna cualidad determinada.

En los hormigones marítimos son frecuentemente usados los reductores de agua, para mejorar la trabajabilidad y

reducir la segregación durante la manipulación. Retardadores y Plastificantes son muy usados en los hormigones sumergidos. A continuación se muestra una tabla con algunos aditivos utilizados en hormigones bajo agua.

Tabla 1-1: Aditivos

ADITIVO	CARACTERÍSTICA
Sikament FF-86	Es un producto sintético que produce en el hormigón una consistencia superfluida que permite trabajar con una fuerte reducción de agua d amasado. No contiene cloruros, no es tóxico, cáustico ni inflamable. Este aditivo es absorbido por las partículas de cemento confiriéndoles una carga eléctrica negativa produciendo su separación, permitiendo con esto una hidratación completa de los granos de cemento, sin efectos secundarios.
Sikament NF	Es un aditivo superfluidificante y reductor de agua de alta capacidad que produce en el hormigón una consistencia superfluida o permite trabajar con una fuerte reducción de agua de amasado.

Sika Ferrogard 901	Es un aditivo inhibidor de la corrosión de las armaduras de acero insertas en el hormigón armado. Mediante su acción se aumenta considerablemente la vida útil de los elementos de construcción de hormigón armado. Es una combinación de inhibidores orgánicos e inorgánicos. Este aditivo forma una película protectora sobre la superficie del acero e impide la disolución del metal, protegiendo especialmente sobre la acción de cloruros.
Sikacrete W	Es un aditivo en polvo compuesto por microsilíce (Silica Fume) de alta calidad y aditivos especiales que, adicionado a la mezcla de hormigón o mortero, disminuye el lavado del cemento en el vaciado de la mezcla bajo agua. No contiene cloruros y puede utilizarse en hormigones y morteros en conjunto con un superplastificante para obtener la fluidez necesaria para la colocación del hormigón.
Sikacrete 950	Es un aditivo basado en microsilíce de alta pureza que, combinado con un superplastificante, produce máxima resistencia mecánica, alta impermeabilidad y alta durabilidad del hormigón. En la mezcla fresca se produce una lata cohesión, una reducción de exudación y una mejor trabajabilidad.

Fro Be	Es un aditivo el elaborado a base de agente tensoactivo, ligeramente más viscoso que el agua, que adicionado al hormigón, genera microburbujas que se reparten uniformemente. Además permite un aumento en la trabajabilidad y/o disminución del agua de amasado, reduce la segregación, reduce la exudación e incrementa la cohesión interna de la masa del hormigón.
--------	--

Fuente: Manual único de productos Sika

Es conveniente realizar mezclas de prueba, para establecer dosificaciones y determinar cualitativamente y cuantitativamente los resultados.

1.1.1.5. Armaduras

Deberán estar bien distribuidas para reducir el tamaño de cualquier fisura o grieta que pueda ser causada por la retracción u otras causas. Un adecuado recubrimiento de hormigón sobre las armaduras, deberá ser previsto. Asimismo se verificará que alguna pieza o trozo de armadura, no quede topando el moldaje. Muchas autoridades recomiendan un espesor de recubrimiento de 6 a 5 cm., y se deberá prever que el hormigón sea muy denso e impermeable, sobre todo en la zona de amplitud de mareas y expuesta a salpicaduras.

1.1.1.6. Cemento

Un alto contenido de cemento es preferible, por la debilidad, un mínimo de 425 (kg/m3) es recomendado. La razón agua-cemento, deberá ser lo más baja posible, en

orden a reducir la permeabilidad se recomienda un $0,4 \pm 0,05$.

En cuanto a la calidad del cemento, este deberá tener un moderado contenido de Ca_3Al (alrededor de un 8%) para prevenir una reacción química entre el hormigón y el agua marina. Además, deberá tener un bajo contenido alcalino (de 0,6% de Na_2O y K_2O) para prevenir una reacción con ciertos agregados, que pueda ser acelerada en ambiente marino.

De preferencia pueden aceptarse los cementos con adiciones activas como puzolana y escorias.

El cemento, como principal adherente entre los agregados pétreos que conforman el hormigón, se puede encontrar en diferentes tipos, algunos de ellos se describen a continuación:

1. Cementos Pórtland

Cemento Pórtland sin agregados, es el producto que se obtiene de la pulverización de una mezcla de clínquer y sulfato de calcio con agua (yeso hidratado).

2. Cementos siderúrgicos

Es el producto que se obtiene de la mezcla conjunta de clínquer, escoria básica granulada de alto horno y yeso. La escoria básica granulada, es el producto que se obtiene por enfriamiento brusco de la masa fundida no metálica, que resulta en el tratamiento de mineral de hierro, en un alto horno. Si tiene menos de 30% de escoria básica, se denomina Cemento Pórtland Siderúrgico.

3. Cementos con agregado "A"

Es el producto que se obtiene de molienda conjunta con clínquer, agregado tipo A y yeso. El agregado tipo A es una mezcla de sustancias, compuestas por un material cálcico-arcilloso, que ha sido calcinado a temperatura superior a 900°C , y otros materiales a base de óxidos de silicio,

aluminio y fierro. Si contiene menos del 30% del agregado tipo A se llama Cemento Pórtland Tipo A, y si tiene entre 30 y 50% se llama Cemento Tipo A.

4. Cementos puzolanico

Es el producto que se obtiene de la molienda conjunta del clínquer, puzolana y yeso.

La Puzolana es el material sílico-aluminoso que, aunque no posee propiedades aglomerantes por si solo, las desarrolla cuando está finamente dividido y en presencia de agua, por reacción química con el hidróxido de calcio, a la temperatura ambiente.

Si tiene menos de 30% de puzolana, se denomina Cemento Pórtland Puzolanico, en contrario se llama Cemento Puzolánico.

1.1.1.7. Dosificación y curado

Al diseñar un hormigón, se debe tener especial cuidado que las propiedades específicas que se están dando al hormigón, sean las necesarias, pues los requerimientos de exposición son generalmente mucho más exigentes, con las dosificaciones; que los requerimientos de resistencia.

En todo caso, al diseñar una dosificación, se deberá tener presente lo siguiente:

Ocupar un método de dosificación (se recomienda el método ASCII).

Que, la trabajabilidad del hormigón, determinada por el Asentamiento de Cono sea alto, de 15 a 18 cm., a causa de que los hormigones sumergidos, no se pueden vibrar ni compactar, porque se desintegran y con un asentamiento alto, al momento del vaciado en los moldajes, se compacta solo, ocupando y llenando perfectamente todo los moldes. Hay que tener presente que el tipo de árido, también influye en el descenso del cono, sobre todo cuando se trata de chancado con aristas vivas, pues producen trabazón mecánica.

La razón agua-cemento máxima que se podrá adoptar será de 0.4; siempre se tratará de usar la mínima posible. Todo esto es debido a que el cemento para su hidratación, necesita alrededor de $\frac{1}{4}$ de su peso en agua. Todo el exceso de agua sobre lo indispensable, producirá poro y por consiguiente aumentará su permeabilidad, dejándolo vulnerable al ataque del agua marina (penetración por capilaridad).

Cantidad de Agua; como el exceso de agua es perjudicial a los hormigones, ésta debe ser la mínima posible de acuerdo a la estructura, medios de colocación y trabajabilidad; la cantidad de agua, está determinada por dos variables, el Asentamiento de Cono y el tamaño máximo de los agregados, y oscila alrededor de los 200 (L/m³), es recomendable el uso de aditivos humectantes.

Cantidad de cemento; cuando se imponga el uso de cemento corriente, es necesario adoptar para el hormigón una dosificación rica, de 400 a 600 (kg/m³); se puede mejorar su impermeabilidad por medio de la adición de otro aglomerante que lo complementa, como puede ser, puzolana bien cribada y finamente triturada en una porción del 20 al 30% del peso del cemento o todavía mejor, recurrir al empleo de cemento puzolánico.

Cantidad de Aire; se recomienda el uso de aditivos incorporadores de aire, ya que se forman glóbulos microscópicos de aire, uniformemente repartidos en toda la masa del hormigón, que mejoran su durabilidad e impermeabilidad, ya que sellan cualquier canal capilar que se pueda producir durante el fraguado.

Cantidad de áridos finos y gruesos; como es sabido, los áridos finos deben ir llenando los huecos que los áridos de tamaño superior, para obtener en el total el mínimo de huecos. El exceso de fino sobre la cantidad justa para llenar los vacíos de los gruesos, acarrea inconvenientes que hacen perder cualidades a los hormigones, pues el exceso de mortero, hace que se requiera una mayor cantidad de agua para una misma trabajabilidad,

por consiguiente, se baja la resistencia mecánica y las defensas contra los ataques de agua marina.

Consolidación y Curado; los hormigones sumergidos no podrán apisonarse y menos vibrarse, porque con ello se desintegrarían, por lo tanto, lo que más se acepta, es que durante el hormigonado, se golpeen suavemente los moldajes con un combo de madera, con el fin de ayudar a la eliminación de las burbujas de aire y así, obtener una mejor compactación, mayor apretado y por ende, mayor densidad.

1.2. TIPOS DE HORMIGONES MARÍTIMOS.

Es bueno tener en cuenta para el desarrollo de un proyecto, en el que alguna estructura deba estar sumergida, que se cuenta con mas de una alternativa de hormigón a utilizar. A continuación se muestran lo diferentes tipos de hormigón que se pueden utilizar, y en las estructuras que se recomienda su uso.

1.2.1. Hormigón pesado

Se define así a todo hormigón que posee un peso específico superior a 3.7 (ton/m³), debido al uso de agregados de gran peso específico. Son numerosas las aplicaciones de hormigones sumergidos, en donde un alto peso unitario sumergido, es de gran importancia.

El hormigón convencional, pesa en el aire 2.4 (ton/m³), con un peso efectivo sumergido de solo 1.4 (ton/m³) y se puede lograr hormigón pesado (hechos con agregados con gran densidad) que pueden llegar a tener un peso sumergido efectivo de 2.7 (ton/m³).

Esta alta densidad puede también ser efectivamente utilizada en proveer anclaje o empotramiento para tubería, puentes de pontones, etc., y para proveer protección en contra de radioactividad.

La alta densidad, es de suma importancia para resistir la fuerza de las olas, pues es importante tener un peso sumergido que impida el desplazamiento causado por las olas.

Desde hace poco, se ha estado extendiendo el uso de hormigón pesado en tetrápodos y otros elementos de protección prefabricados.

La magnetita es el material o agregado pesado más comúnmente usado, con la salvedad que impone el limitar al contenido de sulfatos para prevenir la corrosión. Otros agregados pesados son; Ilmenita, Limonita, Barita y desfunde de fierro.

1.2.2. Hormigón liviano

Se define así a todo hormigón cuyo peso específico es inferior a 2 (ton/m³) y se usa en todas las obras submarinas en que se requiere un aumento de boyantes o disminución del peso efectivo por unidad de volumen. Es frecuentemente empleado en estructuras flotantes, donde hay problemas de recubrimientos de armaduras, permeabilidad y colado a causa de losas y muros de poco espesor. El hormigón liviano es de dos tipos básicos: estructural y celular.

HORMIGÓN LIVIANO ESTRUCTURAL

Se consigue empleando agregados livianos, provocando la formación de burbujas en las pastas, añadiendo espuma o suprimiendo los finos (es un hormigón con sólo áridos gruesos y pasta de cemento, para ligar los áridos, exclusivamente por sus puntos de contacto).

Tiene un peso unitario de 1.7 (ton/m³); y una resistencia sobre 250 (kg/cm²).

Con la adecuada asesoría se puede lograr un hormigón liviano estructural durable y de alta resistencia, la mezcla deberá ser diseñada de modo que sea rica y densa con agregados de excelente calidad.

En los últimos años, se han desarrollado numerosas aplicaciones para hormigones livianos pretensados como ser pilas, pilotes y estructuras a flote.

Un hormigón de este tipo sobre todo bien pretensado no tiene ninguna desventaja frente a u hormigón convencional.

HORMIGÓN LIVIANO CELULAR

Se define así al hormigón que tiene una multitud de burbujas o celdillas en su masa, producida o creadas por la reacción de un aditivo aireante o expansivo. También es de muy bajo peso específico, generalmente varía de 1.3 a 1.5 (ton/m³), en el aire.

Su resistencia celular se usa frecuentemente, para proveer un llenado núcleo de poco peso; como su mayor problema es la porosidad, normalmente, deberá ser cubierto con un hormigón de densidad normal, para proveer impermeabilidad, y protección, en contra de la corrosión de las armaduras y contra el ataque de los organismos marinos.

1.2.3. Hormigón ciclópeo

En este tipo de hormigón se utiliza la facilidad y economía del uso de grandes rocas de la localidad, unidas entre sí por medio de hormigón Tremie, para formar una gran masa submarina de gravedad (algo así, como un muro submarino), además, se usa también para el llenado de caisson y para trazar fundaciones en el fondo marino.

Se usan grandes rocas (limpias) que pesan sobre 0.6 (ton) y con un diámetro no menor de 40 cm., son puestas y acomodadas a aproximadamente 90 cm., de lado. Luego el hormigón es colado (como siguiendo estos "caminos" entre las rocas) llenando todos los intersticios homogeneizando la masa.

El resultado es aproximadamente 40% de hormigón y 60% de rocas colocadas. El hormigón es usualmente vaciado con un balde abierto por el fondo y que descarga el hormigón sobre y dentro de la masa de rocas.

Este método ha sido usado muchas ocasiones y tiene la desventaja que produce un considerable aumento de la exudación.

El método tremie, ha sido también empleado y tiene la ventaja de ser mejor dirigida la descarga y más uniforme la tongada y con menos segregación y exudación.

CAPÍTULO 2: AMBIENTE SUBMARINO Y LA DURABILIDAD

2. AMBIENTE SUBMARINO Y LA DURABILIDAD

Es claro que todo ambiente tiene su incidencia en los materiales de construcción, en este caso es el agua (marina o dulce) la que afecta al hormigón. Para el hormigón sumergido, se tiene que el efecto del ambiente submarino o sumergido se presenta de varias maneras. El objetivo general de este capítulo es señalar las consecuencias de que esté el hormigón permanentemente en agua (efectos del ambiente, la durabilidad, la corrosión). Además se tiene como objetivo específico, el explicar cada uno de los factores que influyen en la variación de las cualidades del hormigón cuando está sumergido y de la estructura cuando ya está construida, esto incluye; la sumersión, la constitución química del agua, los gases disueltos en el hormigón,, la presión del agua, la temperatura del agua, los organismos marinos adheridos a la estructura, los hielos que se forman en torno a las estructuras, las ondas generadas por sismos y tsunamis.

2.1. EFFECTOS DEL AMBIENTE MARINO

El ambiente marino puede actuar de forma favorable o desfavorable en cuanto a las características del hormigón. Por ello es que a continuación se detallan algunos de los efectos de este ambiente.

2.1.1. Sumersión

El efecto general de la sumersión podría considerarse como positivo, esta evidencia se avala con el hecho de que un buen hormigón sumergido en agua marina, incrementa su resistencia con el paso del tiempo.

La sumersión también minimiza los cambios de temperatura, disminuyendo la velocidad y dimensión de las

expansiones y contracciones, evitando el agrietamiento, la erosión, el descascaramiento y por ende la corrosión.

Ahora, si se analiza desde un punto de vista menos positivo, tenemos que debido a la permeabilidad que posee el hormigón, el agua marina tiende a penetrar, ya sea por diferencia de presión o por capilaridad.

Cuando el hormigón no está sumergido totalmente, el agua es continuamente evaporada de la superficie del hormigón que sobresale del nivel del agua, la penetración del agua marina será continua, quedando un poco de residuo de sal depositado en el hormigón, luego las sales se difunden por capilaridad dentro de los poros, dependiendo del grado de saturación del hormigón. El oxígeno que entra con el aire, se disuelve en el agua en forma diferencial, siendo menor su concentración en zonas donde la sal y el grado de saturación son mayores, generando pilas galvánicas.

2.1.2. Constitución química del agua

Los constituyentes primarios del agua marina son los iones del cloro, sodio, magnesio, calcio y potasio y su mayor función la cumplen como un muy buen electrolito entre metales disímiles y entre concentraciones de sal y el acero. Como el pH del agua marina, es alrededor de 8, y la corrosión de la armadura ocurre con un pH por debajo de 11, la alcalinidad debe ser suplida por el cemento.

2.1.3. Gases disueltos y atrapados en el cemento

Los gases disueltos de importancia en el hormigón son anhídrido carbónico (CO_2), oxígeno (O_2), vapor de agua y aire. Estos gases sumados a los disueltos en el agua son un contribuyente a la erosión del hormigón por cavitación, que ocurre en zonas de azota viento.

2.1.4. Presión

El efecto de la presión en las propiedades del hormigón, no está totalmente estudiado. Aunque se ha llegado a establecer muy bien que alrededor de los 60m de profundidad, el hormigón mejora en todas sus cualidades. Este efecto, presumiblemente, debería mejorar la densidad y resistencia de la mezcla en su estado ya fraguado. Esto se entendería al establecer el proceso de fraguado en profundidades, como el fraguado de hormigón pretensado.

Se ha sugerido que a profundidades muy altas (por ende presiones altas) se podría obtener hormigones con resistencias a compresión de 500 (kg/cm²) o más.

Como se mencionó anteriormente las profundidades marinas se podrían utilizar para la fabricación de elementos pretensados, que serán utilizados en ambientes saturados de agua (estanques, tuberías, muros de reactores atómicos).

Ensayos no destructivos de cilindros prefabricados expuestos en el mar a profundidades de 1.700 m, por un periodo de 4 meses, han indicado diferencias no significativas con respecto a otros ensayos en cámaras de niebla por el mismo tiempo.

En el caso del hormigonado bajo el ambiente marino se ha llegado a profundidades de 50 m por colado y a 90 m por inyección, teniendo resultados excelentes.

2.1.5. Temperatura

Este factor puede ser beneficioso o perjudicial. Como una incidencia favorable puede nombrarse, que las propiedades del hormigón generalmente mejoran a bajas temperaturas, ya que la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad son inversamente proporcionales a este factor. Pero como efecto dañino no se debe olvidar que los ataques químicos y electroquímicos son más severos en las aguas tropicales, ya que la temperatura del agua favorece a tales fenómenos.

2.1.6. Organismos marinos

Dentro de la gran gama de organismos marinos, se pueden destacar como los más perjudiciales a los grupos de organismos sésiles y el fouling (suciedad). Este último se adhiere a las paredes de las estructuras flotantes, aumentando su espesor, y por ende el peso de las mismas. Además el incremento de las dimensiones (secciones, ancho, etc.), conduce a una mayor resistencia al oleaje y agua en movimiento.

En el caso de los organismos sésiles, como picorocos, piures, cholgas, etc., el efecto es parecido al del fouling, pero más dañino, ya que el tamaño de los organismos es mayor, provocando aumento de secciones en pilares de hasta un 30%. Además si se toma en cuenta que los organismos crecen en forma irregular, éstos contribuyen a las turbulencias creadas por el movimiento de las aguas marinas.

Otro efecto contrario que ocasionan los organismos marinos, es el desprendimiento de material que se produce al retirarlos mecánicamente. Este desprendimiento de material puede contribuir a la corrosión de las armaduras y por ende a al debilitamiento de la estructura.

2.1.7. Hielos

De las diversas formas en que se puede encontrar el hielo en el ambiente marino, lo podemos destacar como flotante o adherido a las estructuras. En el caso de las masas de hielo adheridas a las estructuras, aumentan el peso de éstas al fluctuar el nivel del agua (descenso). Además el hielo adherido aumenta secciones donde es solicitado por el oleaje y/o corrientes, distorsionando las características del diseño hidráulico.

En el caso de los hielos flotantes el efecto que puede causar es el impacto sobre las estructuras, al moverse junto con las mareas y/o corrientes.

2.1.8. Fuerzas sísmicas, tsunamis y ondas expansivas de explosiones

En el diseño de fuerzas sísmicas que golpean una estructura sumergida debe considerarse, la aceleración de la masa de agua que golpea; el hormigón es particularmente efectivo para resistir fuerzas sísmicas y tsunamis a causa, de la masa y homogeneidad del hormigón.

Si se analiza el caso de las ondas producidas por las explosiones submarinas, el hormigón es especialmente resistente, debido a su resistencia a la compresión, bajo módulo de elasticidad, gran masa y gran espesor. En el caso de que la estructura presente grietas o pequeñas cavernas, las ondas viajarían por el interior aumentando su efecto.

Para el diseño de estructuras que resistan las ondas producidas por explosiones, se debe tener especial cuidado en que éstas no presenten ángulos entrantes y/o perforaciones.

En el caso de que se deba proteger una estructura contra el efecto de una explosión, se puede crear una cortina de burbujas enfrente de la misma, por medio de una manguera perforada conectada a un compresor.

2.1.9. Movimiento del agua

El movimiento de las olas o corrientes tienen numerosos efectos sobre el hormigón durante la puesta en obra y después del fraguado.

Los movimientos del agua transportan: arena, grava y hielo que son causantes de abrasión.

La salpicadura de las olas deposita sal sobre la línea de mareas, lo que contribuye a la formación de corrientes galvánicas, causante directa de la corrosión en las armaduras.

El golpe de las olas, al tapar y destapar alternativamente cualquier grieta, produce en el interior un aumento brusco de la presión que erosiona y desgasta, aumentando el volumen de la cavidad, este fenómeno se

conoce como "efecto pistón", importante causa de erosión en estructuras.

El deterioro de las estructuras de hormigón debido a las causas enumeradas anteriormente, puede verse incrementado por las sollicitaciones debidas a las presiones que ejercen las olas. El estudio el mecanismo de la disipación de energía hidrodinámica, permite desarrollar la teoría de las presiones que las olas ejercen sobre la estructura bajo la acción del viento. Básicamente, se pueden considerar dos causas de disipación de energía: por fricción interna y por rompiente de las olas.

