

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Civil



**METODOS DE COLOCACIÓN DE CONCRETO
BAJO AGUA Y APLICACIONES EN OBRAS
PORTUARIAS**

TESIS

**Para optar el título profesional de:
INGENIERO CIVIL**

BALDWIN ALEX MELENDREZ ROMERO

**LIMA - PERU
2002**

INDICE GENERAL

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTO	II
INDICE GENERAL	III
INDICE DE TABLAS	X
INDICE DE FIGURAS	XII
PROLOGO	1
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	2
1.1 Antecedentes.	4
1.2 Estado del arte	4
1.3 Objetivo general específico	5
CAPITULO II: SELECCIÓN DEL METODO	6
2.1 Introducción	6
2.2 Bolsas o <i>Bagwork</i>	7
2.2.1 Características	8
2.2.2 Colocación	8
2.2.3 Aplicación	9
2.3 Cajones	10
2.3.1 Características	10
2.3.2 Colocación	10
2.3.3 Aplicación	11
2.4 Tremie	11
2.4.1 Características	12
2.4.2 Colocación	13
2.4.3 Aplicación	15

2.5 Hidroválvula	16
2.5.1 Características	16
2.5.2 Colocación	16
2.5.3 Aplicación	17
CAPITULO III: CONCRETO Y MATERIALES: ARENA, PIEDRA, MATERIALES CEMENTOS Y/O ADITIVOS	18
3.1 Introducción	18
3.2 Selección del material	19
3.2.1 Materiales cementosos	19
3.2.2 Materiales resina-base	19
3.3 Concreto	21
3.3.1 Cemento	21
3.3.2 Agregado	22
3.3.3 Agua	24
3.3.4 Aire	24
3.3.5 Adicionantes y/o aditivos	25
3.3.6 Aditivos de no dispersión o <i>anti-washout</i> (AWA)	27
3.3.6.1 Introducción.	27
3.3.6.2 Composición del <i>anti-washout</i>	28
3.3.6.3 Características de las propiedades de concretos y las ventajas de la no dispersión.	29
3.3.6.4 Algunos ejemplos de aditivos <i>anti-washout</i> en el mercado mundial.	29
1) Hydrocem	30
2) Mellose	30
3) Rheomac UW-450	31
3.4 Morteros cementosos y lechadas	32
3.5 Prevaciado de concreto agregado	33
3.6 Morteros de resina y lechadas	35

3.7 Ensayos realizados con aditivos Sika Viscocrete 3	38
3.7.1 Introducción	38
3.7.2 Diseño y resultados	40
3.7.3 Análisis de los resultados	42
CAPITULO IV: COLOCACIÓN DEL CONCRETO.	44
4.1 Introducción	44
4.2 Tapa y/o sello	44
4.3 Bombeo	46
4.4 Colocación del concreto no-dispersión	48
4.5 Autonivelación	50
4.6 Prevaciado de concreto agregado o prevaciado de agregados	50
4.7 Colocación del concreto dentro de un encofrado flexible	52
CAPITULO V : CONTROL, INSPECCIÓN Y SUPERVISIÓN.	54
5.1 Introducción.	54
5.2 Inspección.	54
5.2.1 Método de inspección.	54
5.2.1.1 Los buzos.	55
5.2.1.2 Vehículos operados a control remoto (ROV)	57
5.2.2 Limpieza de estructuras de concreto	57
5.2.2.1 1 Inspección y clasificación de suciedad o manchas	58
5.2.2.2 Métodos de limpieza	61
5.3 Técnicas de la inspección	61
5.3.1 General	61
5.3. 1.1 Inspección visual	62
5.3.1.2 Cortar en el centro del corazón	62
5.3.1.3 Probando otras técnicas	62
5.3.1.4 Comprobación no-destructiva (NDT)	63