La fricción interna se produce, para las olas originales en aguas profundas, por las oscilaciones de las partículas de agua, alrededor de su posición de equilibrio, con órbitas aproximadamente elípticas. La longitud y velocidad de las olas van disminuyendo a medida que se van acercando a la costa y aumenta la fricción del fondo. Se produce en consecuencia, un cambio energético que torna inestable las partículas de agua y se origina una concentración de energía cinética y potencial en la cresta de las olas, que se empujan hasta sobrepasar la tensión superficial y rompen. En otros casos, a las presiones enumeradas, se debe sumar la fuerza dinámica debida a la turbulencia del agua mezclada con aire, que puede alcanzar valores muy altos, de efectos más destructivos que las olas pasantes. La relación que existe entre la altura (h) y la profundidad (d) para que se produzca la rompiente es de $d = 1.3$ a $1.5 h$.

Los efectos de las mareas se pueden resumir en:

- Presiones horizontales en varias direcciones.
- Fuerzas verticales descendentes, que tienden a modificar el fondo marino donde se apoya la estructura.
- Fuerzas cortantes ascendentes, que levantan la cresta de la ola y tienden a seccionar salientes de la estructura.

- Acciones hidrodinámicas por transmisión de la energía cinética contenida en el volumen de agua.
- Oscilaciones verticales y horizontales en la estructura, debido a fuerzas de inercia.
- Succiones y presiones radiales en orificios de las estructuras.
- Impactos causados por el arrastre de objetos flotantes
- Flexiones.

2.2. DURABILIDAD DEL HORMIGÓN.

El ambiente marino constituye la más severa prueba a la durabilidad del hormigón. Una estructura construida inapropiadamente puede sufrir un rápido y serio deterioro.

El hormigón está sujeto a: ataque químico, disrupción por acción del hielo-deshielo y ataque de corrosión electroquímica; abrasión por el movimiento sedimentario o del hielo; cavitación por golpes de viento y ataque de los organismos marinos. Todo lo cual contribuye al deterioro del hormigón marítimo.

2.2.1. Abrasión

En las zonas de vientos y a profundidades menores de 18 m, la arena y la grava pueden encontrarse en continuo movimiento, lo que producirá abrasión en las estructuras de hormigón; también las corrientes de fondo son causantes del movimiento de materiales.

Los ángulos, aristas y resaltes de las estructuras, están particularmente sujetos al rompimiento, desgaste y caída, por causa de la abrasión, hechos que se deben tener muy presentes en el diseño. Para hacer un hormigón resistente a la abrasión, se deberá incrementar su solidez y densidad por medio del uso de un buen compactado, con un diseño de mezcla de máxima compacidad y baja razón agua-

cemento. Se deberá seleccionar agregados duros y resistentes a la abrasión.

Las terminaciones deberán ser muy buenas (lisas) por lo que es preferible el uso de máquinas de terminaciones, cuando sea posible. Un curado apropiado producirá superficies antiabrasivas. El uso de moldajes metálicos vibratorios es una práctica muy recomendable.

2.2.2. Cavitación

Es causada por la acción de turbulencias producidas por rápidos movimientos de agua, como por golpes de viento y es agravada por las obstrucciones.

La resistencia a la cavitación es más dificultosa de prever y se puede minimizar con un diseño apropiado que llene o alise las obstrucciones en áreas de aguas en movimiento rápido.

Se recomienda el uso de hormigones densos y duros; los agregados se deberán seleccionar prefiriendo los que produzcan alta adherencia y trabazón mecánica, es decir, se prefieren los áridos de cantera (chancado) que los de lecho de río (canto rodado).

2.2.3. Organismos marinos

Los organismos que atacan al hormigón son los moluscos, ya que ejercen una alta presión sobre la superficie de éste, desde su etapa embrionaria hasta su madurez. Esta presión puede erosionar o desgastar radialmente el hormigón que se haya usado, además de depositar ácidos, que pueden disolver el cemento y son más agresivos en un hormigón poroso.

Este tipo de ataques es más peligroso y serio, en aguas tropicales y sub-tropicales que en aguas frías. Las estructuras se cubren de pelillo y lama, además de los organismos sésiles mencionados, las grietas pequeñas son usadas como moradas por jaivas, cangrejos, y las más grandes, los peces.

Un hormigón de superficie densa y dura, proveerá generalmente una protección adecuada.

2.2.4. Ataque químico.

El ataque químico del hormigón, se origina por la acción de los cloruros y sulfatos del agua marina, que se combinan con el cemento, formando compuestos solubles como hidróxido de magnesio, que se expande y explota dentro del hormigón en los moldajes (causa grietas y fisuración).

Este tipo de ataque es más rápido en aguas tibias y es de mayor significancia en aguas tropicales.

La impermeabilidad es el mejor medio de protección del hormigón. El uso de cementos con un moderado o bajo contenido de Aluminio Tricálcico (Ca_3Al), máximo 8%; producirá un hormigón resistente a los sulfatos.

Los ángulos y aristas sobresalientes son altamente vulnerables al ataque y deberán ser evitados, cuando sea posible, en la etapa del diseño.

2.2.5. Hielo-deshielo

Este ataque, en un hormigón fisurado o poroso, es la más destructiva de todas las fuerzas, debido al aumento de volumen del agua, al pasar de líquido a sólido. Se ha comprobado la absoluta necesidad de aire incorporado, para este tipo de exposición.

Con aire incorporado y con baja razón agua-cemento, se puede obtener muy buena durabilidad.

2.3. CORROSIÓN DE ARMADURAS.

El cambio más serio que se produce en una estructura de hormigón armado en ambiente marino, es la corrosión de sus armaduras. En términos generales, este fenómeno se produce en un hormigón poroso y permeable, que está

expuesto alternativamente al agua salada y al aire, en las zonas expuestas a la marea y salpicadura de las olas. La sal en concentraciones variadas es depositada sobre la superficie de hormigón, produciéndose una penetración por capilaridad, formándose una acción electroquímica que corroe la armadura de acero, como consecuencia de esto, se produce una oxidación que gasifica, expande y termina por botar el recubrimiento de hormigón, quedando la armadura al aire, comenzando su desintegración.

2.3.1. Inspección y medición de la corrosión

Al efectuar la inspección visual, de una estructura de hormigón armado posiblemente afectada por problemas de corrosión, se deberá hacer un exhaustivo análisis de las grietas, para poder tratar de detectar las posibles causas del deterioro.

Al efectuar dicho análisis, se deberá tener presente lo siguiente:

- 1.- La corrosión ocurre antes de que se evidencie exteriormente, por el desprendimiento del hormigón que recubre la armadura.
- 2.- Generalmente, la corrosión se presenta por sobre el nivel mínimo de mareas. La mayor parte de la corrosión se produce en la zona de amplitud de mareas y zonas expuestas a salpicaduras.
- 3.- La corrosión se presenta en forma de grietas localizadas, algunas veces, se presenta a gran altura por sobre el nivel máximo de mareas. En las estructuras con arcos, se presenta en la clave, debido a la propagación interna de la corrosión.
- 4.- Siempre, el hormigón del entorno de la zona corroída, es altamente permeable, fisurado y de baja resistencia.
- 5.- En el hormigón del entorno de la barra corroída, se ha encontrado invariablemente, una alta concentración de sales marinas.

6.- La naturaleza de la corrosión es galvánica, a causa de las pilas eléctricas que se originan, como se mencionó anteriormente.

7.- La zona anódica se encuentra separada de la zona catódica en una distancia que varía de los 5 cm a los 3 m.

8.- El avance de la corrosión es mayor, mientras menor sea la resistencia eléctrica del hormigón y ésta es mayor en las zonas catódicas que en las anódicas.

9.- Las posibilidades de corrosión disminuyen a medida que aumenta la profundidad, debido a que disminuye el oxígeno disuelto en el agua, pero en el fondo, y por diferencia de concentración de oxígeno en el agua y suelo marino, se produce una pila, lo que da origen a una zona potencial propensa a la corrosión, sobre todo, si el fondo, se encuentra a poca profundidad.

10.- La circulación de corriente alterna por el hormigón armado, no tiene ningún efecto corrosivo apreciable y conocido, sobre las armaduras de acero.

11.- No se considera el ataque químico al hormigón, como causa directa de la corrosión de las armaduras.

2.3.2. Análisis de las grietas y su influencia en la corrosión

Existen muchos tipos de grietas, con respecto a su profundidad, medida en la superficie, hay grietas superficiales, profundas y continuas. Con respecto a la dirección en la superficie, hay dos tipos principales; grietas de mapa, o "grietas modelos", que son más bien grietas cortas, distribuidas uniformemente y que corren en todas las direcciones, formando casi siempre una figura que se aproxima a una hexágono; este tipo de grietas, indica retracción de las capas superficiales causadas por el hormigón de las capas intermedias o fondo, la mayoría de las veces por grandes nidos de piedras.

El otro tipo importante de grietas, es la grieta sola y continua, que ocurre en direcciones definidas, a menudo

en paralelo y a intervalos definidos; este tipo indica una retracción en la dirección perpendicular a ella.

Además, existen grietas internas, alrededor de grandes nidos de agregados, es posible que fallas de compresión, se originen en tales grietas. También hay grietas originadas en el hormigón fresco (capilares) y grietas que se originan después del fraguado como las grietas incipientes en el hormigón fresco, las cuales vienen a descubrirse más tarde, sólo si otra influencia o factor viene a actuar como decantador.

Las grietas recogen polvo, basuras, agregados y escombros, aparte de dar facilidades de vida a organismos sésiles. Pero originalmente las grietas, se producen para permitirle al hormigón moverse hacia ambos lados y así ayudar a las fatigas internas. Este movimiento llega a ser restringido o se anula, cuando las grietas se llenan de material y el hormigón adyacente puede entonces desmoronarse agrandándose la grieta.

Algunas grietas son señal evidente de que el hormigón está bajo un deterioro interno. Las grietas directamente sobre las armaduras y que corren en la misma dirección de las barras o grietas que están manchadas o teñidas de café (orín), es signo seguro que la armadura de acero está corroída, en tal grado, que se ha producido una invasión del producto de la corrosión en el hormigón.

Generalmente, grietas profundas acompañadas con expansión, pueden ser causadas por el ataque de sulfatos, algunas veces esto significa que la mezcla contenía más sulfato que lo normal, o también puede ser que el sulfato provenga de otra fuente y que durante el servicio haya encontrado un medio de propagación.

Otras grietas generalizadas, pueden resultar del uso de varios tipos de agregados que reaccionan químicamente con el cemento, o del uso de agregado grueso altamente poroso.

3.2.3. Medición de la corrosión

Un poderoso arsenal de ensayos sirve de inapreciable ayuda al investigador, para determinar los deterioros, ya sean visibles o no, y para determinar si la corrosión se activa o si las grietas han sido iniciadas por otra causa.

Lo más importante es la inspección visual, la medición y análisis de las grietas; luego con muestras tomadas de la estructura, pueden ser ensayadas para medir el contenido de ion cloruro, gravedad específica, porcentaje de vacíos, absorción y resistencia a la compresión. Los resultados de estos ensayos nos ayudan a : medir el grado de susceptibilidad de la estructura, determinar los aditivos y la ulterior corrosión. Además, el ensayo de los agregados reactivos puede ser hecho para determinar si los agregados son causantes o contribuyentes del agrietamiento.

El ensayo de ultrasonido, puede ser realizado en el hormigón en obra, para estimar la severidad y extensión del deterioro por agrietamiento o los vacíos del hormigón, aún cuando estos no pueden ser vistos.

Otras áreas dañadas por corrosión a causa de un insuficiente recubrimiento de las armaduras, pueden ser detectados por el Pacómetro, un aparato magnético que mide la profundidad de las armaduras, si el tamaño de las barras es conocido.

La existencia de corrosión activa, puede ser detectada por la medición directa de un flujo de corriente. Se hace una conexión eléctrica de un borne de un voltímetro a una barra de la armadura expuesta. El otro borne del voltímetro es conectado a un elemento de pila de sulfato de cobre, que es entonces puesto en contacto con la superficie de hormigón en varios puntos. La magnitud y signo del voltaje resultante es un indicador de la actividad de la corrosión en el hormigón. Un potencial de alrededor de 0.30 Volts, es generalmente considerado un valor de inicio, y que sobre el cual, el daño por corrosión ocurrirá sobre seguro. Muchas observaciones indican que un potencial igual o mayor a 0.20 Volts es indicador de avería por corrosión

en miembros verticales de hormigón. Resumiendo, si se obtienen bajas lecturas en una región agrietada, el agrietamiento puede ser considerado como estructural y no a causa de la corrosión.

CAPÍTULO 3: TÉCNICAS DE HORMIGONADO

3. TÉCNICAS DE HORMIGONADO

Muchas estructuras marítimas pueden ser construidas a base de elementos prefabricados de hormigón, con cada elemento fabricado de un modo convencional, por lo que la faena marítima se reduce al montaje; otras estructuras, mediante el uso de elementos de servicio, pueden ser construidas en el aire, sobre agua. El hormigonado sumergido es requerido en ciertas estructuras que deben ser construidas en el lugar, bajo la superficie del agua; técnicas especializadas han sido desarrolladas, para asegurar que el hormigón sea puesto en obra en forma apropiada y eficiente, ya que éste debe ser capaz de desarrollar la resistencia y características asignadas en el diseño.

El capítulo que se presenta a continuación, tiene como objetivo general establecer la diferencia que existe entre un hormigonado fuera del agua y uno sumergido. También se tiene como objetivo específico el explicar las diferentes formas que existen para hormigonar bajo el agua, esto incluye las técnicas de hormigonado (hormigón tremie, hormigón ensacado, hormigón por talud, hormigón en cubas y cementos hidráulicos), los tipos de hormigones usados, la inyección de morteros, los moldajes utilizados y las protecciones de las estructuras ya hormigonadas.

3.1. HORMIGÓN TREMIE (TUBO-TOLVA)

En la Norma NCh 170 Hormigón Especificaciones Generales, se denomina procedimiento de Tubo-Tolva.

Esta técnica es empleada en diversos propósitos, incluyendo hormigones sumergidos, estructuras submarinas, reparaciones de hormigones sumergidos, construcción y juntas de secciones de túneles submarinos, pilas para fundaciones de estructuras tales como: puentes y

plataformas de costa adentro. Este proceso puede ser usado en casos que se quiera lograr una muy alta calidad estructural, y se han logrado exitosas operaciones de hormigonado en profundidades de hasta 50 m, como el hormigonado de machones de puentes.

Este proceso o técnica, consiste en colocar el hormigón en obra, por medio de un tubo, cuyo extremo inferior queda siempre embebido en el hormigón fresco, de modo que el lavado y segregación son substancialmente prevenidos.

Se puede sugerir (para uso comparativo) la siguiente dosificación, para obtener un hormigón apropiado para esta técnica:

TABLA 3-1: Dosificación para hormigón bombeado

Agregado Grueso	Use un tamaño máximo de 2cm. para propósitos generales. Use un tamaño de 3.8 cm., para grandes masas y gravilla, para juntas y reparaciones, evite el uso de áridos de partículas alongadas y de aristas vivas.
Agregado Fino	Use de 42 a 45% de arena.
Cemento	Use una mezcla rica de 425 a 600 (kg/m3)
Asentamiento de Cono	Use de 15 a 20 cm.
Aditivos	Use aditivos plastificantes e incorporadores de aire, con el objeto de reducir la segregación, formación de exudación y punto de hidratación.

Fuente: Código de diseño en Hormigón Armado(ASCII 318 -95).

TÉCNICA DE HORMIGONADO.

La instalación utilizada, se compone de tubos de 25 a 45 cm., de diámetro, soportados por un puente grúa con cabrestantes móviles, que permiten subir y bajar el tubo, toda la instalación va montada en un andamio con plataforma de servicio. Gracias al cabestrante por una parte y al puente grúa por otra, es posible cubrir con precisión toda la zona a hormigonar.

El tubo termina en su parte superior en una tolva o un embudo para el vertido del hormigón. Se usa tolva cuando se está operando con aportaciones intermitentes de hormigón, Ej. Transporte por cubas. Se usa embudo cuando se está operando con aportación continua, Ej. Hormigón bombeado.

La operación de hormigonado comprende tres fases: Cebado del tubo; formación del Bulbo y Vertido.

Cebado del tubo: se debe llenar completamente el tubo con hormigón, sin contacto con el agua que contiene.

Para esto pueden imaginarse varios artificios (hasta el empleo de aire comprimido), pero el más sencillo parece ser, hacer bajar por el tubo un tapón perdido, que actúe como sello estanco, de modo que la columna de hormigón baje lentamente, sin contacto con el agua y evitar segregación por caída libre; o bien, reemplazar el tapón por una cámara de pelota inflado que se recupera luego de cada cebada.

Formación del bulbo: bajo el empuje del peso de la columna de hormigón fresco, este, por efecto de la tensión superficial se extiende progresivamente alrededor del tubo, cuyo extremo inferior no debe estar levantado más de 30cm. del fondo, con el fin de evitar la segregación y lavado.

Luego, bajo el efecto de la resistencia sobre el fondo, así como por la resistencia en la masa, la superficie toma la forma de una cúpula, en la que, con el tubo hundido a la profundidad deseada, se forma el bulbo en la base.

Vertido: en tales condiciones puede realizarse el vertido, desplazando el tubo, mediante el cabestrante y el puente grúa.

El tubo debe estar permanentemente lleno, realizándose la carga del hormigón regular y continuamente, con el fin de asegurar que no se descebe, dando lugar a la entrada del agua.

El peso del hormigón contenido en el tubo, debe ser en todo momento, superior al efecto de la presión del agua en su base.

Siempre, se debe contar con la ayuda de buzos especializados para supervisar la buena ejecución del proceso. Además, esta faena se debe programar de modo que coincida con la alta marea, para tener la seguridad de trabajar con mar tranquilo.

Un hormigón tremie bien hecho, puede dar resistencias de 282 (kg/cm²) si su curado es bueno, no tiene problemas de contracción; el factor que el hormigón sea puesto en obra baja presión, hace que se logre una alta densidad. Su adherencia es buena con el acero, roca, madera y otros hormigones, cuando es puesto bajo agua. Una satisfactoria adherencia mecánica ha sido lograda con bentonita usada como una especie de soporte o moldaje.

Grandes masas de hormigón y altos rangos de volumen puesto en obra han dado los mejores resultados, incluso a temperatura ambiente de 3 °C.

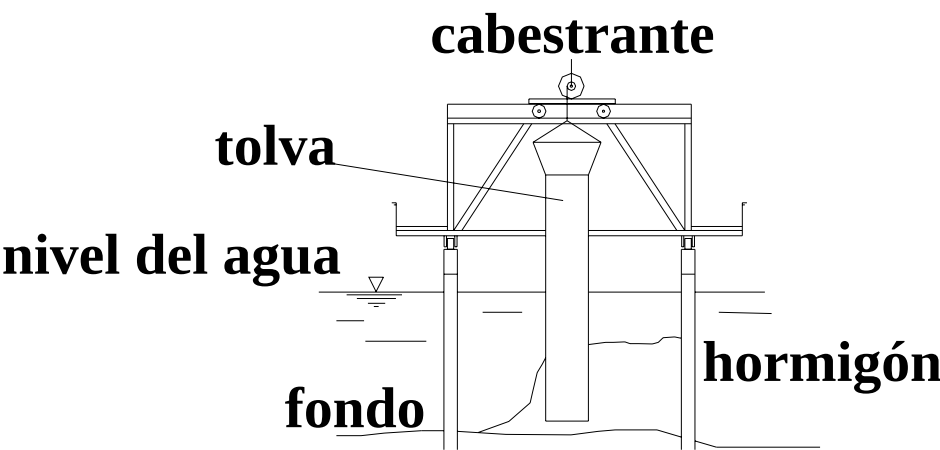
A continuación se muestra una dosificación (uso comparativo) para el Grout Tremie.

TABLA 3-2: Dosificación para hormigón tremie

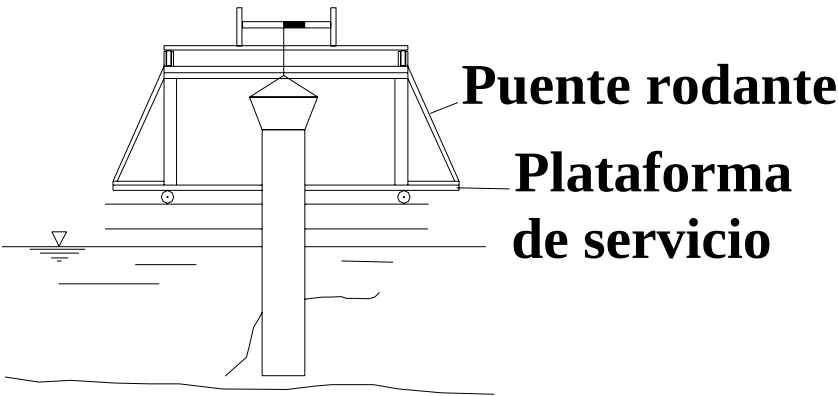
Agregados	Arena gruesa o gravilla, de un tamaño máximo de 1cm., mezclada con arena en un volumen de 810 (L/m3), la gravilla debe ser de cantos redondeados y la arena 675 (L/m3).
Cemento	Se usa una mezcla rica de 510 (kg/m3).
Aditivos	Use aditivos plastificantes y fluidificantes.
Agua	Potable, suficiente para dar la consistencia de una sopa espesa

Fuente: Código de diseño en Hormigón Armado(ASCEI 318 -95).

Colocación en Obra: El Grout deberá ser muy bien mezclado en una máquina amasadora y puesto en obra a través de un tubo y ocupando la fuerza de gravedad o bien, ocupando una manguera de paredes duras de diámetro adecuado, se deberá contar con la suficiente presión para vencer la fricción de las paredes de la manguera, pero se debe tener bastante cuidado para no usar una presión excesiva.



VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL

Figura 3-1: Modelo de equipo para hormigón tremie

nivel del agua

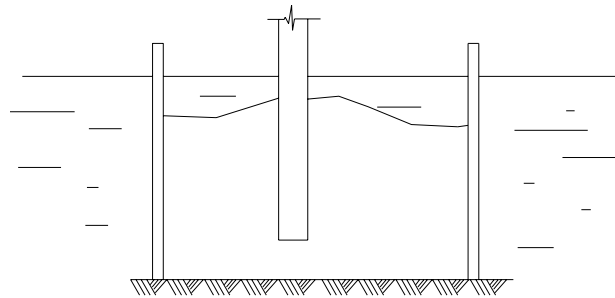
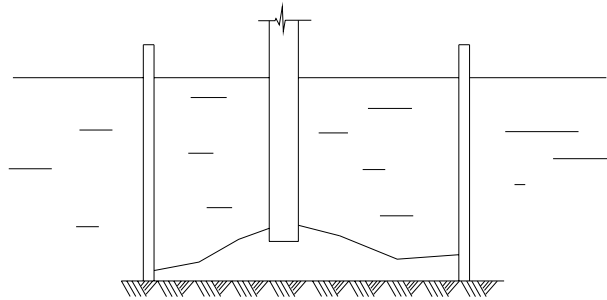
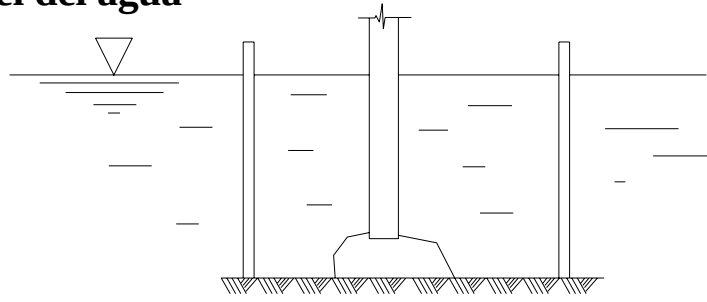


Figura 3-2: Esquema de hormigonado por tuba-tolva

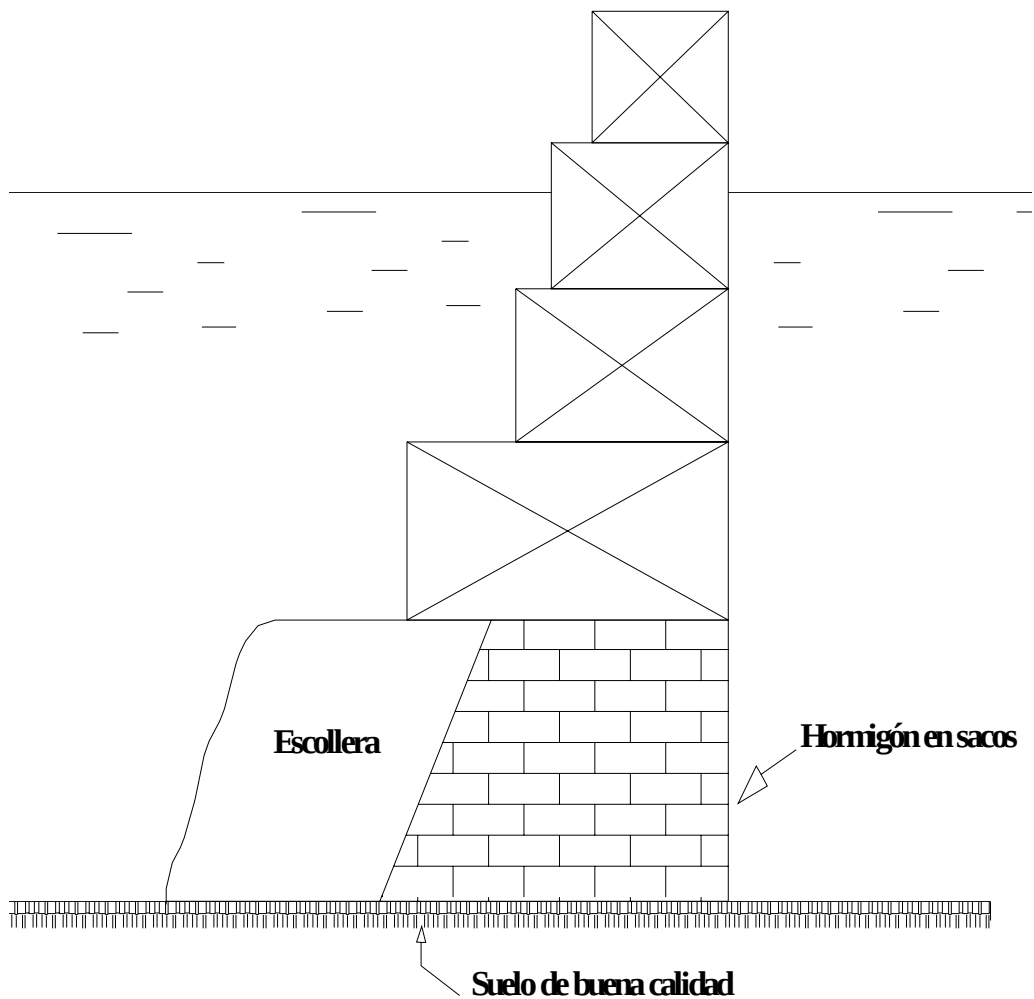
3.2. HORMIGÓN ENSACADO

Este método se usa para construir muretes o plataformas bajo el agua o para formar la base de una cimentación, ej. Muros de muelles o malecones, siempre la

arista más cargada descansa sobre un murete de hormigón en sacos, que transmite los esfuerzos a un fondo de cimentación satisfactorio, descansando el resto, sobre un macizo de escollera. Similar método, se ha usado para sellar juntas, soportar o proteger del oleaje y corriente a elementos prefabricados o tuberías submarinas, en orden de prevenir movimientos dando soporte y protección. Dos métodos son usados para ensacar el hormigón:

En el primero, la mezcla de hormigón seco es ensacada; se llena hasta la mitad y se cierra, luego es sumergido por medio de pallets y es colocado en obra por un buzo. El cemento se va hidratando, según el agua va penetrando. Este método tiene la ventaja de que el tiempo de manipulación y colocación no es crítico, pero la hidratación es baja y el saco puede ser dislocado por las olas y/o corrientes, antes que haya fraguado. La adherencia entre sacos adyacentes puede no ser buena y el cemento puede no ser distribuido uniformemente en la mezcla.

En el otro método, se usa un hormigón con un asentamiento de cono bajo, y de estado plástico; los sacos a usar pueden ser de arpillera o yute, deben ser flexibles para que formen un cuerpo entre sí y no deben llenarse completamente (hasta $\frac{2}{3}$ de su capacidad), la arpillera deberá estar escardada, y la tela empapada con una lechada muy clara antes de recibir el hormigón. El saco una vez cerrado, puede envolverse en una malla galvanizada de 2 mm y trama 5 cm.



Muro de muelle cimentado sobre escollera y murete de hormigón en sacos

Figura 3-3: Muro de muelle, en base a hormigón en sacos

Los sacos se sumergen en pallets y envueltos en una funda (manga de polietileno, del doble de diámetro que los sacos y con sus dos extremos abiertos). Luego un buzo sostiene el saco en posición y el otro extrae la funda. Una pareja de buzos puede colocar en obra de 250 a 300 sacos en un día (con un promedio de profundidad de 10 m.).

Con este método, se puede lograr una muy buena adherencia con el fin de obtener una obra monolítica, se

asegura una total hidratación y la calidad general del hormigón puede ser controlada.

Cuando se trata de sellar juntas en que no se requiera adherencia, el hormigón puede ser colocado en bolsas de polietileno de alta densidad, para prevenir cualquier lavado de éste. A veces, para el mejoramiento de fondos, se han sumergido mediante grúas, grandes bolsas que contenían varios metros cúbicos de hormigón.

Una variante de este método, son los "salchichones de fondo", que se emplean como asientos de malecones y rompeolas, son de hasta 25 m de largo y 1,5 m de diámetro; se preparan en cajones flotantes o pontones que los llevan de la obra al punto de inmersión, en donde se sumergen abriendo el fondo de aquellos. Los salchichones se rellenan de hormigón y se cosen al borde del pontón.

Como el hormigón de relleno es plástico, los salchichones se amoldan a las desigualdades del fondo, lo que se ayuda por medio de la labor de buzos.

Con dosis suficientes de cemento, las capas de salchichones sueldan entre sí, formando una obra monolítica.

Este método es muy adecuado, cuando la furia del mar impide ocupar otro sistema de fundación.

3.3. HORMIGÓN POR TALUD QUE AVANZA

Este procedimiento o técnica, sólo aplicable bajo pequeños espesores de agua (inferiores a 80 cm.).

El hormigón se deposita en A (ver Fig. 3-4), se incorpora por peso a la masa B en fluencia que avanza con un talud C, que es el único en contacto con el agua y sometido al deslavado.

Es necesario actuar continuamente para evitar los movimientos del agua sobre este talud, en el que efectivamente se forman lechadas (mezcla de cemento y arena

muy fina), que no fraguan y que crearían en el macizo planos de deslizamiento y ruptura.

Después de cada interrupción, se limpia el talud con escobillas de acero para descarnar la superficie, eliminar los excesos de lechada, que después se bombearán sin agitación.

La dosificación a ocupar, es la misma del hormigón tremie estructural, el macizo en avance no puede apisonarse ni vibrarse. La faena se debe programar para hacerla en alta marea, si la mar se agita, hay que interrumpir el trabajo.

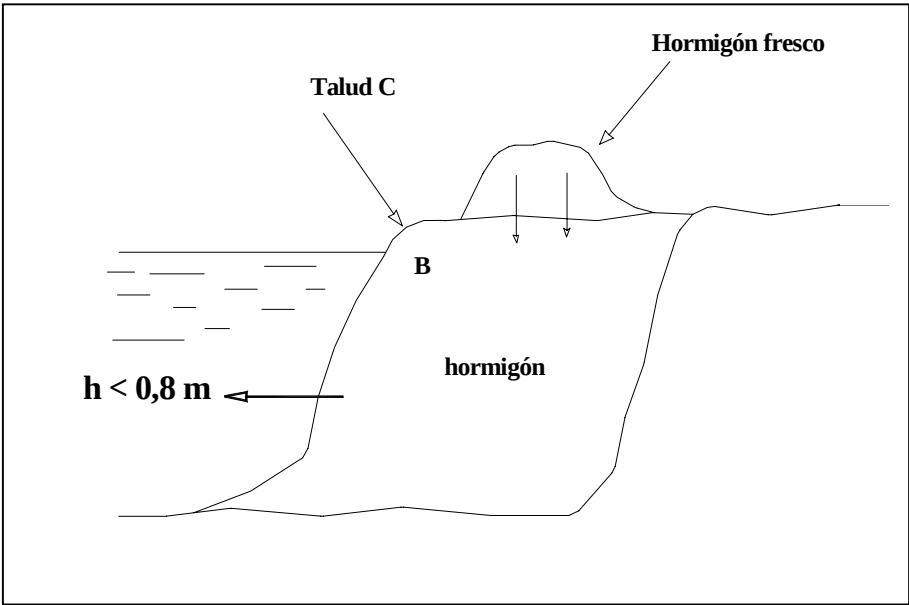


Figura 3-4: Esquema para hormigonado por talud que avanza

3.4. HORMIGÓN EN CUBAS

Esta técnica se aplica en profundidades de agua superiores a 80cm. El hormigón atraviesa la capa de agua en una cuba perfectamente estanca, que se hace bajar lentamente, mediante cabestrante o grúa hasta llegar al macizo a hormigonar. La cuba se deposita sobre el macizo y un buzo la abre, elevándose después suavemente para que el hormigón fluya en agua tranquila.

Este método se debe proscribir, cuando se debe verter en un encofrado de dimensiones reducidas, pues el ascenso y descenso de la cuba, produce un efecto pistón que agita el agua, produciéndose remolinos en el agua que rodea al hormigón fresco, con resultados desastrosos.

Es especialmente apropiado, cuando se trata de hormigón en masa, hormigones ciclópeos, en que capas de rocas son alternadas con capa de hormigón, cubrimientos y protección de tuberías submarinas. En aguas poco profundas, en donde las olas y la acción del viento pueden tender a lavar al hormigón tremie, puesto por medio de una

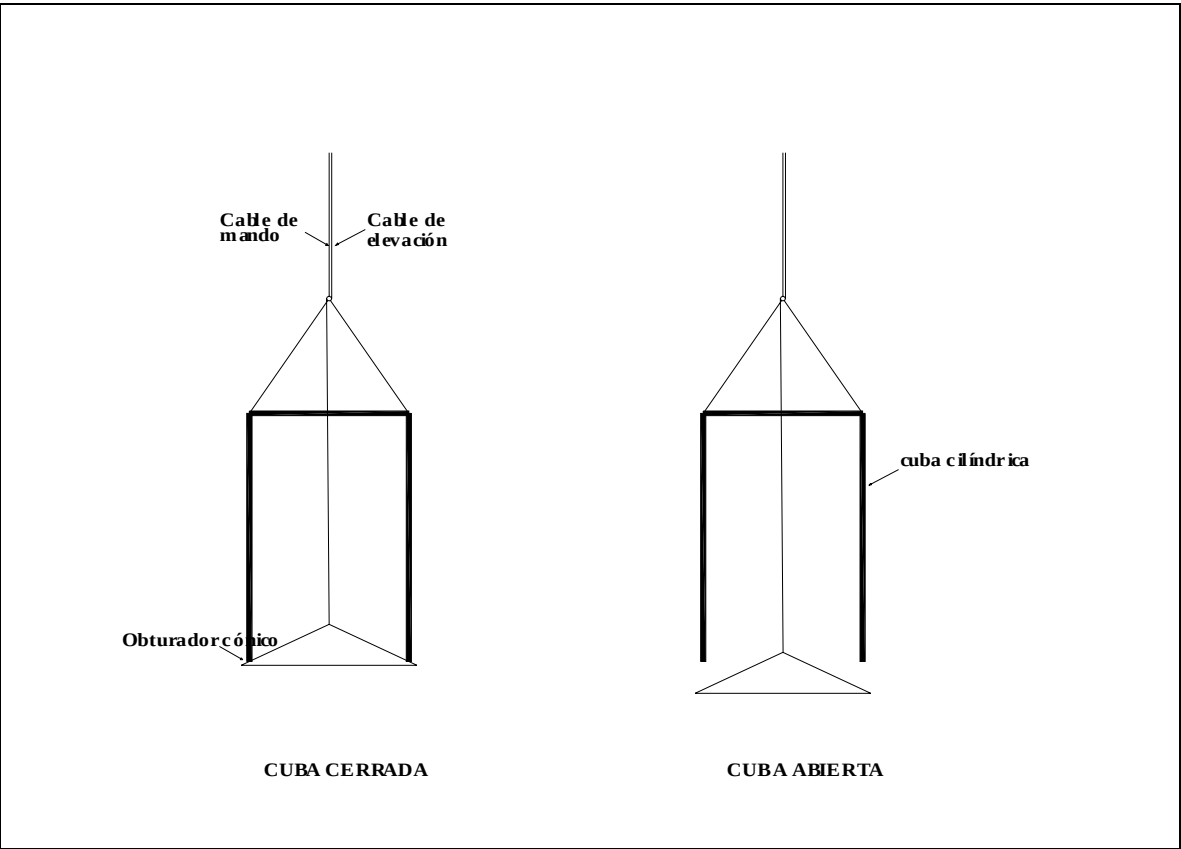


Figura 3-5: Cuba para hormigonado

tubo; el hormigón en cuba, puede ser más estable y puede ser puesto con un asentamiento de cono bajo, se pueden usar agregados de hasta 20 mm.

Las cubas son recipientes perfectamente estancos, con paredes inclinadas para facilitar la salida del hormigón,

se abren por el fondo por sistemas hidráulicos y/o neumáticos, además llevan un sistema de pata que le permiten posarse con seguridad, quedando la cuba a cierta altura, de modo que las portezuelas pivotean libremente. La capacidad de las cubas varía de 200 a 1000 L.

Durante la operación, las cubas vacían su carga primero en el fondo y luego, sobre las capas anteriormente vertidas aún frescas, por tanto, el hormigón no entra en contacto con el agua, sino al extenderse, de modo que se logra una buena trabazón. Cuando el área a hormigonar sea grande, se subdivide en secciones pequeñas, no mayores a 6x6m., ya que el hormigón tiene un radio de extensión de 30 cm. Y las cubas no se abrirán a mas de 30 cm., de altura.

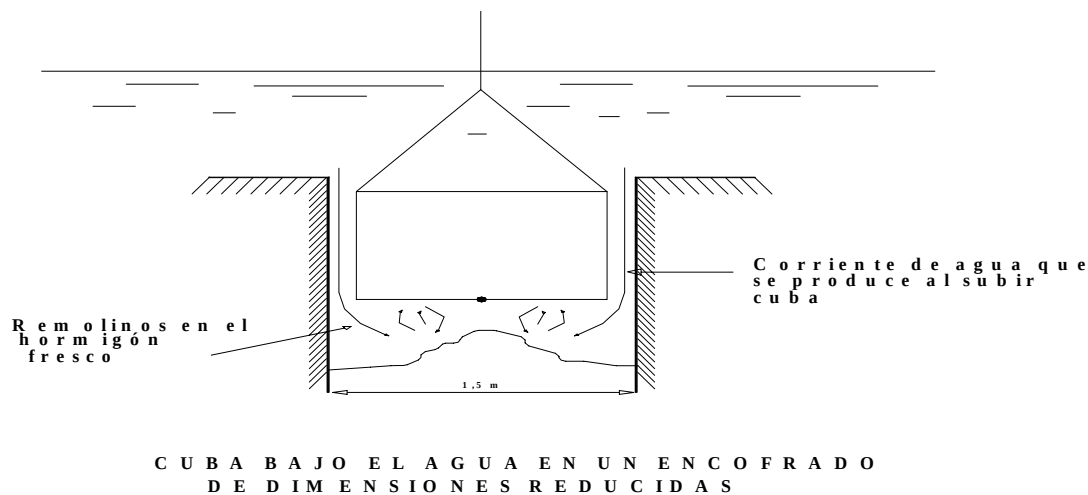


Figura 3-6: Esquema hormigonado por cuba.

Una variante del sistema, que se emplea en obras de poco volumen de hormigón, consiste en ocupar bolsas de lona impermeabilizadas, que se bajan boca a bajo, amarradas por el fondo y cerradas en la boca por medio de un nudo de maniobra, que permite abrirlas manualmente. Su capacidad no sobrepasa de los 100 L.

La labor de los buzos, se limita a ubicar el capacho sobre el punto a hormigonar y abrirlo, luego enviarlo a la superficie para repetir el ciclo.

El método de la inmersión en cubas, tiene las ventajas de tener una operatoria sin complicaciones y rapidez de hormigonado, se logran hormigones de buena calidad, con excelente trabazón y no exige más aparatos especiales, que el depósito para sumergir el hormigón.

3.5. INYECCIONES SUBMARINAS DE MORTERO ACTIVADO

Por este proceso, se construye directamente dentro del moldaje, el hormigón, in situ, con grandes ventajas cuando es necesario una buena adherencia y alta resistencia. Se ocupa cuando se trata de construir un hormigón en masa sumergido, reparaciones de estructuras submarinas, relleno de pilas, sellado y unión de estructuras submarinas, recubrimiento y protección de tuberías submarinas, plataformas submarinas de faros y petrolíferas y anclajes submarinos.

El hormigón in situ, que es el obtenido por medio de una inyección de mortero, se define como una mezcla de granulometría discontinua, obtenida partiendo de un esqueleto de áridos gruesos colocados en obra previamente, cuyos huecos se rellenan después, mediante la inyección de mortero activado.

El porcentaje de huecos es, en general, del orden del 45 a 50% para permitir la penetración del mortero, y el tamaño máximo de los áridos, alcanza de 8 a 10 veces, la de los granos más gruesos de la arena del mortero. Los áridos gruesos colocados previamente, deben estar rigurosamente limpios para obtener una adherencia conveniente, en la superficie de contacto árido-mortero.

Si se fluidificara un mortero común, por adición de agua para poder inyectarlo, el exceso de agua daría lugar a

porosidad y a una gran retracción, o por otra parte, se producirían segregaciones separándose la arena del cemento.

Se evitan estos defectos utilizando morteros coloidales y tixotrópicos.

Los morteros activados son morteros convertidos en coloidales y tixotrópicos por medios fisicoquímicos, mecánicos o combinados.

Estos morteros, pueden atravesar sin grandes perjuicios una capa de agua, lo que les hace particularmente adecuados para el hormigonado submarino. Su dosificación en arena, cemento y agua debe estudiarse cuidadosamente, pues deben cumplir las siguientes condiciones, algunas de las cuales son contradictorias:

- a.- Admitir bastante agua para que el mortero sea bastante fluido (35 a 40% de peso del cemento).
- b.- Que no contenga demasiada agua, pues no tendría lugar el fraguado trixotrópico y habría segregación de la arena.
- c.- Las dosificaciones de cemento respecto a la arena s/c y respecto al agua a/c deben estudiarse con gran cuidado, ya que una insuficiencia de cemento, incluso ligera, puede evitar el fraguado trixotrópico del mortero.

Los procedimientos de activación empleados, actúan sobre la floculación y conducen a una suspensión peptizada y estabilizada comparable, salvo en el tamaño de los granos, a una suspensión coloidal.

Este tipo de suspensión, es análogo al de la sangre en circulación. Lo mismo que la sangre en reposo, cuando el mortero coloidal deja de moverse, pierde progresivamente su electrización granular y se elifica según un mecanismo, llamado fraguado trixotrópico. Este fraguado, permite evitar segregación de la arena y del cemento, antes de que comience a actuar el fraguado químico de hidratación.

3.5.1. Formas de activación para morteros

Con este procedimiento se obtiene la desfloculación, por adición al agua de amasado de los siguientes productos químicos.