5.3.2 Técnicas de la inspección sobre agua	64
5.3.3 Inspección bajo agua	65
5.3.3.1 Inspección visual	65
5.3.3.2 Comprobación no-destructiva bajo agua (NDT)	69
5.4 Informe de la inspección y grabación	72
5.4.1 Procedimientos de información.	72
5.4.2 Procedimientos de la grabación	73
5.4.3 Calificaciones de la inspección	73
5.5 Control y monitoreo para el vaciado en el sistema tremie	75
5.6 Inspección de reparaciones	76
5.6.1 Procedimientos	76
5.6.1.1 Técnicas de la inspección.	77
5.6.1.2 Inspección durante la construcción.	77
5.6.1.3 Inspección de la post-construcción.	77
5.6.2 Documentación	78
CAPITULO VI: CONCRETO ESTRUCTURAL EN AMBIENTE MARINO	79
6.1 Introducción.	79
6.2 Referencia histórica	79
6.3 El ambiente marino en el Perú	82
6.4 Concepto general	85
6.5 Ataque químico	87
6.6 Corrosión de acero de refuerzo	88
6.7 Características del concreto estructural en obras marinas.	89
6.8 Ventajas y limitaciones	91
CAPITULO VII : COMENTARIOS ACI PARA LA SELECCIÓN DEL CEMENTO, DEL CONCRETO Y PARA EL VACEADO DEL CONCRETO PARA EL SISTEMA TREMIE.	93
7.1 Introducción.	93

7.2 Comentario del ACI para la selección del cemento.	93
7.2.1 Del Comité 318	93
7.2.2 Del Comité 357	95
7.3 Comentario del ACI para el proporcionamiento del concreto.	96
7.3.1 Del Comité 318	96
7.3.2 Del Comité 357	97
7.4 Comentario del ACI para el vaciado de concreto con el sistema tremie.	100
CAPITULO VIII : REPARACIÓN DE CONCRETO BAJO AGUA.	102
8.1 Introducción.	102
8.2 Acceso al sitio de la reparación.	102
8.2.1 Barrera reteniendo el agua.	104
8.2.2 Caisson atmosférico	104
8.2.3 Hábitat seco sobrepresionado.	105
8.2.4 Buzo de libre natación.	105
8.2.5 Hábitat húmedo.	107
8.3 Preparación del concreto y refuerzo.	107
8.3.1 Preparación de la superficie	108
8.3.2 Extracción del concreto.	109
8.3.2.1 Alta presión en chorro de agua.	110
8.3.2.2 Corte mecánico	111
8.3.2.3 Técnicas de fraccionamiento o resquebrajamiento	111
8.3.3 Extracción del concreto reforzado	113
8.3.4 Corte del refuerzo	114
8.3.4.1 Corte mecánico	114
8.3.4.2 Corte de Oxy-hidrógeno	115
8.3.4.3 Corte del Oxy-arco	115
8.4 Técnicas de reparación para el concreto	115
8.4.1 Reparación de la superficie astillada	115

8.4.2 Reparación de gran escala	119
8.4.3 Prevaciado de concreto agregado	120
8.4.4 Inyección	121
8.4.5 Mortero lanzado (shotcrete)	123
8.4.6 Manga de acero	124
8.5 Refuerzo de reparación.	126
8.5.1 Unión o empalmes	127
8.5.2 Soldadura	127
8.5.3 Enganches del refuerzo	128
8.5.4 Plancha de acero externo	129
8.5.5. Las reparaciones a los tendones pretensionado	130
8.6 Ejemplo de reparación de concreto bajo agua.	133
8.6.1 Rehabilitación del Muelle N° 1 del Terminal Marítimo de Chimbote	133
8.6.1.1 Procedimiento constructivo de las reparaciones de pilotes	134
8.6.2 Otro ejemplo de caso típico en reparaciones de pilotes	137
 CAPITULO IX : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	 139
9.1 Conclusiones.	139
9.2 Recomendaciones.	142
 ANEXO	 145
ANEXO 1: DISEÑO DE MEZCLAS.	145
1.- Introducción.	145
2.- Definición.	146
3.- Consideraciones y/o criterios para el diseño de las mezclas.	146
4.- Pasos básicos para diseñar una mezcla de concreto.	147
5.- Secuencia del principal método de diseño: Método ACI 211	151