- a.- Un agente dispersante, que al ser absorbido en la superficie de los granos de cemento y a menudo, también en los finos de la arena, desflocula los granos, manteniéndolos en un estado de dispersión estable, gracias a acciones repulsivas de naturaleza eléctrica entre granos.
- b.- Una agente puzolanico muy fino. Éste polvo debe ser más fino que el cemento, que determina la suspensión viscosa intergranular.
- c.- Un polvo de aluminio muy fino, que tiene dos efectos principales: aumenta la rigidez y además, compensa parcialmente la retracción, por la expansión que resulta de la acción del polvo de aluminio sobre la cal libre, lo que da lugar a la producción de numerosas burbujas gaseosas.

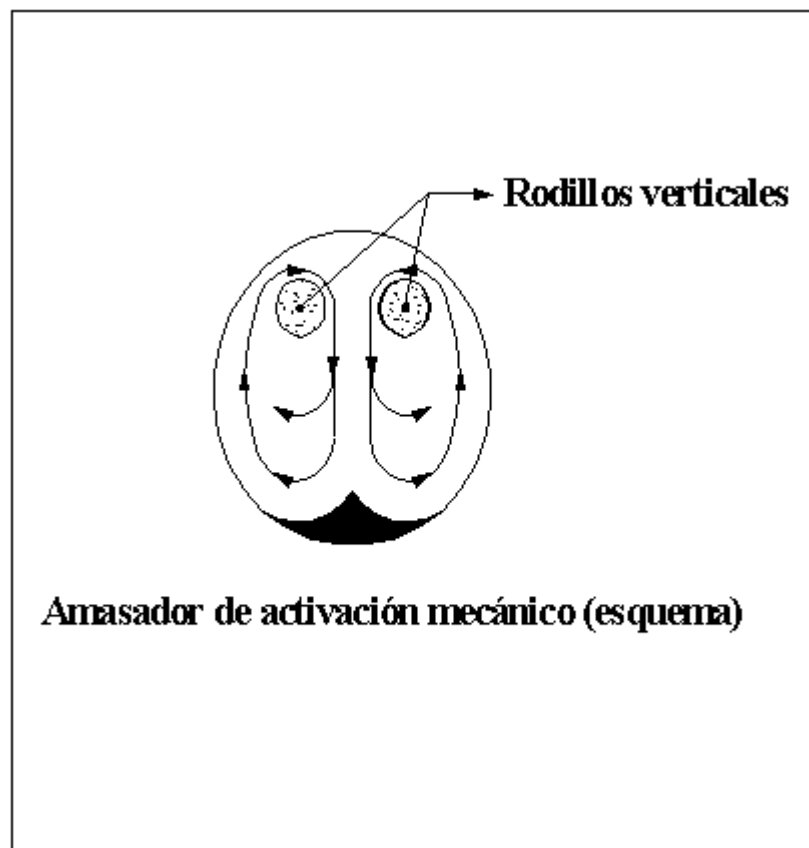


Figura 3-7: Amasador de activación mecánico

3.5.1.1. Procedimientos de activación mecánico.

En este procedimiento, la electrificación intergranular, se obtiene mecánicamente por laminado de la pasta a gran velocidad.

Esto se logra en una amasadora de dos circuitos o molino coloidal, en el primer circuito, un disco macizo gira a 1500 r.p.m, como es excéntrico respecto a las paredes fijas de la cuba, el disco produce una gradiente de velocidad en la pasta y la lamina. La pasta tratada de esta forma durante un minuto, se envía al segundo circuito análogo el primero, en el que se hace la mezcla con la arena; estando aquí sustituido el disco macizo del primer circuito, por una estrella de cuatro brazos.

Después de 30 segundos de este tratamiento, el mortero activado o Colgrout, está terminado y listo para ser inyectado.

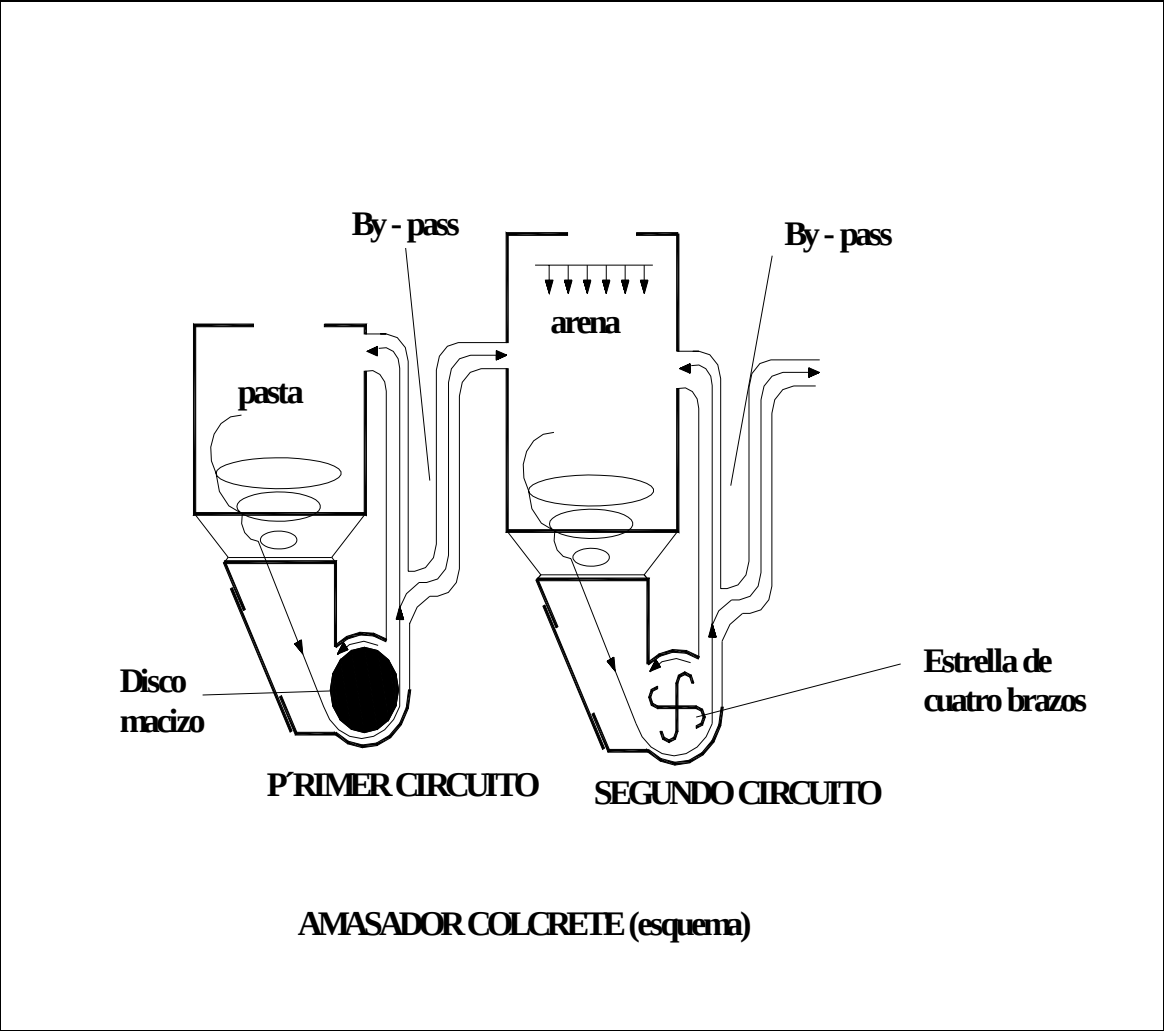


Figura 3-8: ESQUEMA DE AMASADOR COLCRETE

Procedimiento de activación mixto

En este procedimiento, el mortero comprende, además de la arena, cemento y agua, un aditivo, llamado Intraplast, compuesto de un producto defloculador y un polvo puzolámico muy fino.

Los materiales constituidos del mortero, se introducen en una primera cuba de amasado, en la que una placa con agujeros cónicos está sometida a enérgica vibración. El laminado se produce por el paso a gran velocidad del mortero a través de los orificios cónicos de la placa.

La mezcla terminada, se envía a una segunda cuba o agitador, en la que una placa perforada giratoria mantiene el mortero en agitación.

Una bomba situada a continuación de esta cuba, permite enviar el mortero al punto de inyección.

El esquema de la maquinaria que realiza la mezcla se puede apreciar en la figura 3.9, que se muestra a continuación.

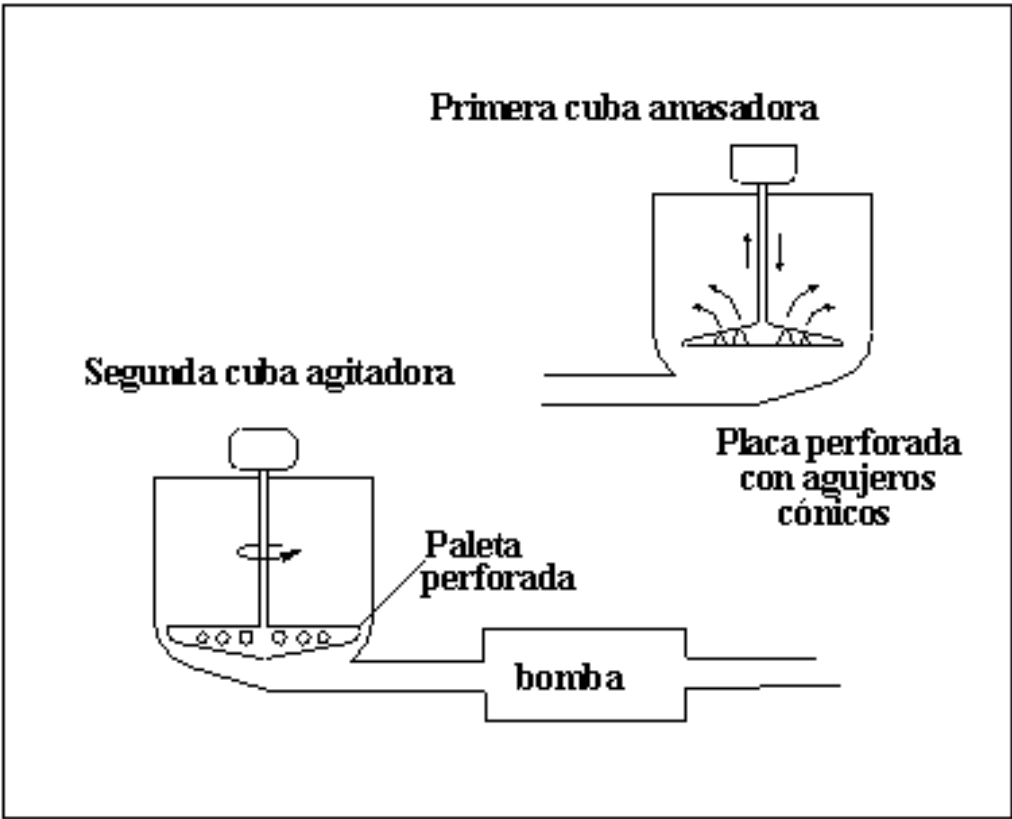


Figura 3-9: Procedimiento de activación mixto

3.5.2. Técnicas de inyección

El equipo utilizado se compone de; una amasadora para preparar el mortero activado; de una bomba impulsora del mortero, generalmente de doble pistón; de un juego de mangueras de goma, cada tira lleva en sus extremos una unión americana y un juego de lanzas de inyección (10 o 12), que en forma y cometido son iguales a una aguja hipodérmica, salvo en el largo, 1.5m. Para la instalación del equipo, se deberá preparar una tarima aproximadamente de 1m., de altura para situar la amasadora; a un costado se

acopiarán las bolsas de cemento y aditivos y al otro costado se colocará un plano inclinado, para la llegada de la arena, la que estará acopiada a una distancia conveniente; el suministro de agua, también deberá estar previsto. Junto a la tarima y debajo de la amasadora, deberá instalarse la bomba, esta instalación deberá estar equidistante de todas las lanzas a inyectar.

Siguiendo este proceso, previamente el agregado grueso es colocado bajo el agua, bien compactado, preferiblemente llenando todos los confines de un elemento estructural, en moldaje o una cavidad a reparar. El agregado deberá estar rigurosamente limpio y saturado con agua potable y se cuidará especialmente que quede bien apretado dentro del moldaje.

Luego son insertadas las lanzas de inyección, generalmente, se ponen antes de la colocación del agregado o también, son fijadas al moldaje o a un refuerzo especial. En el caso de colocar las lanzas horizontales se ponen a través de perforaciones o troneras, hechas previamente en el moldaje, para lo que se deberá contar con tapones de madera para sellar la tronera, luego de la inyección.

Enseguida, el mortero activado es bombeado a través de las mangueras y lanzas y rellena todos los intersticios, y huecos del esqueleto de áridos gruesos, colocado previamente.

Siempre la inyección, es comenzada por las lanzas del fondo, en el caso de obras verticales y por la lanza del centro, en obras horizontales.

La inyección no deberá detenerse y se continuará hasta que el mortero aparezca por la lanza siguiente (verticales) o hasta que el mortero "reviente" o borbotee en la superficie de los áridos en el caso de las obras horizontales.

Luego, la lanza deberá ser extraída, la tronera sellada con el tapón y la inyección continuada en la lanza siguiente. El proceso es continuado hasta que la grieta o moldaje, esté completamente lleno.

Distribución de las lanzas

La distribución entre las lanzas deberá ser levemente mayor que el espesor o profundidad del miembro a inyectar, para asegurar que la cara superior de la masa del mortero, alcance la cara opuesta o fondo del miembro, antes que alcance o desborde la siguiente lanza. Es decir, si el espesor o profundidad, tiene un valor "D" la distancia entre lanzas deberá ser un poco mayor a "D" (1,1 a 1,2D).

En caso de inyectar cavernas, se deberá sondear el área con un martillo para obtener una estimación de su tamaño. Luego, se perforará la primera tronera de inyección, a una distancia conveniente del borde y las troneras adicionales a una distancia levemente mayor, que la distancia de la primera lanza al borde de la caverna, con el fin de asegurar que la cara superior del mortero en inyección, alcance y llene el borde, antes de que alcance la siguiente lanza.

La más importante precaución, es la de evitar la presencia de agregados finos en los gruesos, ya que al perderse la granulometría discontinua; se crea la tendencia a impedir una buena penetración del mortero; estos finos se originan de la abrasión del agregado grueso durante su manipulación y se depositan en el fondo de los recipientes de transporte.

Es igualmente importante que el lugar de acopio de los agregados, esté limpio y libre de mugre, sal, aceite u otros contaminantes.

El mortero deberá ser bombeado inmediatamente después de la colocación y el agregado deberá ser protegido en lo posible, contra cualquier contaminante, entre el tiempo de colocación y de inyección, que deberá ser lo más breve posible.

3.6. CEMENTOS HIDRÁULICOS.

Se da este nombre genérico a un cierto grupo de cementos especiales o aditivos, que pueden ser dosificados como si fueran un mortero submarino; que se sumergen, para su aplicación, en cubas especiales (estancas y con una capacidad de 4 a 5 (L.)) y son puestos en obra, por un buzo como parches, sellos y otros pequeños requerimientos, como ser tapones de cavidades de insertos, etc.

Estos cementos hidráulicos son de fraguado rápido, lo que permite su uso en muchas aplicaciones submarinas, son muy efectivos como juntas submarinas de elementos prefabricados.

Uno de los más recientes y promisorios productos desarrollados no contiene cloruros, por lo que es apto para ser usado en condiciones muy corrosivas o donde el efecto de la corrosión puede ser muy serio, como el hormigón pretensado.

Además del agua potable, el agua marina, también puede ser usada como agua de amasado; pero el agua marina, en general es rica en ión cloruro, por lo que produce la tendencia a promover la corrosión.

El cemento puede fraguar en 4 a 5 minutos, muestra excelentes características de adherencia y resistencia, no presenta contradicciones de fraguado y es químicamente muy resistente. Ha sido usado como parches de perforaciones, en emergencias, a profundidades tan grandes como 40m.

También en el mercado existen aditivos, que pueden ser adicionados a un cemento corriente para producir características de fraguado rápido (aceleradores de fraguado); lo que los hace muy aptos para su uso submarino; pero, muchos de estos aditivos contienen cloruros por lo que siempre, se deberá considerar el posible daño por corrosión.

3.7. APLICACIONES DE CEMENTOS HIDRÁULICOS.

El mayor empleo de este tipo de cementos, es en obras en las que se desea muy rápidamente una gran dureza sin gran resistencia, aproximadamente 80 Kg. a los 28 días, como ser, la obturación de fugas de vías de agua y el sellado de mampostería, ejecutadas en la carrera de mares como ser rampas de atraque.

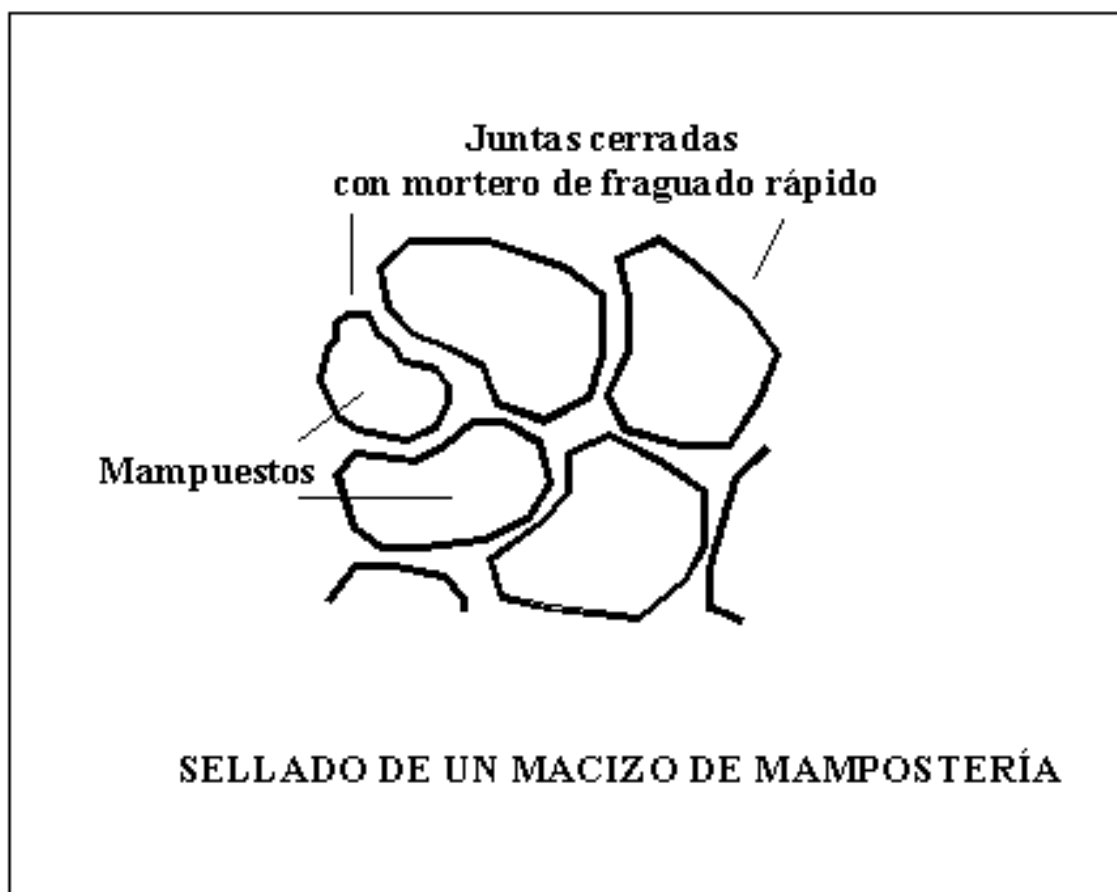


Figura 3-10: Mampuesto sellado con mortero

Para evitar el deslavado de los macizos de mampostería o rampas de atraque, ejecutados en la marea baja se obturan en las juntas al final del trabajo, antes de que la obra sea cubierta por la marea, mediante mortero de cemento de fraguado rápido, por lo que constituye el sellado.

Al reanudar el trabajo, este mortero se quita cuidadosamente con martillo picador, para que no quede ninguna traza de él.

También se puede sellar la superficie superior de los macizos de hormigón, si las caras laterales están protegidas por moldajes estancos.

A la marea siguiente, se quita la capa de mortero y se descarna la superficie para continuar el hormigonado.

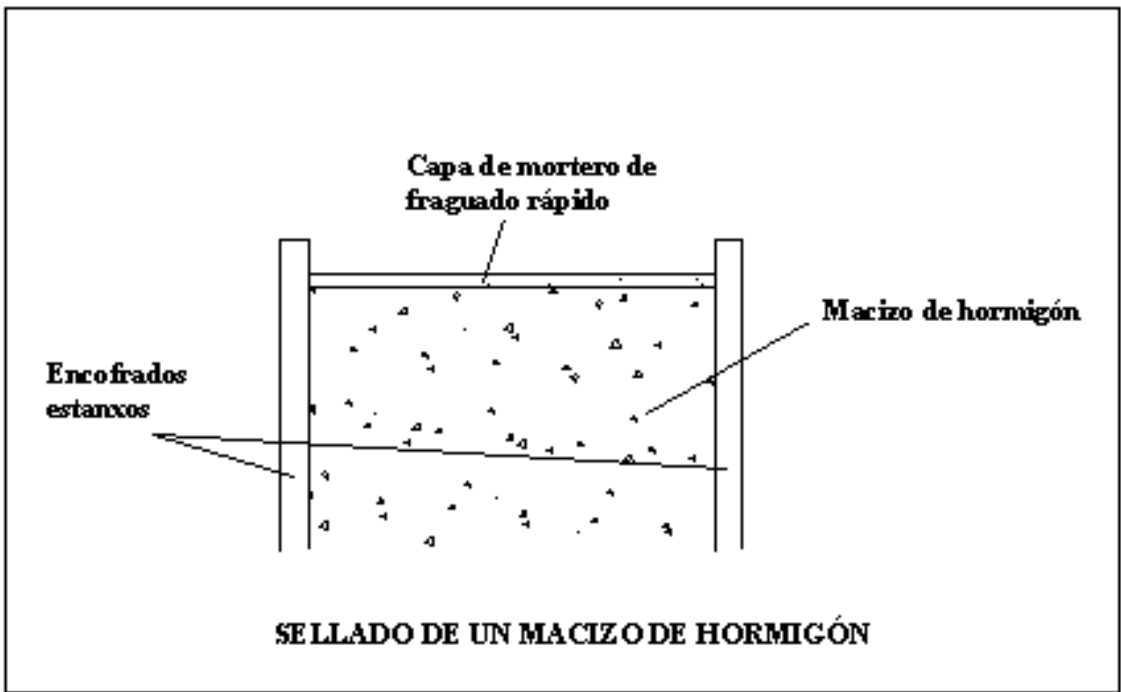


Figura 3-11: Sellado de macizo con mortero

El sellado de las vías de agua se presenta, entre otros casos, en la ejecución de soleras de esclusas o diques, sometidos a grandes subpresiones.