ANEXO 2: ENSAYO DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS	158
ANEXO 3: DISEÑO DE MEZCLA POR DURABILIDAD, UTILIZANDO CEMENTO PORTLAND TIPO II Y V, ADEMÁS EL ADITIVO VISCOCRETE 3.	159
ANEXO 4: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO, UTILIZANDO CPT. II Y V, INCLUYENDO CON Y SIN ADITIVO VISCONCRETE 3.	160
ANEXO 5: INFORMACIÓN TÉCNICA DE Sika® ViscoCrete-3	162
ANEXO 6: DESCRIPCIÓN EN RESUMEN DE LAS PARTES DE LA ESTRUCTURA DEL MUELLE N° 1 EN EL PROYECTO DE “REPARACIÓN DEL PILOTAJE DEL MUELLE N° 1 DEL TERMINAL PORTUARIO DE CHIMBOTE”.	163
1.- Descripción general del Muelle.	163
2.- Descripción de la estructura.	163
ANEXO 7: PLANOS DEL MUELLE N° 1 DEL TERMINAL MARÍTIMO DE CHIMBOTE.	166
ANEXO 8: ESTUDIO DE INFORME PRELIMINAR DEL MUELLE DE CHIMBOTE, DONDE SE MUESTRA A LOS GRÁFICOS DE DAÑOS Y SU CORRESPONDIENTE FOTO DE LA INSPECCIÓN FOTOGRÁFICA.	167
BIBLIOGRAFÍA	174

INDICE DE TABLAS

CAPITULO II:

2.1 Técnicas para la construcción bajo el agua y las posibles aplicaciones	6
--	---

CAPITULO III:

3.1 Aditivos de no-dispersión.	26
3.2 Concretos, morteros, lechadas de no-dispersión.	27
3.3 Resinas epóxicas.	37
3.4 Resumen de los resultados de los ensayos a la compresión del concreto con CPT. II y CPT. V y adicionando aditivo Viscocrete3.	41

CAPITULO V :

5.1 Máximo tiempo de duraciones de buceo (según Lame, R. En su publicación <i>Commercial Diving Manual</i>).	56
5.2 Calificaciones del Buzo (REINO UNIDO HSE Regulaciones)	57
5.3 Clasificación del crecimiento orgánico marino.	59
5.4 Esquemas de certificación en las unidades del CSWIP (<i>Certification Scheme for Weldment Inspection Personnel</i>).	74

CAPITULO VI:

6.1 Porcentaje de viviendas de concreto armado en algunas provincias de nuestro litoral (Censo Nacional de 1993).	82
6.2 Composición química del agua en varios mares.	82
6.3 Contenido del ión cloruro y salinidad total en el agua de mar.	83
6.4 Temperatura y humedad relativa en centros urbanos del litoral (Fuente: SENAMHI – Oficina General de Estadística e Informática. Año 1994 - 1998).	84
6.5 Dirección predominante y velocidad media del viento de algunas ciudades (Fuente: SENAMHI. Año 1990, 1992, 1994).	84

CAPITULO VII

7.1 Requisitos para concretos expuestos a soluciones que contienen sulfatos (Publicación ACI 318-99)	94
7.2 Requisitos para la relación a/c y la mínima resistencia a la compresión a los 28 días (Publicación ACI 357-97).	96
7.3 Requisitos para las condiciones de exposiciones especiales (Publicación ACI 318-99)	97
7.4 Contenido máximo de iones cloruros para la protección contra la corrosión de la armadura (Comentario ACI 357)	99
7.5 Recubrimiento nominal del concreto para el acero de refuerzo (Comentario ACI 357)	100

ANEXO 1:

01 Volumen unitario de agua.	153
02 Contenido de aire atrapado.	153
03 Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto.	154
04 Relación agua/cemento por resistencia.	154
05 Contenido de aire incorporado y total.	155
06 Condiciones especiales de exposición.	155
07 Granulometría del agregado fino.	156
08 Requerimientos de granulometría de los agregados gruesos	157

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO I:

- 1.1 Detalle de la interfase entre el concreto y el agua. 2

CAPITULO II:

- 2.1 Enladrillado y enclavado de los bagwork por los buzos. 7
- 2.2 Llenado del *bagwork* con concreto, usando una mezcladora 9
- 2.3 Arreglo de un cajón con apertura en el fondo. 11
- 2.4 Arreglo de la unidad tremie. 12
- 2.5 Técnica del tapón viajante. 14
- 2.6 Colocación de concreto bajo agua sobre grandes áreas. 15
- 2.7 Detalle de una hidroválvula. 16

CAPITULO III:

- 3.1 Configuración del concreto con y sin Mellose. 30
- 3.2 Usando Mellose en estructuras de concreto bajo agua, como es el Gran Puente Kwang en Corea. 31
- 3.3 Puerto deportivo *Lindisfame Motor Yacht Club* (Australia) que tiene un total de 120 atracaderos e incorpora 240 pontones flotantes de concreto prevaciado. 31

CAPITULO IV:

- 4.1 Tremie con válvula aplastante. 45
- 4.2 Distribución de presión en una tubería. 47
- 4.3 Bombeo con una tubería arrastrando. 48
- 4.4 Detalles de una reparación que usa encofrado flexible. 53

CAPITULO V :

- 5.1 Poliquetos excavadores. 59
- 5.2 Mapa de densidad. 61

5.3 Zona de exposición marina de un pilote.	64
5.4 Cámara del mar con una unidad para flash.	66
5.5 Posicionamiento de la Cámara.	67
5.6 Un buzo lleva a cabo trabajos de inspección usando una cámara de CCTV casco-montada. (Foto de <i>Rockwater S.A.</i>)	68
5.7 Transductores de 82 kHz.	70
5.8 Método de densidad de corriente para detectar las grietas.	71
5.9 Descubrimiento de la grieta por medida potencial.	71
5.10 Dos métodos de supervisión de niveles en una tubería de un tremie	76
CAPITULO VI:	
6.1 Técnicas antiguas de hincado de pilotes de madera.	80
6.2 Zonas de exposición marinas de estructuras de concreto (Según P.K. Metha Publicación ACI SP-65)	86
CAPITULO VIII	
8.1 Métodos de acceso.	103
8.2 Encofrado para la reparación de resane.	117
8.3 Detalles de una reparación que usa encofrado flexible.	118
8.4 Reparación con una manga de acero.	125
8.5 Reparaciones de pretensado.	132
8.6 Reparaciones general de pilotes, para el Muelle N° 1 de Chimbote.	136
8.7 Habilitación de los encofrados metálicos para la reparación de los pilotes de los pilotes del muelle de Ilo.	137
8.8 Detalle del andamio que se utilizan para resanar los pilotes encamisetados del Muelle de Ilo.	138



PROLOGO

Con mucho agrado y satisfacción se presenta la Tesis “Métodos de Colocación de Concreto Bajo Agua y Aplicaciones en Obras Portuarias”, el cual ofrece un aporte a la Ingeniería Portuaria en el Perú, mostrando las técnicas, métodos, control y supervisión usadas para efectuar la colocación del concreto bajo agua (*underwater concrete*) y también en las reparaciones bajo agua, así como los materiales y sus condiciones de uso.

La presente investigación nace como consecuencia de la falta de información técnica suficiente para resolver los temas de interés como es el Vaciado de Concreto Bajo Agua en la Ingeniería Portuaria y constituirá un material importante para el ejercicio profesional y la formación académica; quedando en la Universidad Nacional de Ingeniería la responsabilidad de desarrollar estos temas y en general los temas de Ingeniería, mediante los jóvenes bachilleres tesistas, los cuales durante todos estos años desarrollan y muestran al Perú las nuevas innovaciones tecnológicas que se vive en este mundo cambiante y globalizado.

Por todo esto ya no existe limitaciones de conocimiento en relación a los métodos y técnicas de la Ingeniería en el Mundo, lo que posiblemente limitará será la carencia de maquinarias o equipos de laboratorio sofisticados que se utilicen, pero esto debe servir como un reto a la Ingeniería Peruana para poder innovar los métodos y técnicas, para remplazar estos instrumentos y poder obtener nuevas investigaciones a nivel de maestría y/o doctorados que reemplacen y/o complementen para así obtener un trabajo de calidad y considerando la prevención del impacto ambiental.



CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

Los vaciados de concreto bajo agua tienen un amplio rango de aplicaciones tales como son la construcción de muelles, diques, plataformas costeras, puertos, estructuras en puentes, pilotes, capas selladoras, hormigonado de cimentaciones profundas, las cimentaciones premoldeadas, etc.; también es empleado en las diferentes operaciones de reparación ejecutadas por los buzos. En general las estructuras de concreto bajo agua han sido, son y serán un reto construirlas, llamando así la atención, imaginación e ingenio a todos los especialistas en las construcciones marinas.

En las técnicas para el vaciado de concreto bajo agua se debe tener condiciones especiales para lograr resistencia e impermeabilidad semejante al colocado en seco; una de las consideraciones es asegurar que el concreto no caiga libremente a través del agua porque ocasionaría que sus componentes se disgreguen y serán depositadas separadamente la grava, arena y cemento, además dependiendo del tamaño granulométrico de los agregados, estos se hundirán a diferentes velocidades.