Cualesquiera que sean las precauciones tomadas en el hormigonado, siempre se producen afloramientos localizados.

La obturación de estas fugas localizadas, se obtiene limpiando los orificios de salida y sellándolos primero, mediante trapos impregnados hasta saturación, en pasta fluida de cemento de fraguado rápido y después, mediante mortero introducido a presión.

A menudo, las fugas se acentúan en los últimos puntos a obturar, por lo que pueden montarse tubos piezométricos sellados con cemento de fraguado rápido, en los que se establece el equilibrio del líquido a nivel superior de la solera, 7 a 8 cm.

Se termina mediante inyecciones de lechada de cemento a presión conveniente, a partir de estos tubos. Estas inyecciones deben hacerse simultáneamente en todos los tubos, con un ligante que no presente incompatibilidades con el del hormigón de la solera.

3.8. MOLDAJES PARA HORMIGONES SUMERGIDOS.

Los moldajes, deberán estar montados y ajustados antes de comenzar el hormigonado; esto es, que deberán estar sólidamente apernados o fijados, para evitar su destrucción o desarme debido a la furia del mar. Además, deberán estar impregnados de humedad (agua dulce) de modo que no absorban el agua de amasado del hormigón o agua de mar.

Los moldes serán macizos con un adecuado sistema de fijaciones, que deberá ser sólido y sencillo de montar y descimbrar, por las dificultades que presentan estas maniobras, que sólo se pueden hacer desde arriba con ayuda de grúa, lo que implica un rudo manipuleo.

La madera en combinación con el acero, se usa ampliamente en las vigas de coronamiento de los tablestacados; en este caso, el moldaje se monta sobre una viga de acero (longuerina), la que a su vez, descansa sobre unas consolas metálicas apernadas al tablestacado.

Las secciones de moldajes son entonces puestas en servicio, primero, las partes horizontales o tableros de fondo, en secciones pequeñas con traslapes a media madera, para la estanquidad y luego los tableros verticales, en secciones de dimensiones mayores, las juntas se sellan con empaquetaduras de goma blanda.

El acero ha sido extensamente usado en grandes unidades de moldajes prefabricados, con todos los refuerzos puestos en su lugar. Las tablestacas de acero, son también efectivamente usadas como moldajes.

El hormigón prefabricado es, en general, el mejor material para moldajes, ya que combina con éxito, peso, robustez, adherencia. Forma, permanencia y economía. Tiene la ventaja, de que su adherencia con el hormigón de la obra, será tal, que pasará a formar parte de la estructura.

Los moldajes deberán ser sellados, para prevenir la fuga de la lechada de cemento. Pesadas lonas, han sido usadas con mucho éxito para taponar "vías de fuga" o bien, para sellar un fondo demasiado irregular, sacos de arena pueden ser similarmente empleados. Las perforaciones de pernos, juntas de secciones de moldajes, etc., deben ser selladas por medio de "calafateo" que consiste fundamentalmente en introducir a presión, trozos de lona o de driza enrollados para detener la fuga.

También se puede usar para el calafateo, una pasta de cebo animal con carbón vegetal, revuelto en caliente, hasta formar una pasta espesa y homogénea, que el buzo aplica a mano o espátula también en caliente, por lo que se debe bajar cantidad suficiente, que se pueda aplicar antes del endurecimiento.

Algunas veces, el moldaje se deja en el sitio para proveer una protección adicional al hormigón y eliminar el costo de la faena submarina de descimbre.

Cuando se trata de hormigonar elementos cilíndricos, se puede usar un moldaje de madera prensada (cholguán). La técnica a ocupar es la siguiente:

Se corta el manto del cilindro (cholguán), se deja 24 horas sumergido en agua dulce, después se le aplica el desmoldante.

En el ínter tanto, se colocan las armaduras y se debe prestar especial atención en la colocación de las calugas de separación, deben quedar sólidamente fijas a la armadura en cantidad tal, de modo que el moldaje quede firmemente apoyado en las calugas.

Se le colocarán listones de refuerzo al manto del cilindro, en el sentido vertical, para rigidizarlo.

En la colocación del moldaje, se ajusta y se amarra con alambre tortoleado. Debe quedar firmemente colocado, sin ninguna posibilidad de movimiento.

La unión moldaje-fondo, se tapona con sacos de arena. En la parte superior, se puede poner un poncho de polietileno de alta densidad.

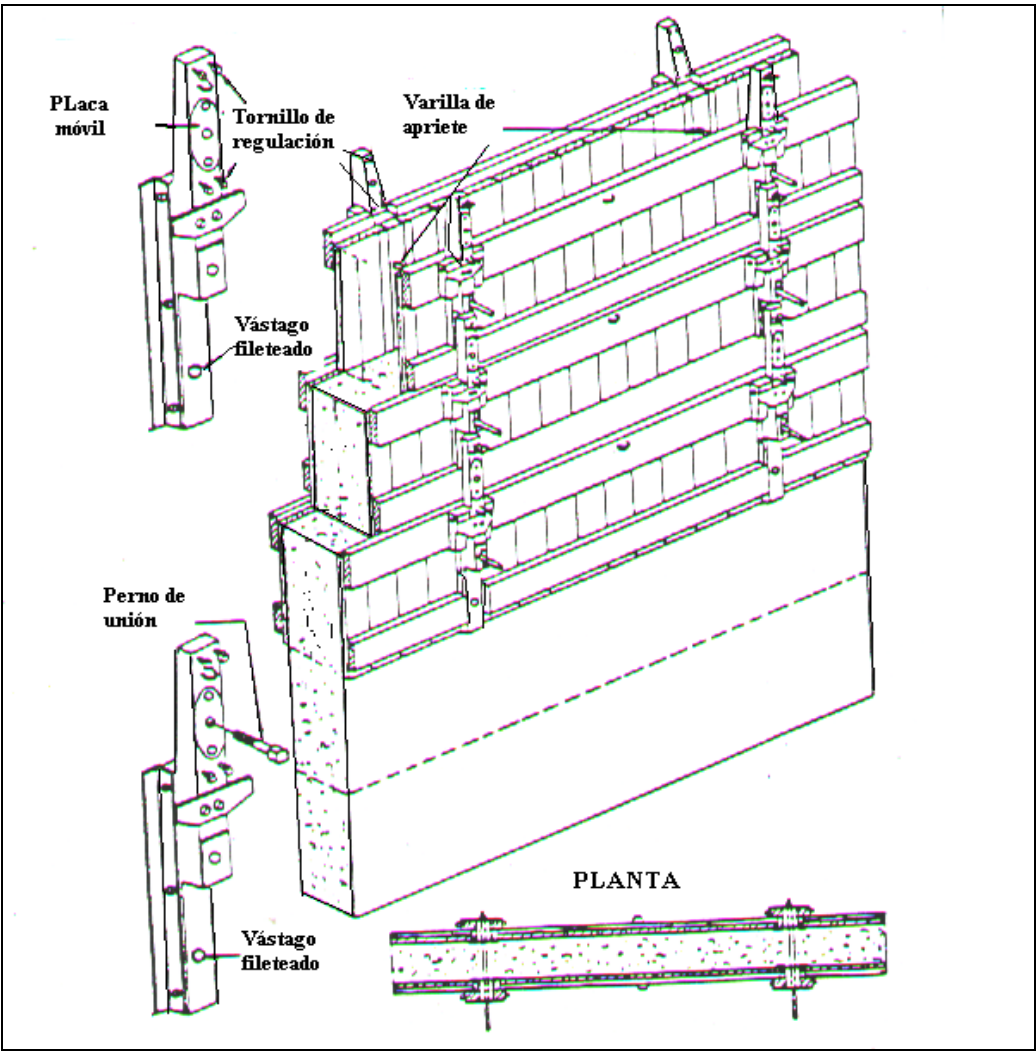


Figura 3-12: Encofrado tipo Faye

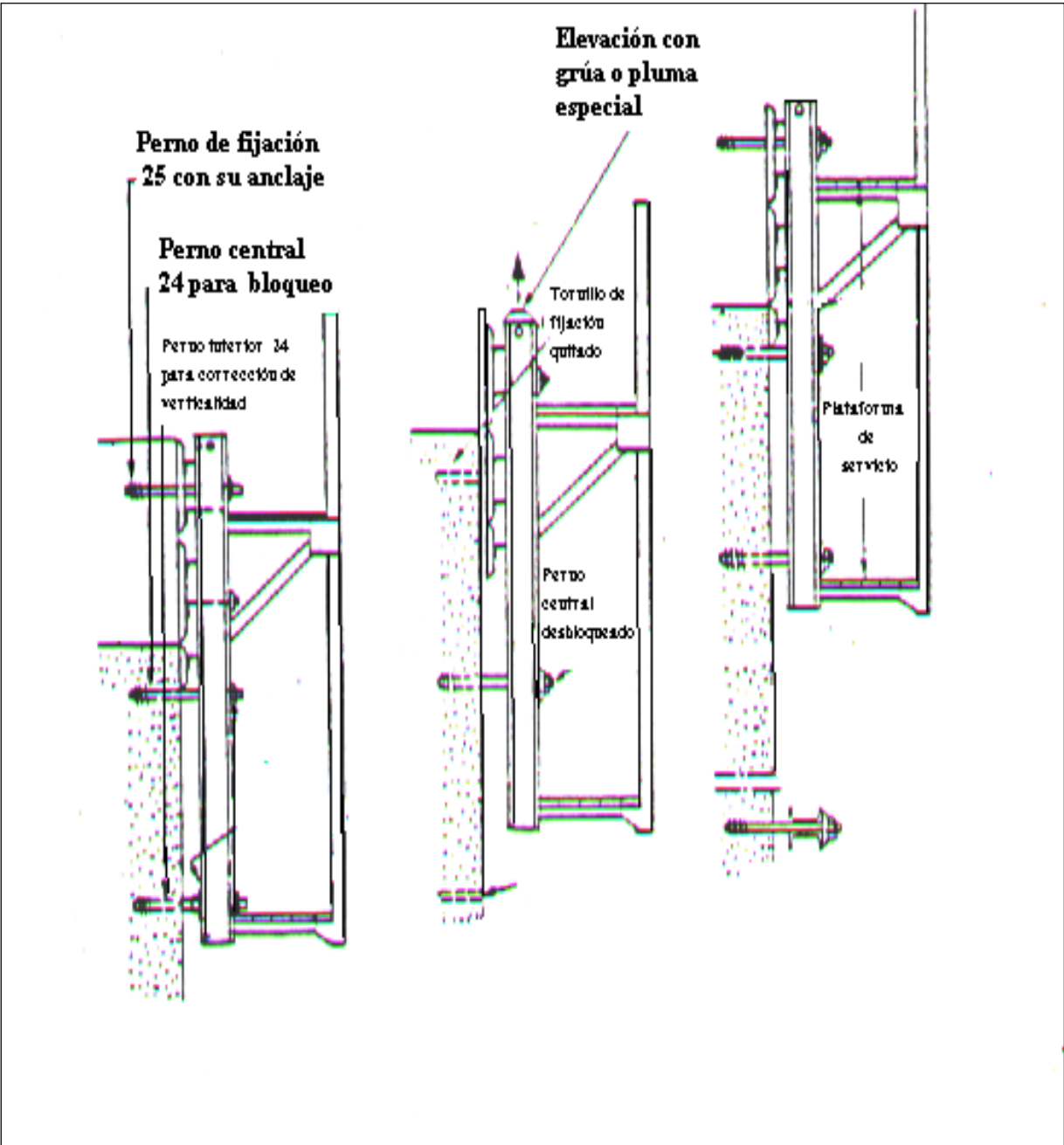


Figura 3-13: Encofrado viga directriz. Esquema de avance vertical

3.9. CUBRIMIENTOS PROTECTORES

A diferencia de lo dicho hasta aquí, que es hacer a un hormigón impermeable por sí mismo y que es indudablemente lo mejor; existen otros métodos de impermeabilizarlo y son el cubrimiento protector o la pintura de hormigón; estos cubrimientos se aplican particularmente en la zona de

amplitud de mareas y afecta a salpicaduras, que es donde se producen los mayores daños de corrosión de armaduras.

Además los cubrimientos pueden servir para prevenir daños por abrasión. Se distinguen los siguientes tipos.

3.9.1. Cubrimientos hechos de hormigón

Con este método se trata de cubrir con un hormigón denso, toda la estructura de hormigón convencional, cuando se trata de cubrir pilotes, toma el nombre genérico de "pantalones de concreto" o "polainas de concreto" o "calzoncillos de concreto", ya sea, si se cubre el pilote completo o parcialmente en su tramo inferior o tramo superior, respectivamente.

Este cubrimiento protector es generalmente de gunita y su armadura es malla de alambre galvanizado. La gunita hace que se tenga una capa de cubrimiento muy denso y rica, de por sí, impermeable. Existe siempre el peligro del agrietamiento por retracción, por lo que se debe tomar todas las medidas de prevención.

Otra forma de aplicar el cubrimiento, es reemplazar la gunita por una inyección submarina y usar moldajes flexibles.

3.9.2. Funda metálica

Otro tipo de cubrimiento, es de la funda metálica y consiste en usar planchas metálicas para aislar e impermeabilizar la estructura. Se han usado planchas de acero para impermeabilizar tuberías y tanques submarinos.

El metal Monel y fundas de fierro forjado, se han empleado en ocasiones en la zona de amplitud de mareas.

3.9.3. Macizos elásticos

El empleo de aglomerados bituminosos puede permitir la constitución de macizos elásticos en el mar, o como protección de escolleras.

En el puerto de Marsella, se trató en 1954 por penetración de mástic bituminoso vertido a 200°C mediante una cuba colorifugada, una sección de macizo de escollera que sirve de apoyo al dique exterior a 12m. de profundidad, cuya estabilidad estaba comprometida por la reflexión de las olas sobre el dique.

En 1956, se realizó un ensayo de arranque de los bloques tratados de esta forma, siendo necesario un esfuerzo de varias decenas de toneladas para separar cada uno de los 3 bloques arrancados, se rompió bajo esfuerzo.

3.9.4. Pinturas bituminosas

Son soluciones de asfalto con un disolvente volátil apropiado. En impermeabilización, se emplean como pinturas sobre el cemento, para lograr una protección química (0.5 L/m²).

Se ha desarrollado en gran número de pinturas, que se han usado con gran éxito en los hormigones sumergidos.

La desventaja de las pinturas bituminosas es que no resisten los efectos de la abrasión, ni la ruptura causada por la intensa presión localizada, de los organismos sésiles.

3.9.5. Pinturas y enlucidos protectores

Con estas pinturas plásticas, se trata de aislar la estructura a la difusión del aire dentro de ella; hay pinturas de fondo reactivo "wash primer", que contienen ácido fosfórico y un aglomerante de resina, butiralpolivinilo y el pigmento antioxidante, tetraoxocromato de zinc. Así se consigue, en una sola operación, una defensa contra el óxido y una capa de fondo adherente.

También se recomiendan las pinturas "antifouling", para evitar la adherencia de algas y moluscos; la más empleada por su economía y efectividad, son las que tienen como tóxico las sales de cobre.

Su vida útil, es muy breve, de 6 a 8 meses. También se puede impermeabilizar, por medio de una capa o película de pintura de caucho colorado, para el enlucido de hormigones sumergidos.

Otros enlucidos son: fluosilicatos o fluoruros, mezcla de neopreno con parafina.

3.9.6. Resina epoxica

Este es el material de más reciente aparición y hasta ahora, ha cumplido un exitoso papel, por lo que su uso tiende a ser cada vez más intenso. Con esta resina, se logra protección contra la corrosión y abrasión y puede ser aplicada en áreas secas, mojadas (ya sea bajo el agua y en la zona de amplitud de mareas) y en aguas de temperatura de 2°C.

Ciertas formulaciones de resinas, pueden curar en la zona de rompientes de oleaje.

Los cubrimientos epóxicos, tienen una adherencia extremadamente buena, y pueden ser aplicados por un buzo, en una faena simple y lograr una superficie impermeable y densa, resistente a la abrasión.

La técnica de aplicación del cubrimiento epóxico es la siguiente:

Los ayudantes colocan una lona-soporte sobre una mesa y allí, le aplican la resina en una capa densa y uniforme, quedando el soporte totalmente impregnado y sin ninguna burbuja.

Se baja la lona al buzo, quien la aplica y amarra firmemente a la obra.

Con un rodillo se diluyen todas las burbujas que pudieren haber quedado atrapadas.

Para el buen éxito del cubrimiento, es esencial que la superficie a tratar esté totalmente limpia y libre de materias extrañas, incluyendo organismos marinos, pelillo, musgo, aceite, grasa, sal, moluscos y orín con el fin de asegurar la buena adherencia. Los equipos arenadores de uso submarino y el "jet" de agua, son especialmente efectivos.

Las resinas epóxicas, fueron descubiertas en USA en 1947, son termoestables, químicamente inerte, resistentes al calor, no se encogen, presentan extraordinaria adherencia y buenas propiedades eléctricas. Además, se puede combinar con otros plásticos para obtener compuestos con nuevas características.

Las resinas epóxicas, son producto de la condensación del difenol con epiclorhidrina; el endurecimiento o curado se lleva a cabo por la reacción del grupo epoxi con ácidos o aminas. Además, del endurecedor, tienen cargas minerales, pigmentos minerales y orgánicos, diluyentes y flexibilizadores. Al conjunto de componente se le llama "formulación". Sus principales objetivos son:

Cargas Minerales: abarata el costo, mejora las características mecánicas (resistencia a la abrasión), además da la consistencia necesaria para su aplicación, el aditivo más usado es la brea de hulla.

Pigmentos Minerales y Orgánicos: tienen la función de mejorar el aspecto de los acabados dándoles el color.

Diluyentes: mejoran la facilidad de aplicación y permiten el aumento de carga. Los diluyentes convencionales, sólo se usan en casos de protección de superficies libres.

3.9.7. Usos de las resinas epóxicas.

Unión hormigón - hormigón; Es básico que las superficies a unir deben estar limpias, pues es imprescindible el contacto íntimo de la resina con la superficie a unir, se recomienda limpieza por arenado o bien, el uso de ácido clorhídrico al 10%, debe cuidarse que después de la limpieza, no queden restos de ácido, que reaccionarían con los endurecedores de la resina, impidiendo el curado.

Reparación de grietas; Se pueden hacer por simple colada, por gravedad o inyección de una formulación epóxicas, con las debidas precauciones referentes a la limpieza previa.

Juntas de Trabajo; La unión del hormigón fresco con uno ya curado, es el uso más importante de esta resina. Se aplica la formulación en el momento de vaciar el hormigón fresco, sobre el antiguo, actuando como membrana de unión. Fácilmente se puede lograr una tensión de rotura a la tracción de 100 kg/cm², que es más que suficiente para construir una buena unión.

Mejora la resistencia a la abrasión; Cubriendo al hormigón con una delgada membrana de formulación epóxica, o bien, una capa de refuerzo (lona, fibra, etc.) y sobre ella, una capa de acabado.

Unión hormigón - metal; A las estructuras de hormigón pueden unirse elementos metálicos como herrajes, etc. Incluso, cuando las armaduras son de gran diámetro y la escasa superficie de contacto de ambos materiales hace precaria su adherencia, se pinta la armadura con una formulación epóxica, poco antes del vaciado del hormigón, cuidando eso sí, que el metal no esté oxidado.

Unión metal - metal; Fue una de las primeras aplicaciones de estas resinas, estas uniones llegan a resistir una tracción de cizalle de 220 kg/cm² y su resistencia química es también muy alta.

Otras aplicaciones; Se le emplea en construcción como protección anti-corrosiva; reparación de firmes de pavimentos de tráfico intenso. Además de otros usos especiales como adhesivo y pinturas.

CAPÍTULO 4: ESTRUCTURAS MARINAS, CARACTERISTICAS

4. ESTRUCTURAS MARINAS, CARACTERISTICAS

Como consumidor del hormigón sumergido, se encuentran las estructuras marinas. Estas existen en una gran variedad, dependiendo de la utilización para cual fue diseñada. Para llegar a esta obra es que se ha tenido que pasar por una serie de pasos, donde cada uno tiene su relativa importancia. En el capítulo siguiente es que se pretende como objetivo general, el dar a conocer lo importante que es cada una de las etapas del diseño y posterior utilización de una estructura marina. Además se tienen como objetivos específicos, el mostrar las diferentes clasificaciones de estructuras, las consideraciones y los problemas que pueda presentar a través del tiempo.

TERMINOLOGÍA

Para tener un correcto uso de las estructuras marinas es necesario tener en cuenta varios parámetros, tanto de diseño, como de funcionamiento. Para establecer un punto de referencia en este estudio, se llamará amarradero a aquella construcción paralela a la costa con áreas operacionales. Otro tipo de estructura que se extienda en ángulo hacia el interior de agua, se llamará muelle.

También es usado el término amarradero para describir el espacio usado por un barco mientras se descarga en un puerto de mayor envergadura. Además se tiene el término embarcadero, que constituye un grupo de amarraderos.