En la interfase entre el concreto y el agua existe una zona contaminada de material débil, debido a que el concreto que se encuentra en la parte superior, se mezcla con el agua y por consiguiente no tiene ningún valor estructural (Ver figura 1.1.)

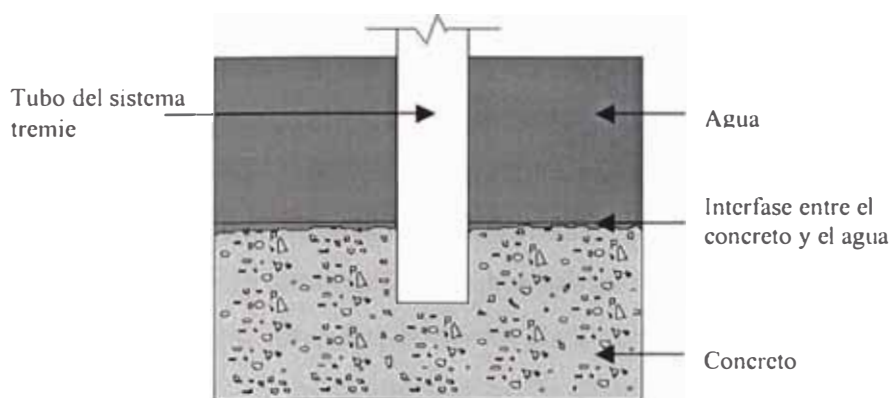


Figura 1.1 Detalle de la interfase entre el concreto y el agua.



Si este material debilitado se arrastra al corazón del vaciado, ocurrirá la debilitación de la estructura. Por consiguiente, el objetivo cuando se coloca el concreto bajo agua es de minimizar el área de contacto entre el concreto y el agua, evitando así la agitación de la superficie expuesta. Consecuentemente, el método ideal de colocación del concreto sería el de inyectar el concreto fresco en el corazón del depósito como se describe con el tradicional método tremie (ver sección 2.4) y se dejaría la capa exterior debilitada como un revestimiento sobre el vaciado. El concreto debe ser de suficiente trabajabilidad para permitir que la presión del concreto adicionado cause el desplazamiento del concreto puesto.

Se debe tener cuidado al trabajar bajo las condiciones donde se encuentren corrientes de agua con flujos de velocidades altas, porque el cemento y los finos podrían ser removidos de la superficie del vaciado, este deslave del cemento y los finos hace que el agua externa se mezcle con el concreto, produciendo la debilitación de la estructura y además la contaminación del agua circundante, pudiendo crear un serio problema de impacto ambiental. Para minimizar esta socavación del concreto, puede ser necesario desviar los flujos. Además las juntas de construcción horizontales son superficies potenciales de debilidad y serán particularmente vulnerable a erosión o abrasión; esta capa debilitada, en la cima de un vaciado, puede ser de espesor considerable y por consiguiente la capa de detrito tiene que ser quitada antes de realizar el vaciado siguiente, normalmente esto es una operación hecha por buzos y consecuentemente caro. Por consiguiente, se recomienda evitar las juntas de construcción horizontales y todo los métodos de colocación apuntan a poder realizar un vaciado continuo.

La calidad global del trabajo será afectada no solo por la calidad de los materiales, ni por la utilización de los aditivos o por los métodos con los últimos adelantos, sino dependerán finalmente por los factores como el grado de control en el momento de la colocación del concreto, siendo estas realizadas por los buzos.



1.1 Antecedentes.

El concreto fue usado por primera vez en Roma alrededor de la tercera centuria antes de Cristo y estaba compuesto de agregados unidos mediante un aglomerante conformado por una mezcla de cal y ceniza volcánica. Este material podía sumergirse en agua manteniendo sus propiedades a diferencia de los morteros de cal usados siglos antes en la antigua isla de Creta. El uso de este material en la construcción paso al olvido con la caída del Imperio Romano y no fue sino hasta mediados del siglo XVIII que su uso se extendió nuevamente.

Entre los primeros métodos de colocar el concreto bajo agua generalmente estaban en la forma de bolsas o *bagwork*, que es una extensión natural del uso de albañilería (ver sección 2.2), muchas de las estructuras antiguas se construyeron usando masa de concreto dando una alternativa versátil y económica. Varias de estas aplicaciones antiguas de vaciar concreto bajo agua se encuentran en deterioración, debido a la pobre calidad del concreto puesto y por la falta de control en la colocación.