4.1. CLASIFICACION FUNCIONAL DE ESTRUCTURAS MARINAS.

A continuación se clasificarán algunas estructuras según la función que cumple. Vale destacar que se nombrarán

estructuras que se citarán mas adelante en este estudio, siendo una mayor gama la existente.

CLASIFICACIÓN DE ESTRUCTURAS MARINAS

Tabla 4-1: Clasificación de estructuras marinas.

AMARRADEROS	Cargamento general Terminal de contenedores Terminal de aceite y gas Terminal de pasajeros Botadero pequeño
PROTECCIONES	Rompeolas Muros de deflexión
REPARACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE NAVES	Amarraderos Muelles Artilleros Amarraderos fuera de costa
NAVEGACIÓN	Faros
ESTRUCTURAS ESPECIALES	Muelles recreacionales Muelles para pesca

Fuente: Seminario Instituto Chileno del Hormigón, 2000.

4.2. CONSIDERACIONES PARA EL TIPO DE ESTRUCTURA A EDIFICAR.

El tipo de estructura que se elegirá para un proyecto depende de varios factores, los cuales se contemplan dentro del diseño, arrojando variedad de estructuras y de materiales a elegir.

Tamaño del buque: que determinará la profundidad de agua requerida

Para barcas pequeñas, puede ser utilizado un embarcadero de pilotes.

Para barcas de mayor envergadura que requieren cubiertas despejadas por lo que se hace necesario mayor profundidad de agua, requiriendo un diseño de mayor profundidad para los pilotes.

Tipo de operaciones a realizar en el embarcadero

Para buques con contenedores, necesitan por lo general una conexión continua a tierra, con grandes áreas de operaciones.

Para buques de carga, tanques y de autos, se pueden construir amarraderos con un pequeño puente que facilite el acceso.

Amarraderos navales, necesitan muelles o embarcaderos para proveer un continuo flujo de naves

Condiciones del suelo

Un buen suelo permite el uso de relleno con rocas de cantera.

Un suelo pobre en la capa superior y bueno en las inferiores, requiere la remoción de la primera capa para utilizar relleno de rocas.

Suelo muy pobre hasta capas muy bajas, requiere de fundaciones profundas o alguna técnica de compactación especial para profundidades.

Disponibilidad de materiales

El diseñador debe considerar la disponibilidad de materiales y de equipamiento para la construcción.

En casos de obras de gran envergadura, el problema de la disponibilidad de materiales y equipos se traspasa al contratista que ejecutara la construcción, ya que este movilizará los recursos necesarios. Claro está que sin existir alguna alternativa en la utilización de materiales

o equipos se deberá tomar la que esté disponible aunque encarezca el proyecto.

Condiciones de carga

En condiciones de carga liviana se puede considerar una construcción en base a enrocado, pero para unas cargas mayores se deberá establecer una cubierta soportada por pilotes.

Accesibilidad

En el caso de que sea necesario un acercamiento hasta el borde de la nave, como lo es en las que transportan contenedores, se deberá designar un área que soporte este trabajo. Por lo general se crean enrocados para que sirvan de borde para la descarga. En el caso de no necesitar, como lo son las descargas de aceite, un amarradero es suficiente.

4.2.1. Condiciones de diseño en situ

Línea de marea: Para este caso se debe tener el nivel más alto de mareas posible, para así mantener todos los elementos estructurales y de funcionamiento protegidos ante eventualidades. En el caso de que fueran necesarias estructuras flotantes o de contención durante el periodo de construcción, éstas deberían estar hechas de material pretensado.

La velocidad paralela al embarcadero antes y después de la construcción.

Se deberán diseñar profundidades de draga para antes, durante y después de la construcción, vale decir se deberán aplicar tolerancias en cuanto a este factor.

4.3. CONSTRUCCION

El primer paso para la construcción de un embarcadero es el dragado y eliminación del material inservible del fondo marino. Luego se deben colocar las rocas de cantera desde barcazas. Colocadas las rocas se procede a cubrirlas con un manto de hormigón. Terminado el dique se procede con el relleno de la parte posterior, que colinda con el terreno, teniendo especial cuidado de dejar columnas de drenaje o pilas de rocas, que servirán para aliviar las sobrepresiones que producen cuando el suelo que contiene agua, es solicitado por un sismo.

La colocación de los pilares, como etapa siguiente, puede ser realizada desde el mar o desde tierra, esto depende de la magnitud del embarcadero. En el caso de pequeños embarcaderos, se puede continuar un camino de material de cantera y con ello acarrear los pilotes desde tierra firme hasta el lugar de su postura. En cambio para el caso de obras de mayor envergadura, los pilotes se colocan desde barcazas especialmente equipadas para ese fin. Para ambos casos el proceso de empotramiento de los pilotes es similar, estos se deben introducir mediante impactos en el terreno. La utilización de una manguera colocada en el extremo inferior del pilote, que proyecta chorros de agua a gran presión, que ayudan a la inserción del pilote. Esta manguera es desconectada cuando el pilote se encuentra 1,5 m de la cota que debe ser introducido.

Se debe considerar que para unir los pilotes con la cubierta se corta la cabeza de los mismos aproximadamente 5 cm., para así eliminar la parte del pilote que es dañado por los impactos de la colocación. Se debe señalar que últimamente la mayoría de las cubiertas utilizadas, son prefabricadas, siendo su instalación mucho más fácil y rápida.

4.4. ANÁLISIS SÍSMICO

Se debe tener en cuenta que no existe un criterio unificado en cuanto al diseño, por lo general se hace referencia a las normas existentes en estados unidos, como lo son la ASCII 318, Militar-Handbook 1025/1 y AASHTO Bridge Design Specification. Además en cuanto al diseño propiamente tal, éste se maneja entre las partes interesadas como lo pueden ser las autoridades marítimas, la armada, en conjunto con el ingeniero. Para ello es que se toman en cuenta factores como el económico, seguridad, políticas frente a un evento sísmico. Para las consideraciones de ocurrencia y magnitud de los sismos se tiene dos criterios.

El primero considera una probabilidad de ocurrencia del 50 % en 50 años de vida de la estructura o con un periodo de retorno de 72 años. Esto considera también que la estructura se deformará, de tal manera que no la afecte estructuralmente. Se consideran límites para las deformaciones de 0,005 en compresión, para evitar el desprendimiento de trozos de hormigón, y de 0,01 en deformaciones por tracción, para evitar el agrietamiento.

Estas consideraciones se han tomado con la finalidad de mantener la estructura operativa después de un evento sísmico o que en el caso de sufrir algunas averías, las reparaciones no interrumpen las operaciones. Una limitación normalmente utilizada es de 150 mm en el desplazamiento de la estructura.

El segundo considera sismos de mayor magnitud y con menor probabilidad de ocurrencia durante la vida útil de la estructura. Esto corresponde a un 10 % de probabilidad de ocurrencia en 50 años o un periodo de retorno de 475 años. En este caso la estructura resultante resistirá el evento, pero con daños estructurales reparables. Para ello es que se consideran los límites de 0,02 en compresión para evitar la ocurrencia de rótulas plásticas y de 0,06 en tracción. Los efectos en la estructura al tomar en cuenta una

consideración de este tipo, serían desplazamientos de la estructura tales que los daños menores se puedan reparar sin interrumpir las operaciones y los de mayor magnitud sean accesibles a reparar.

Últimamente se ha estado utilizando un método equivalente al análisis estático, que considera cierto porcentaje de la carga por gravedad (usualmente entre 0,1 y 0,14 g), que es aplicada como fuerza lateral en este análisis.

Pero lo más reciente en análisis dinámico aplicado al diseño de estructuras marinas es el llamado "Mecanismo de Colapso", que consiste en utilizar valores más reales de los desplazamientos de la estructura, esto se logra tomando en cuenta los desplazamientos de cada una de las partes que lo componen, es decir se comparan los desplazamientos obtenidos de las deformaciones provocadas por el espectro de respuesta y las deformaciones de la estructura en estados críticos.

El Método del Colapso utiliza las características no lineales de los elementos que componen la estructura, que determinan su capacidad última de desplazamiento. La figura 4-1 muestra el comportamiento típico de una estructura formada por un pilote empotrado en un dique de rocas. El confinamiento lateral que provee el dique es modelado por los resortes, que generan el gráfico no lineal de fuerza-desplazamiento p-y. El comportamiento no lineal del pilote es estimado utilizando el análisis giro-momento. Este confinamiento provee al pilote la capacidad de realizar rotaciones significativas, produciendo rótulas plásticas.

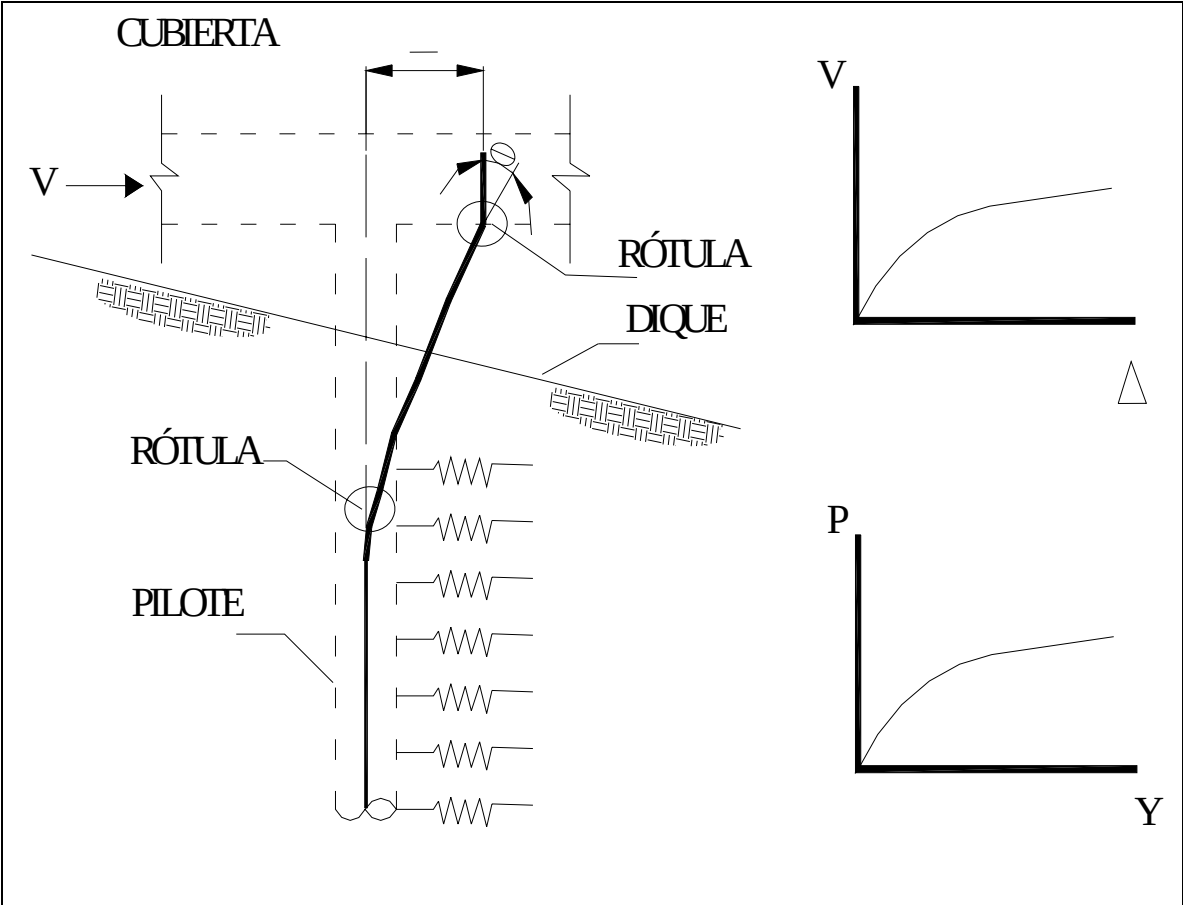


Figura 4-1: Modelo de deformación de un pilote

El análisis de giro-momento también se utiliza para determinar el giro necesario para producir una rótula plástica. La figura 4-2 muestra la gráfica de deformación versus presión en los resortes (dique) para distintas profundidades. La figura 4-1 muestra la grafica de la relación giro-momento entre el pilote y su conexión con la cubierta, cuando el pretensado es ineficiente. El análisis mediante el mecanismo de colapso determina la fuerza lateral (V) versus la deflexión del pilote en su extremo superior. El análisis mediante el método del colapso también indica la rotación necesaria para producir rótulas plásticas en las secciones del pilote.

Para determinar el desplazamiento se considera un modelo teórico de embarcadero, tal como lo muestra la figura

Para modelar la estructura, ésta se considera como una cubierta rígida, confinada en su movimiento por una serie

de resortes colocados en algunos de sus lados, con estas dos suposiciones se puede determinar el centro de masa y el centro de rigidez (ver figura 4-1), para así aplicar el método que más acomode para los cálculos de respuesta ante el espectro que caracterice un evento sísmico. Se debe tener especial consideración con el desplazamiento que tienen los pilotes debido al giro de la cubierta, producto de la excentricidad entre el centro de masa y el de rigidez

4.5. MODELACIÓN DE LA CUBIERTA DE UN MUELLE SOBRE LA BASE DE PILOTES

Se debe tener especial cuidado con la identificación y combinación de las cargas que se utilizarán para el diseño de la estructura. Para lo cual se debe tener la mayor información posible sobre el uso que se le dará a la estructura, para así considerar un posible aumento de solicitaciones por cargas de servicio.

Para determinar las diferentes cargas que se consideraran en el diseño, se pueden tomar en cuenta las recomendaciones que aparecen en esta memoria.

En el momento de diseñar, se debe tener en cuenta que se pueden barajar una variedad de soluciones para un proyecto específico, por lo que la elección pasa por la que cumpla con un buen diseño estructural, acompañada de un presupuesto que no sea elevado.

Ahora si analizamos la modelación de las estructuras a proyectar, el ubicar el centro de rigidez, pasaría por una suerte de iteración, ya que el dimensionamiento de los pilotes no se determina sólo por las cargas verticales y laterales estáticas, sino que también por la acción de las cargas dinámicas y los desplazamientos (giro) de la cubierta. Esto quiere decir que se parte con una dimensión de pilote, pero con el mejoramiento del desempeño de la estructura, cambia, por lo que el centro de rigidez también.

Entendiendo que el ambiente marino no es muy amigable con las estructuras que se construye en él, es que los cuidados antes, durante y después del hormigonado deben ser los más posibles.

El antes, correspondería a tener en cuenta una correcta dosificación, esto quiere decir, el mejor árido que se pueda obtener, la cantidad de agua apropiada, la cantidad de aditivo incorporador de aire que nos dé mejor resultado y la cantidad de cemento que elimine poros y de buenos acabados.

El durante, tiene relación con el hormigonado. Asumiendo que la dosificación eliminará el lavado normal del hormigón, el aplicar correctamente la técnica de hormigonado, ya sea por tubo-tolva o inyección (que son las mejores), llevaría a tener estructuras hormigonadas sin superficies porosas, lo que impediría el ingreso de sales y por ende la corrosión.

El después, nos lleva a analizar el correcto diseño arquitectónico de la obra, vale decir que no cuente con cuevas sobre o bajo el agua, ya que en dichas zonas se genera abrasión, ya sea por viento y cavitación, o por el desgaste de gravas y arenas en movimiento respectivamente. También se debe tener cuidado con pequeños voladizos donde se puedan adherir masas de hielo, que al cambio de marea queden al aire y soliciten la estructura. Sumado a lo anterior dicho, después de construida la estructura, la mantención de las zonas donde se alojan organismos marinos es importante, ya que en el caso del fouling o suciedad, esconde grietas que permite o evidencian corrosión, y en el caso de moluscos, la eliminación mecánica de ellos descascara la superficie, dejando poros que permiten el ingreso de sales y por ende la Corrosión

4.6. ESTRUCTURAS PORTUARIAS.

Existe una variedad de modelos que se utilizan en la construcción de estructuras portuarias clasificándose según su tipo de empotramiento y de fijaciones al terreno.

Estas estructuras se utilizan como contención del terreno que se utilizará como cubierta de operaciones en embarcaderos, o zonas de carga. La dimensión y el tipo de estructura empotrada, dependerán de las cargas de servicio para las cuales se diseñará.

4.6.1. Estructuras empotradas

Por lo general son tablestacas con una corona de hormigón, utilizadas para construir pequeñas zonas de operaciones.

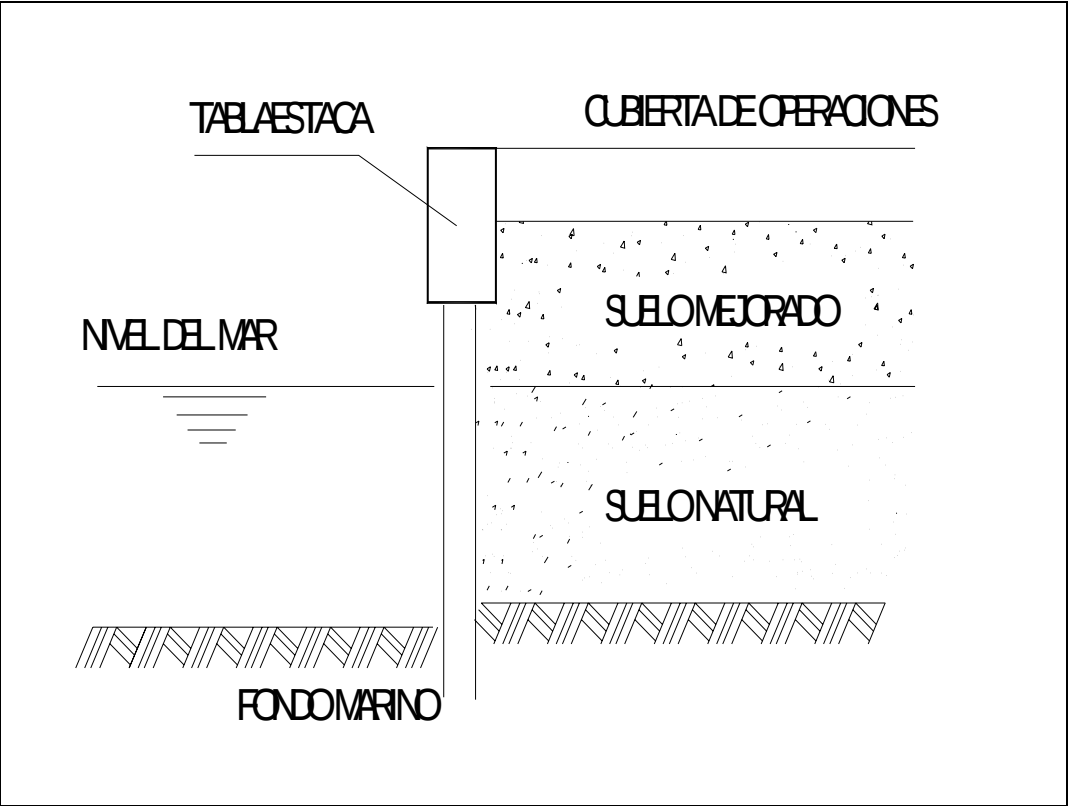


Figura 4-2: Tablestaca simplemente empotrada

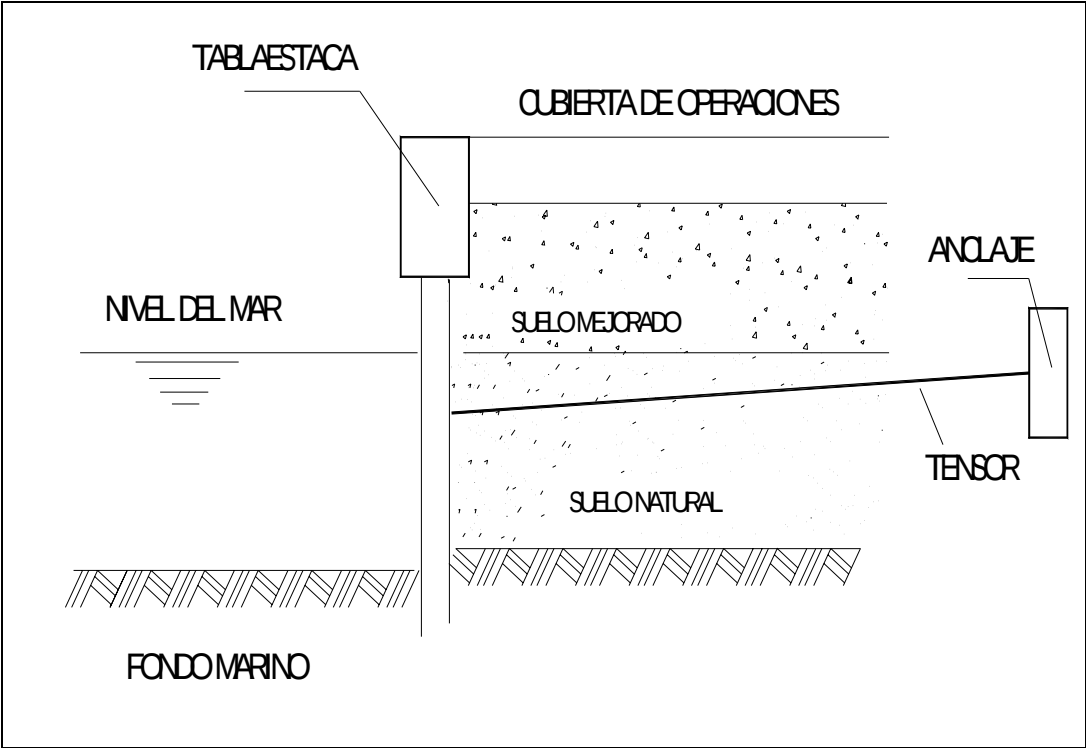


Figura4-3: Tablestaca simplemente anclada

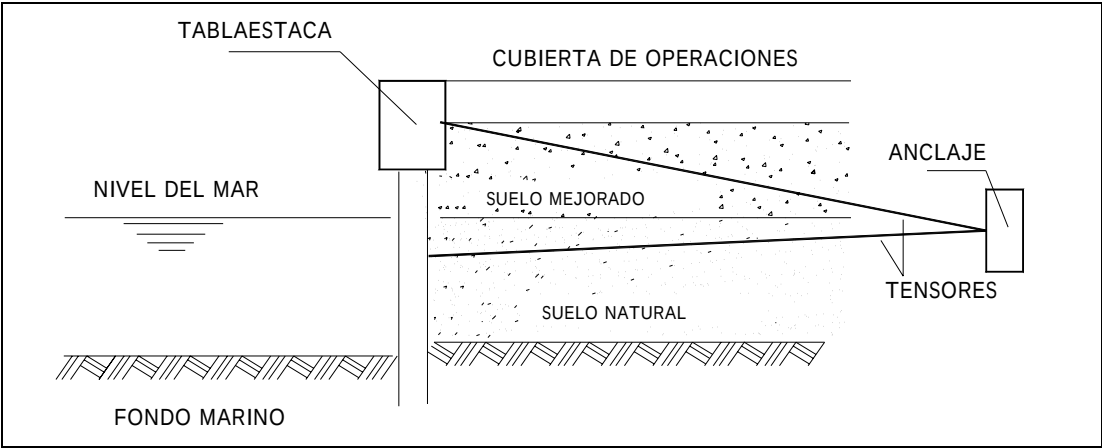


Figura 4-4: Tablestaca doblemente anclada.