1.2 Estado del arte

Con los adelantos en las técnicas de colocación y materiales es ahora posible vaciar concreto bajo agua con alta resistencia y calidad para reforzar a los miembros estructurales. Otra innovación en concreto bajo agua ha sido el desarrollo de un encofrado flexible (ver figura 8.3) que ha permitido la construcción de concreto relativamente delgado en abrasión de delantales y ha mantenido una técnica muy versátil en el trabajo de reparación.

En los últimos años se han desarrollado muchos aditivos, dentro los cuales tenemos el que evita el lavado del cemento en el concreto o llamado agentes de no-dispersión o estos también se conocen como *anti-washout* (antilavado o anti-deslave) o simplemente AWA (algunos de estos aditivos se muestran en la tabla 3.1), permitiendo así vaciar el



concreto a través del agua, en caída libre y sin mezclarse con el agua; otros aditivos como los plastificantes y superplastificantes son utilizados para obtener el acomodo propio del concreto puesto, es decir que tenga una auto-compactación y auto nivelación debido a su trabajabilidad (ver sección 3.3.3, se muestra diversidad de aditivos), el reacomodo propio del concreto adicionado es importante debido a que no podemos usar equipos de consolidación como vibradores, porque ocasionaría la agitación de la mezcla causada por el vibrado y la inclusión de agua y capas de detrito en la masa de la mezcla; actualmente existen en el mundo muchos aditivos AWA como por ejemplo el RHEOMAC-UW 450 que en sus especificaciones menciona que se puede vibrar por un intervalo de tiempo de un minuto, manteniéndose una mezcla cohesiva, homogénea y resistente a la segregación.

1.3 Objetivo general específico

El presente trabajo de tesis dará a conocer las técnicas, métodos, control y supervisión usadas para efectuar la colocación del concreto bajo agua (*underwater concrete*), así como para poder realizar la reparación bajo agua, de la misma manera se presentarán las características y propiedades que deben cumplir los materiales que conforman el concreto, mortero y lechadas; tales como el agregado grueso y fino, cementos, adicionantes y/o aditivos. Además se ha visto conveniente realizar ensayos a la compresión y observar las cualidades del concreto fresco, utilizando cemento Tipo II y V, para diseños con y sin aditivos, utilizando el aditivo Sika-Viscocrete3; los resultados a diferentes dosificaciones son presentados en la sección 3.7, la cual acuerdo a sus características reúne las condiciones para un vaciado de concreto bajo agua como es la facilidad de auto-compactación, baja permeabilidad e incrementa la resistencia a la compresión entre otras.



Antes de la venida de la no-dispersión, no se podía asegurar la consolidación alrededor del refuerzo simple, teniendo que ser estas con un espaciamiento ancho y de barras grandes, debido a que se formaban huecos o cangrejas en el vaciado; los métodos usados como el tremie o similares permite un vaciado sin cangrejas debido a que se tiene un espaciamiento ancho entre las barras y se pueda colocar la tubería tremie en el corazón del vaciado. La auto-nivelación y la auto-compactación de las mezclas hace más viable el uso del refuerzo. Las investigaciones y trabajos recientes desarrollados en USA demuestran ahora las diferentes posibilidades que abren al ingeniero el construir y reparar bajo el agua.

2.2 Bolsas o *Bagwork*

Bagwork probablemente es una de las técnicas más antiguas y más simples de colocar concreto bajo agua. El método es una extensión natural del uso de albañilería, teniendo estas bolsas la flexibilidad para poder amoldarse como ladrillos y así logra una buena unión, ver figura 2.1. Aunque los recientes desarrollos de concreto bajo agua han hecho parecer a esta técnica estar fuera de época, no debe descontarse como tal.