4.6.2. Estructuras de gravedad

Las estructuras de gravedad, al igual que las tablestacas, son utilizadas en la contención del subsuelo de zonas de operaciones de muelles o embarcaderos. A continuación se muestran algunos modelos que se utilizan.

Este tipo de contenciones, permite construir zonas de operaciones, que admiten mayor sollicitación.

El muro de gravedad, es un tipo de muro que resiste el empuje del suelo, con su propio peso y, a veces, también ayudado por el mismo terreno que soporta.

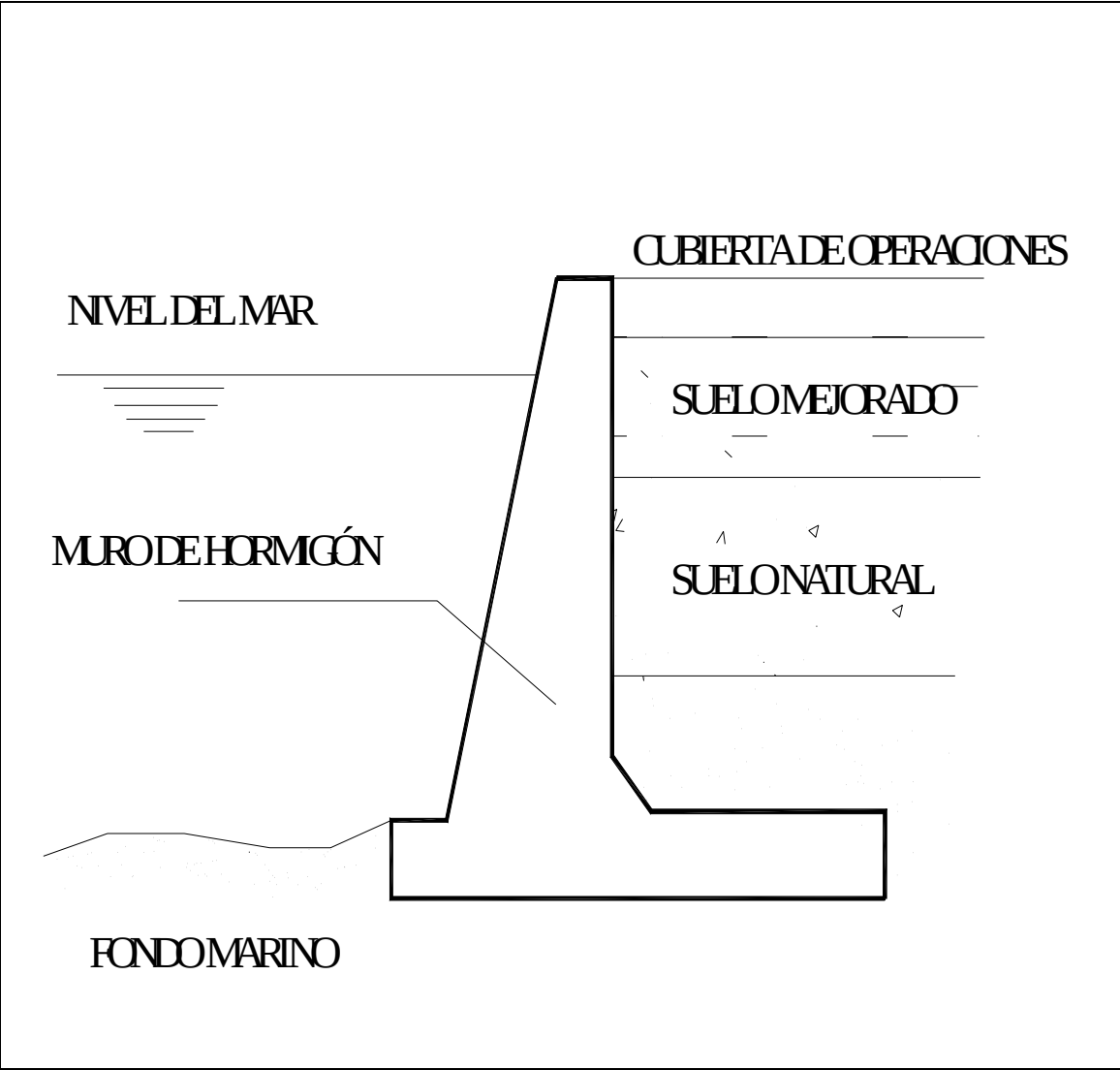


Figura 4-5: Muro solido

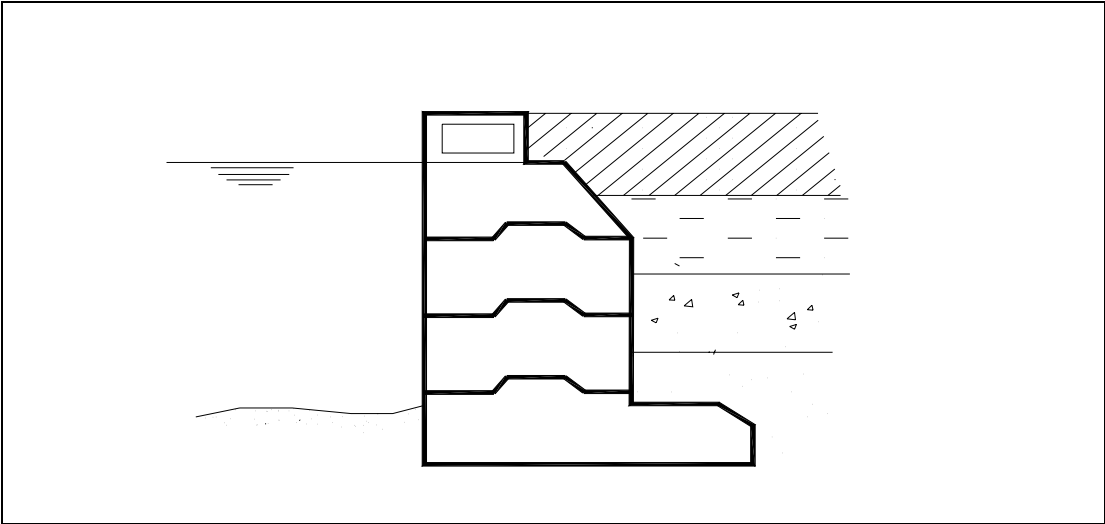


Figura 4-6: Muro de bloques

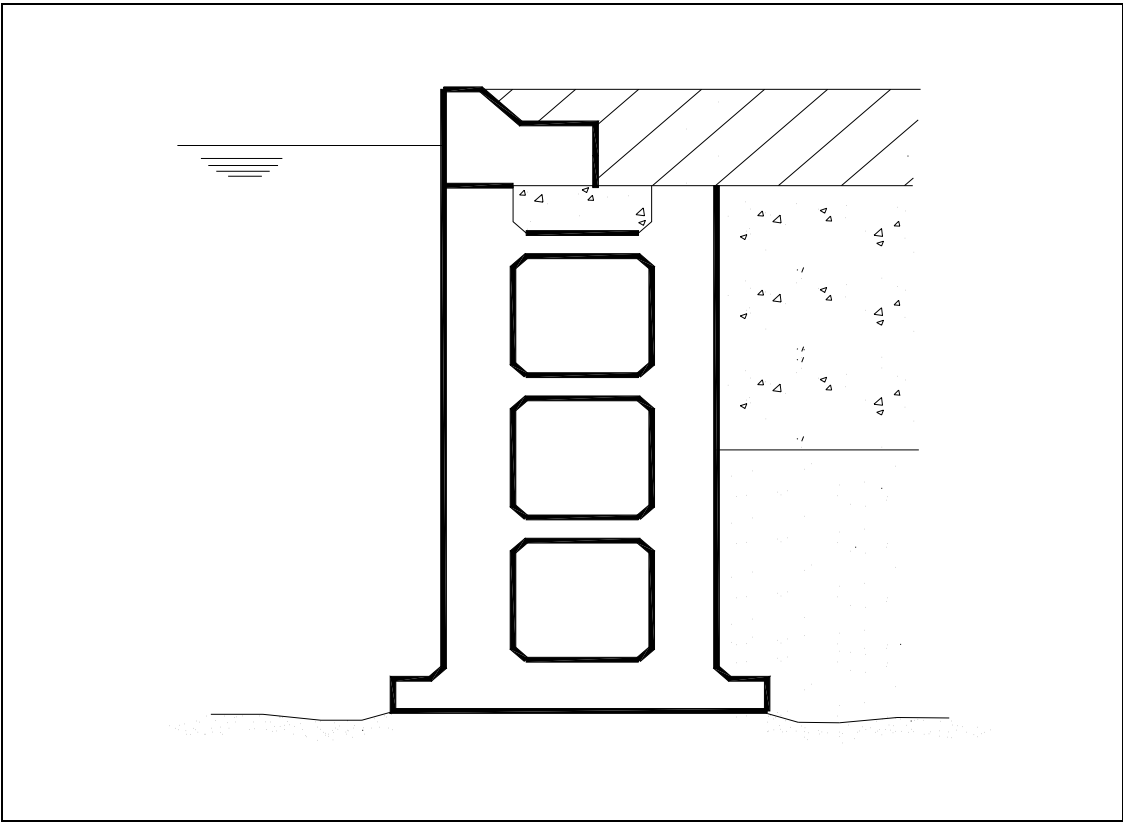


Figura 4-7: Muro por niveles

4.6.3. Estructuras flotantes

Estas estructuras se utilizan en operaciones que no requieran el que la nave atraque o para que las naves esperen el momento para desembarcar su carga.

4.6.4. Apuntalada

Este tipo de estructura es utilizado como anexa a otras mayores, o como pequeño amarraderos para tránsito de personas o pequeño vehículos.

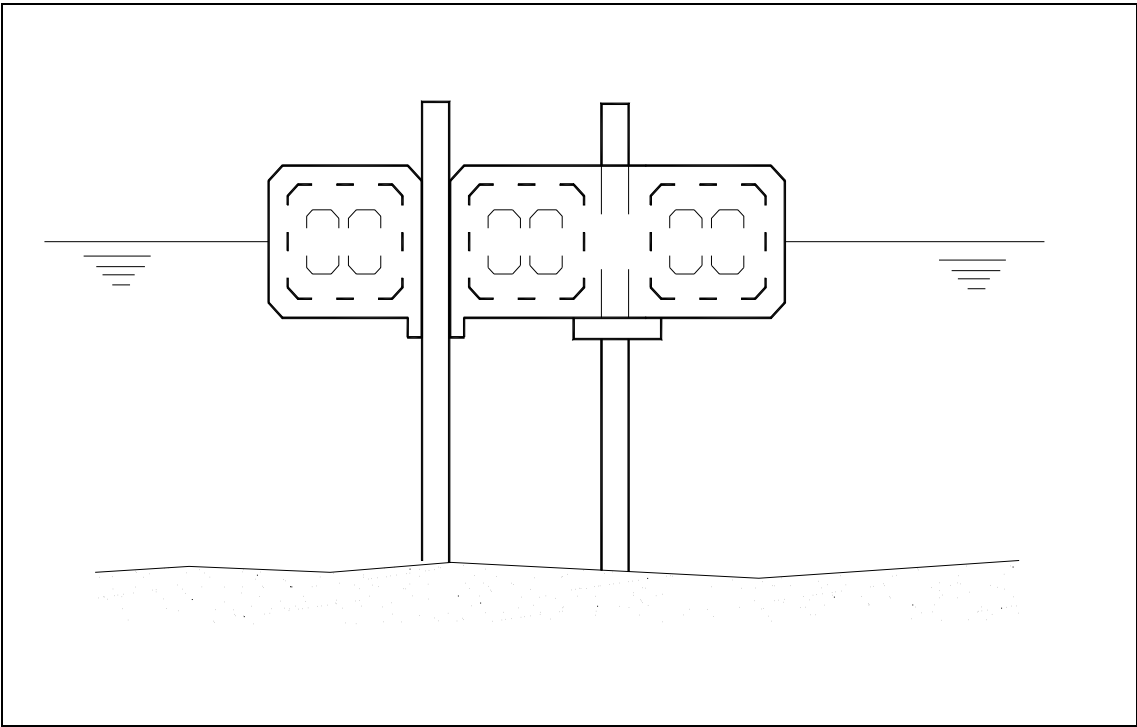


Figura 4-8: Estructura flotante apuntalada

4.6.5. Amarrado

En este caso, este tipo de estructura sirve para sujetar las naves mientras están en espera de la descarga de su carga. Estas son muy utilizadas en la descarga de derivados del petróleo.

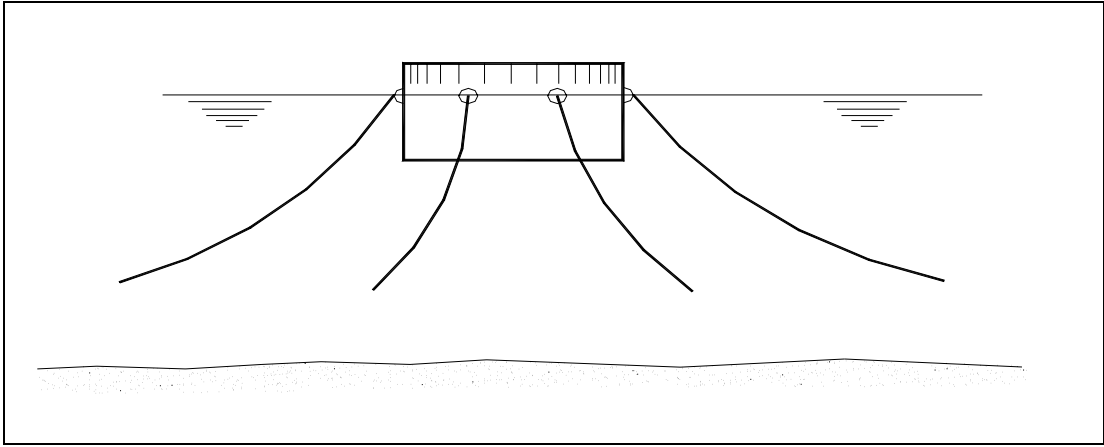


Figura 4-9: Estructura flotante amarrada

4.6.6. Rotulado

Estas estructuras se utilizan para pequeños embarcaderos, o para aquellos en que la profundidad del suelo cercano al área de servicio es insuficiente y se necesita extender el área para descarga dentro del mar.

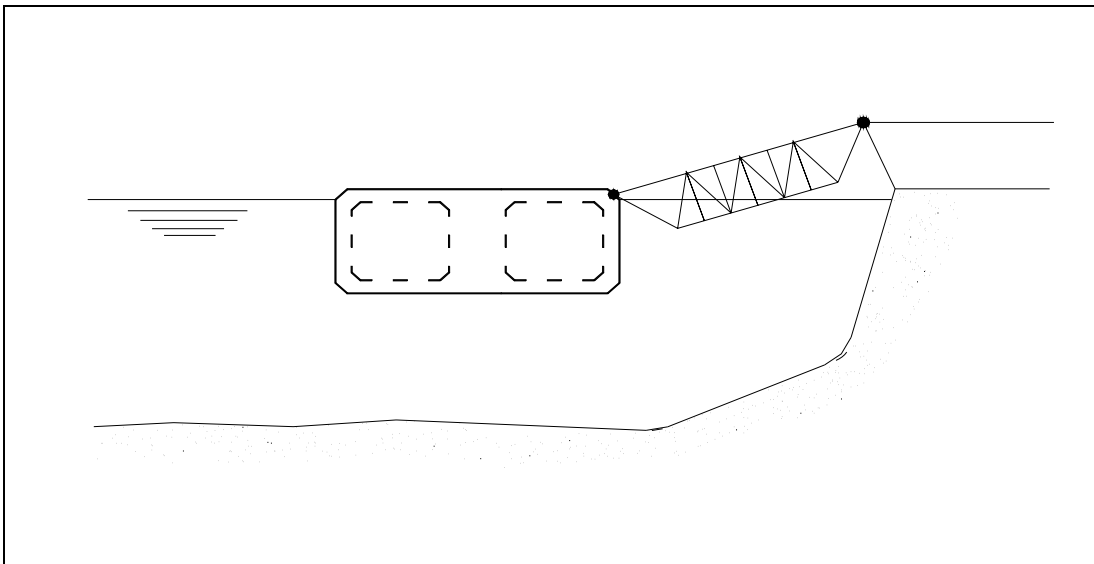


Figura 4-10: Rotulado

CAPÍTULO 5: ADITIVOS Y CORROSION

5. ADITIVOS Y CORROSION

5.1. MECÁNICA DE LA CORROSIÓN

Se define la corrosión, como la alteración destructiva de un metal por reacción con el medio ambiente. Los daños del agua de mar sobre el hormigón los provocan principalmente el sulfato de magnesio, el cloruro de magnesio, y el dióxido de carbono. El agua se introduce en la masa de hormigón por las grietas y poros (por capilaridad) disolviendo y eliminando el yeso, la cal y los aluminatos que encuentra. Cuando este proceso de lixiviación¹ ha terminado, la masa penetrada por el agua salada (y en cierto modo también ésta) dejan de ser alcalinas y en las zonas donde el material posee reacción ácida ataca al acero de las armaduras cuya oxidación acompañada de un aumento de volumen provocando el desprendimiento del recubrimiento de hormigón. Este proceso de oxidación, resulta de la propiedad que tiene el hierro, como todos los metales no nobles, de descomponer el agua; el hidrógeno se combina con el hierro en forma de hidróxido, que se combina con el hierro en forma de hidróxido ferroso, el cual, por fijación del óxido del agua, da óxido férrico hidratado. Así como en otros metales (el aluminio por ejemplo) la capa de óxido que se forma es homogénea y protege el resto del metal contra la oxidación ulterior; en el hierro, esta capa es porosa y laminar (herrumbre u orín) y la humedad al penetrar constantemente por los intersticios de la herrumbre, sigue destruyendo al metal, hasta su total desintegración.

Naturalmente, la penetración del agua y en consecuencia su ataque, se produce en hormigones porosos o fisurados.

¹

5.2. TEORÍA ELECTROQUÍMICA DE LA CORROSIÓN

Según esta teoría, la causa principal y fuerza que hace progresar la corrosión, es la diferencia de energía libre entre el metal refinado (acero) y los minerales de donde se ha extraído (hierro) o los compuestos que se forman como resultado de la corrosión misma, siendo frecuente que éstos sean los mismos que aquellos. Esto sucede en el caso del hierro, en que los óxidos (minerales) de los cuales se extrae el metal tienen casi la misma composición que la herrumbre que se forma con la corrosión. Por tanto, el proceso de corrosión supone un retroceso de los metales refinados a sus minerales de partida. Al corroerse el metal, se ioniza y adquiere cargas eléctricas positivas, según las fuerzas de valencia de cada caso. Pueden medirse diferencias de potencial y flujo de corriente entre áreas discretas de una superficie del mismo metal o entre metales distintos, dentro de un ambiente corrosivo.

Esto supone la existencia de un ánodo, donde la corriente abandona el metal; de un cátodo por donde entra; un electrolito (agua marina) que transporta la corriente eléctrica entre ambos electrodos y un camino metálico, para trasladar los electrodos en la parte del circuito que queda fuera del electrolito.

La relación entre la energía libre del metal y la de sus productos de corrosión es tal, que mayoritariamente la reacción es espontánea y sobreviene a gran velocidad. Sin embargo, posteriormente estas velocidades de reacción disminuyen, por la formación de productos de corrosión adheridos, que son insolubles en el medio que se forman o en otros en los que pueden situarse a continuación; estos productos actúan como una barrera y la velocidad de todo ataque posterior, está determinada por las velocidades de difusión, relativamente bajas, del metal a través del producto de corrosión hasta alcanzar el líquido corrosivo o viceversa.

5.3. FORMAS DE CORROSIÓN

Corrosión de Tensión

Combinación de efectos de corrosión de un medio determinado y de las fuerzas tensoras aplicadas o internas: según la naturaleza del metal, las roturas pueden ser intercristalinas o transcristalinas.

Corrosión por fatiga

Combinación de efectos de corrosión y de las tensiones cíclicas: estas fracturas son típicamente transcristalinas.

Corrosión Intergranular

Originada por el ataque preferente, sobre o alrededor, de una fase o compuesto que ocupa la superficie de los gránulos.

Picaduras

Producto de la acción de corrientes locales en las soluciones de continuidad de la película protectora o pasivadora, debajo o alrededor del depósito, con lo que se establecen pilas de concentración.

5.4. CARACTERÍSTICAS DE LA CORROSIÓN EN AMBIENTE MARINO

La acción galvánica, origen de la corrosión, se establece entre regiones de diferente grado de concentración de sal, formándose ánodos y cátodos que originarán, de acuerdo a su concentración, una corrosión acelerada.

Las diferencias en el grado de concentración de la sal, provienen de las diferencias en el monto de las salpicaduras en el área expuesta, y las diferencias de permeabilidad de los distintos sectores del hormigón.

La sal penetra en el hormigón, por depósito y capilaridad en el sector de la amplitud de mareas (el más crítico) o bien, disuelta en el agua de amasado y curado o como depósito en los agregados (por ejemplo, producción de una cantidad muy cercana al mar).

Luego, el proceso pasa por dos etapas: el cloruro de magnesio, tiende a reducir al valor del pH en las inmediaciones de la armadura y la sal, disuelta en diferentes grados de concentración en el agua libre contenida en el hormigón, establece baterías galvánicas. Cuando el pH es reducido a valores bajo 11, la corrosión puede comenzar.

Una vez establecidas estas pilas galvánicas, es poco menos que imposible detener la acción galvánica completamente, a causa que los ánodos y cátodos pueden establecer y cerrar circuitos, desplazándose, de acuerdo a como son hechas las reparaciones o cubrimientos del hormigón deteriorado.

Por tanto, lo más recomendable es: hacer un hormigón denso e impermeable y libre de fisuras. Se deberá buscar una concentración de cloruros en las mezclas, lo más baja posible, de modo que se deberá usar, agregados libres de sal, que el agua de amasado y de curado no contenga cloruro y se deberá prohibir el uso de aditivos que contengan cloruros.

5.5. EFECTO DEL CEMENTO EN LA CORROSIÓN

Recientes estudios enfatizan que el cemento elegido, deberá proveer el suficiente hidróxido de calcio durante la hidratación, con el objeto de neutralizar la persistente acción del dióxido de carbono del aire y así, mantener un alto pH en la superficie del acero.

También, el contenido de Ca_3Al , Aluminato Tricálcico, es importante en el cemento, ya que reduce el contenido de cloruro en el hormigón. Desde el punto de vista de la corrosión del acero, es deseable no reducir en exceso el contenido de Ca_3Al ; aunque un alto contenido de Ca_3Al , producirá un hormigón susceptible al ataque químico.

Por lo dicho, un cemento con un moderado contenido de Ca_3Al , es la más apropiada elección para un hormigón marino.

En suma, las estructuras marítimas de hormigón armado, deberán ser protegidas contra la penetración del agua y rocío del ambiente marino, usando un hormigón especialmente denso e impermeable, además de un recubrimiento de un espesor suficiente.

Los cementos, agua de amasado, y aditivos, deberán ser seleccionados de modo que provean y aseguren la mantención de un valor alto de pH en la superficie de las armaduras de acero, embebidas en el hormigón

5.6. ADITIVOS

Se debe tener en cuenta que a veces no solo basta con los componentes naturales del hormigón para lograr las características deseadas, para ello es que se han creado una gran variedad de aditivos, los cuales le entregan al hormigón, características necesarias para que cumpla con la función deseada y/o proyectada.

A continuación se dan las características de los aditivos (de la marca Sika) que se utilizan en hormigones marítimos o utilizados en ambiente sumergido.

5.6.1. Sikacrete W.

Este es un aditivo en polvo, compuesto por microsilíce (Silica Fume) de alta calidad y aditivos especiales que, adicionado a la mezcla de hormigón o mortero, disminuye el lavado del cemento en el vaciado de la mezcla bajo agua. Este aditivo no contiene cloruros y puede utilizarse en hormigones y morteros en conjunto con un superplastificante para obtener la fluidez necesaria para la colocación del hormigón.

Dentro de las propiedades que cuenta este aditivo, se encuentran:

- Disminuye la pérdida de cemento y elementos finos en el hormigonado bajo agua.
- Aumenta la resistencia mecánica.
- Aumenta la impermeabilidad.
- Aumenta la resistencia química.
- Aumenta la adherencia al acero.
- Permite utilizar mezclas altamente fluidas con alta cohesión.
- Aumenta la cohesión y disminuye la exudación de la mezcla fresca.
- Aumenta la durabilidad frente a agentes agresivos.
- Aumenta la resistencia a la abrasión.

El modo de empleo consiste en aplicar una dosis de 10% del peso del cemento, adicionado conjuntamente con el aditivo Sikament FF-86 o Sikament 10 en dosis de 1 a 2 % del peso del cemento. La dosificación del hormigón se realiza de acuerdo a la práctica normal para hormigonado bajo el agua o para la aplicación que se requiera.

A continuación se muestran algunas gráficas de las mejoras que experimenta la mezcla al utilizar este aditivo

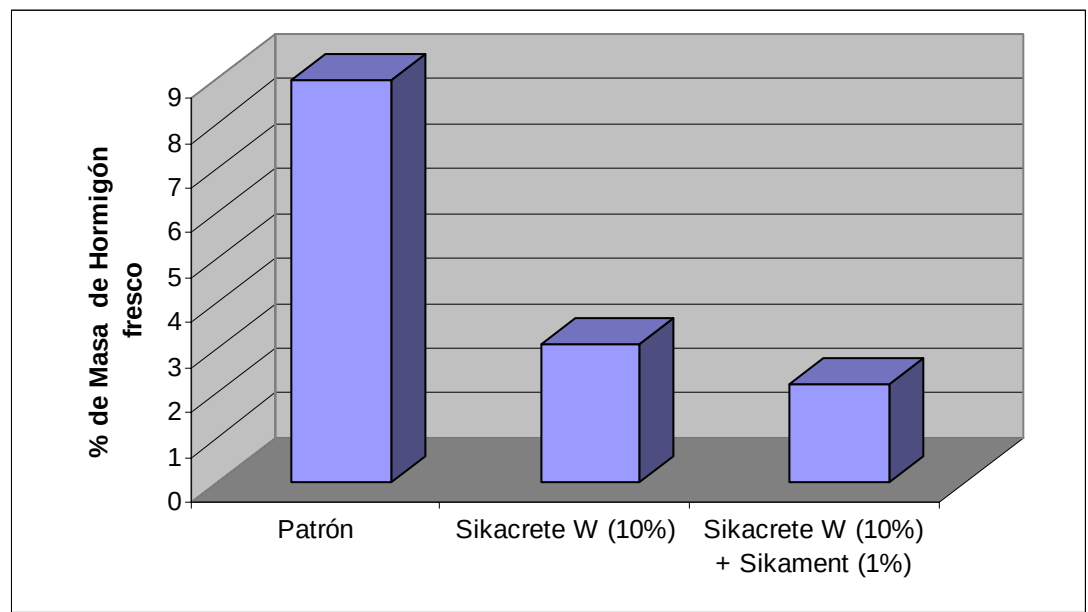


Figura 5-1: Grafico de perdida de masa de hormigón con aditivos, por vaciado bajo agua.

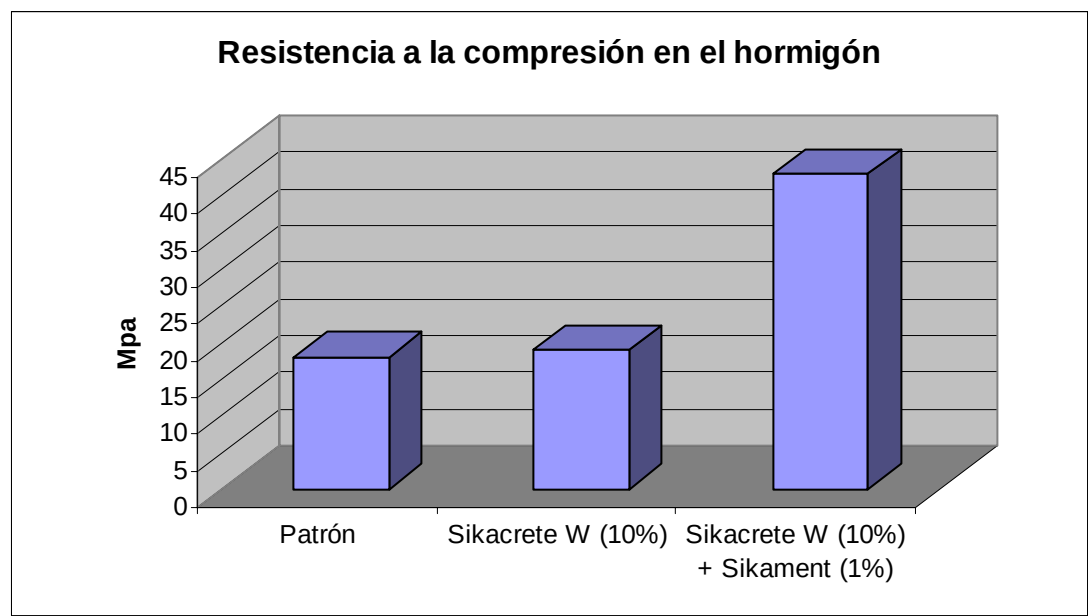


Figura 5-2: Grafico de resistencia a la presión en el hormigón con aditivos.

5.6.2. Sikament FF-86

Este aditivo es un producto sintético de color café oscuro, con una densidad de 1.22 (kg/dm³), que produce en el hormigón una consistencia superfluida, o permite trabajar con una fuerte reducción de agua de amasado. No contiene cloruros, no es tóxico, cáustico ni inflamable. Este producto es aniónico, esto significa que al ser absorbido por las partículas del cemento, les confiere una carga eléctrica negativa, produciendo su separación, permitiendo con esto una hidratación completa de los granos de cemento, sin efectos secundarios.

Dentro de las propiedades que se le pueden destacar a este aditivo se tienen:

- Consistencia fluida sin disminución de resistencia mecánica.
- Calidad homogénea, es decir, mínima segregación y exudación.
- Disminución notable de las retracciones y tendencias a la fisuración.
- Incremento de la impermeabilidad, durabilidad y resistencia al ciclo hielo-deshielo.
- Confiere al hormigón una superficie de excelente calidad y permite realizar formas complicadas.
- Aumento de la productividad de la faena de hormigonado, facilidad de colocación, compactación y terminaciones superficiales.
- Mejora substancialmente las características del hormigón bombeado, reduciendo las presiones de bombeo y aumentando considerablemente el rendimiento del equipo.
- Hormigón de altas resistencias iniciales y finales debido a la fuerte reducción de agua (15 a 20%).

La forma en que se emplea este aditivo es la siguiente; se aplica en dosis de 0,5 a 1,5% del peso del cemento, se puede agregar diluido en el agua de amasado, pero para un

mejor resultado se recomienda incorporarlo al final del amasado. El hormigón debe tener inicialmente la cantidad de agua necesaria para obtener un asentamiento de cono de 6 a 8 cm., para que una vez agregado el aditivo se obtenga un asentamiento de 20 cm. Esta acción fluidificante se mantiene durante 45 a 60 minutos. En caso de atraso en la colocación del hormigón, podrá agregarse una nueva dosis y remezclar, para prolongar el efecto.

A continuación se muestran algunos datos técnicos, para distintos tipos de hormigón:

a.- Hormigón fluido:

Los datos que se muestran a continuación corresponden a un hormigón de composición adecuada para hormigón fluido, con 350 (kg/m3) de cemento corriente y agregados clasificados provenientes del Río Maipo.

Tabla 5-1: Esgurrimiento, sentamiento de cono y resistencia a la compresión de un hormigón fluidificado con diferentes dosis de aditivo.

Hormigón	A/C	Aditivo %	Cono (cm)	Din	Aire %	Res. compresión (kg/cm2)		
						R3	R7	R28
Patrón	0,49	-	6,0	32	1,1	115	172	318
Sikament	0,49	0,5	19,0	43	0,5	129	190	325
Sikament	0,49	0,8	21,0	47	0,4	128	196	339
Sikament	0,49	1,0	23,0	51	0,4	130	201	344
Sikament	0,49	1,5	25,0	61	0,4	133	178	333

Fuente: manual sika 2001

De la tabla anterior se hace evidente que el mejor porcentaje de aditivo es el del 10%, ya que confiere una resistencia mayor y un escurrimiento moderado, esto acompañado de una buena trabajabilidad (cono 23 cm.).

b.- Hormigón con reducción de agua:

En este caso se disminuye la razón agua cemento en conjunto con el aumento del % de aditivo, para ver su efecto sobre la resistencia del hormigón:

Tabla 5-2: Efecto sobre la resistencia

Hormigón	A/C	Aditivo %	Cono (cm)	Din	Aire %	Res. compresión (kg/cm2)		
						R3	R7	R28
Patrón	0,49	-	6,0	32	1,1	115	172	318
Sikament	0,44	0,5	8,0	33	1,0	171	190	389
Sikament	0,42	0,8	8,0	30	1,1	184	196	431
Sikament	0,41	1,0	5,0	28	1,5	249	178	454

Fuente: manual sika 2001

En este caso también se puede evidenciar que la combinación perfecta sería la que se da al 10% de aditivo y razón agua cemento 0.41.

c.- Efectos sobre la permeabilidad al agua

Para investigar sobre la permeabilidad el hormigón, se realizaron ensayos según la norma DIN 1048, en que se someten probetas de hormigón a 32 horas en ambiente húmedo a 7 atmósferas de presión.

El cuadro que se muestra a continuación señala los resultados obtenidos:

Tabla 5-3: Efectos sobre la permeabilidad

Hormigón	A/C	Aditivo %	Din	Penetración de agua (mm)		
				Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
Patrón	0,51	-	37	128	85	106
Sikament	0,48	0,5	37	18	21	20
Sikament	0,42	1,0	37	9	11	10

Fuente: manual sika 2001

Según el cuadro de resultados se puede apreciar claramente que la presencia del aditivo impide substancialmente la penetración del agua.

5.6.3. Sikament NF (superplastificante)

Este aditivo es un líquido de color café de densidad 1,17 (kg/dm3) y su función es reducir el agua en la mezcla. Además le confiere una consistencia superfluida o permite trabajar con una fuerte reducción en el agua de amasado. No contiene cloruros, no es tóxico, cáustico ni inflamable.

Dentro de las propiedades que se pueden destacar de este aditivo, se tienen:

- Consistencia fluida sin disminución de resistencia mecánica.
- Hormigón de altas resistencias iniciales y finales debido a la fuerte reducción de agua (15 a 25%).
- Incremento de la impermeabilidad, durabilidad y resistencia mal ciclo hielo-deshielo.
- Confiere al hormigón una superficie de excelente calidad y permite realizar formas complicadas.
- Aumento de la productividad de la faena de hormigonado, facilidad de colocación, compactación y terminación superficial.
- Mejora substancialmente las características del hormigón bombeado, reduciendo las presiones de bombeo

y aumentando considerablemente el rendimiento del equipo.

Dentro del campo de aplicación de este aditivo, se cuentan los hormigones fluidos y los de alta resistencia, a continuación se muestran los distintos efectos en cada uno:

Hormigón fluido

- Reducción del tiempo de colocación del hormigón.
- Colocación del hormigón con una pequeña vibración en los lugares con gran cuantía de acero o poco accesibles.
- Rapidez en la colocación del hormigón bombeado.
- Trabajos de hormigonado bajo el agua mediante el sistema de tubo-tolva. Con relación al hormigón tradicional vertido bajo agua, el hormigón con aditivo posee la ventaja de extenderse de 5 a 6 m., sin ninguna ayuda especial.
- Estas cualidades también se pueden obtener en morteros y lechadas de inyección, utilizadas en la reparación de estructuras marítimas.

Hormigón de alta resistencia.

- Aceleración del desarrollo de las resistencias mecánicas del hormigón.
- Obtención de hormigones compactos, impermeables y resistente al ciclo hielo-deshielo.
- Reducción de los plazos de desencofrado, por cuanto se obtienen elevadas resistencias iniciales.
- Reducción de los tiempos de destensado en los pretensazos.
- Reducción de los tiempos de curado mediante tratamientos térmicos.

La forma en que se emplea este aditivo es la siguiente; se aplica en dosis de 0,5 a 1,5% del peso del cemento, se puede agregar diluido en el agua de amasado, pero para un mejor resultado se recomienda incorporarlo al final del amasado. El hormigón debe tener inicialmente la cantidad de agua necesaria para obtener un asentamiento de cono de 6 a 8 cm., para que una vez agregado el aditivo se obtenga un asentamiento de 18 a 20 cm.

5.6.4. Sika Ferrogard 901 (inhibidor de corrosión)

Este aditivo es una combinación de inhibidores orgánicos e inorgánicos de corrosión de las armaduras de acero, insertas en el hormigón. Mediante su acción se aumenta considerablemente la vida útil de los elementos de hormigón armado.

Dentro de las propiedades que posee este aditivo se cuentan:

- La función doble de protección anódica y catódica. El aditivo actúa formando una película protectora sobre la superficie del acero e impide la disolución del metal.
- Protege especialmente contra la corrosión causada por cloruros.
- No tiene efectos negativos sobre la trabajabilidad y resistencia del hormigón.
- No afecta el tiempo de fraguado ni la homogeneidad del hormigón.

Las aplicaciones que se le pueden dar a este aditivo, son especialmente en hormigones en ambientes propicios para la corrosión de armaduras, como lo son los utilizados en estructuras marítimas.

El modo de uso del aditivo es en una dosis de 3% del peso en cemento. Éste se puede adicionar en conjunto con el agua de amasado o directamente en el camión mixer, remezclando un minuto por cada m³ de hormigón.

5.6.5. Sikacrete 950.

Es un aditivo viscoso de color gris, con densidad de 1.4 (kg/dm³). Este aditivo se basa en microsílíce de alta pureza (Sílica Fume) que, combinado con superplastificante, produce máxima resistencia mecánica, alta impermeabilidad y durabilidad del hormigón. En la mezcla fresca se produce una alta cohesión, una reducción de exudación y una mayor trabajabilidad.

Dentro de los beneficios que nos da la utilización de este aditivo, se cuentan:

- Permite obtener máxima impermeabilidad.
- Si se combina con un superplastificante, permite obtener la máxima resistencia mecánica en el hormigón.
- Aumenta la cohesión interna de la mezcla.
- Disminuye la exudación.
- Aumenta la resistencia química.
- El hormigón es más uniforme y compactado.
- Mayor protección contra la corrosión.
- Disminuye la cantidad y tamaño de poros en el mortero y hormigón.
- Se logra una mayor cantidad de compuestos hidratados en el hormigón.

La mejor forma de utilizar este aditivo, es aplicando una dosis comprendida entre los 5 y 30% del peso del cemento, según las características deseadas de la mezcla. La dosis exacta debe determinarse mediante ensayos previos con los materiales a utilizar en la faena. Para obtener alta resistencia mecánica debe utilizarse conjuntamente con el aditivo superplastificante Sikament FF-86.

La aplicación directa es sobre el agua de amasado.

5.6.6. Fro-Be (incorporador de aire)

El Fro-Be es un aditivo de color café, con una densidad de 1,4 (kg/dm³), que es elaborado a base de agentes tensoactivos, ligeramente más viscosos que el agua, que adicionado al hormigón, genera microburbujas que se reparten uniformemente.

Este aditivo confiere al hormigón las siguientes características:

- Permite un aumento en la trabajabilidad y/o una disminución en el agua de amasado.
- Reduce la segregación en el hormigón, especialmente en las faenas de transporte.
- Reduce la exudación en el hormigón.
- Incrementa la cohesión interna de la masa del hormigón.
- Permite reducir el tiempo de vibración y colocación.
- Incremento de las resistencias a ciclos hielo-deshielo.
- Incrementa la impermeabilidad.

La forma de utilización del aditivo, es aplicando una dosis que comprenda entre 0, y 1, por mil, referido al peso del cemento. El aditivo se agrega diluido en el agua de amasado.

CONCLUSIONES

En la etapa de diseño de un hormigón, la dosificación de sus constituyentes es de gran importancia, ya que de ella dependen cualidades fundamentales en el hormigón fresco y fraguado.

Si se desea obtener un hormigón trabajable se necesita controlar la forma del árido a utilizar. Si es parecida a una esfera o a un cubo, dependiendo del tipo (canto redondeado o chancado), se mejora la trabajabilidad. También se puede aumentar la cantidad de agua, acarreado porosidad y lavado en la colocación, por lo que se recomienda el uso de aditivos incorporadores de aire, lo que hace un hormigón más trabajable y más denso, manteniendo una cantidad de agua razonable (sin consecuencias dañinas).

Si se desea impermeabilidad. Lo recomendable es aumentar la cantidad de cemento en la mezcla y agregar aditivo incorporador de aire. El agregar cemento hace que la mezcla no se deslave en la colocación, lo que evita poros y por tanto capilaridad (fomenta la corrosión). El aditivo incorporador de aire ayuda a que las partículas de cemento se mezclen con el agua, así aprovechando toda el agua incorporada y por ende una disminución de los poros.

En el caso del hormigonado submarino, se debe tener en cuenta que el mayor de los problemas que se genera es el lavado del hormigón fresco. Por ello que se debe tener un debido cuidado en la dosificación del hormigón y una correcta forma de hormigonar. Para ello se debe tener en cuenta el estado del mar el cual debe tener la paciencia para que las condiciones marinas sean las apropiadas, tales que la corriente marina no destruya los moldes ni deslave el hormigón colocado. También se debe tener en cuenta la seguridad de los buzos que ejecutan la faena de hormigonado.

BIBLIOGRAFÍA

"Estudio de Hormigones Marítimos", Rafael Quezada Iturrizagastegui, 1989.

"Estructuras Marinas de Hormigón", Seminario Instituto Chileno del Hormigón, 2000.

Manual único de productos Sika, 1999.

Código de diseño en Hormigón Armado (ASCI 318 -95).

ROJAS CAZALUETA, OSCAR., "Control de Hormigón Bajo Agua", Nova, Vol. 1, 64 - 68 (2002).

"Dinámica y mecánica de suelos", Víctor Sánchez-Girón Renedo, 1996

"Diseño simplificado de concreto reforzado", Harry Parker, 2001

"Influencia del agua en la corrosión del concreto reforzado", Salón y Raphael, 1959

www.sika.cl

www.geosal.cl

www.impromec.cl