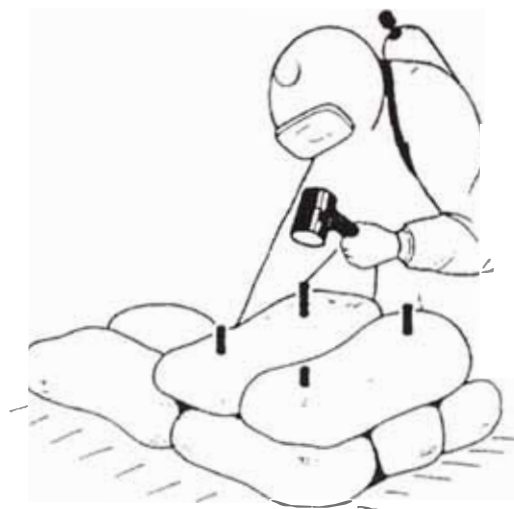


Figura 2.1.- Enladrillado y enclavado de los *bagwork* por los buzos.



CAPITULO II: SELECCIÓN DEL METODO

2.1 Introducción

El método de colocar el concreto será seleccionado en gran parte por la situación y el volumen de material a ser puesto. Como se indicó en el capítulo I, los principales problemas que tiene el concreto al colocarlo bajo agua es la segregación y el contacto entre la superficie del concreto y el agua. Las técnicas usadas para la construcción bajo el agua, y sus posibles aplicaciones, puede resumirse en cuatro grupos, como es mostrado en la Tabla 2.1.

Además con la no-dispersión del concreto, la aplicación de concreto bajo agua ha asumido una nueva dimensión, es decir ya no existe limitaciones en asegurar la calidad inherente en las técnicas más tradicionales y ahora están drásticamente reducido, logrando así nuevos tipos de concretos, la cual permite la producción de alta resistencia y calidad de los miembros estructurales.

Técnica	Aplicación
Contacto entre concreto ya colocado y aguas controladas. Se inyectar un concreto fluido en el corazón del vaciado, ejemplo: tremie, bombeado, hidroválvula.	Conveniente para masas de concreto y las secciones de concreto reforzada.
Todo contacto entre el concreto fresco y agua prevenidas, ejemplo <i>bagwork</i> , bombeado en zonas dañadas, utilizando encofrado flexibles.	Usado para apuntalar, socavaciones delantales y llenar huecos a la superficie de una estructura, apoyo de tubería y protección.
La introducción de aditivos y/o adicionantes al concreto para que sea cohesivo y tenga propiedades de autonivelación.	Conveniente para los miembros reforzados, en secciones y para encajonar en miembros estructurales.
Lechada (inyecciones cementicias), con o sin aditivos.	Precolocación de concreto agregado, inyecciones cementicias en un espacio pequeño o anillo, abertura estrecha y junta.

Tabla 2.1 Técnicas para la construcción bajo el agua y las posibles aplicaciones.



2.2.1 Características

➤ La característica del material a ser llenado el *bagwork* va a depender de la magnitud de la obra y las condiciones que se tengan y se requieran, las cuales pueden ser de:

Concreto, es una mezcla muy plástica, con un tamaño máx. de agregado de 12 mm (1/2"); este *bagwork* se llama bolsacreto.

Arena, entonces el *bagwork* simplemente se llamará bolsa de arena.

➤ Generalmente se hacen las bolsas de lona o si no de neopreno, las cuales deben ser de un tamaño de fácil manipuleo para los buzos.

➤ Las bolsas serán maleables, es decir que pueda forjarse o aplastarse en láminas para permitir que se enclaven. La pasta de cemento se rezumará a través del tejido y ayuda a que se unan entre las bolsas.

➤ Si uno sobrellena las bolsas disminuirán de la maleabilidad requerida en el funcionamiento de colocación.

2.2.2 Colocación

➤ Los *bagwork* se llenan a mano o con la ayuda de una mezcladora o de un mixer (ver figura 2.2, donde se observa el procedimiento de llenado de los *bagwork* con la ayuda de una mezcladora)

➤ Las bolsas se llevan a mano guiadas por los buzos a la zona de colocación.

➤ Las bolsas serán colocadas por los buzos, apilándolas pero alternando como al unir un enladrillado, luego ellos se clavan entre sí con longitudes cortas de refuerzo (como se puede observar en la figura 2.1).



Figura 2.2.- Llenado del *bagwork* con concreto, usando una mezcladora.

2.2.3 Aplicación

Este método de construcción es de labor intensiva pero tiene gran adaptabilidad en su aplicación.

➤ Bajo agua tempranas se diseñan proyectos usando *bagwork* para construir elementos grandes de trabajos temporales y algunos permanentes.

➤ Una aplicación común del *bagwork* es colocarlo como base en la construcción de paredes que actúa como encofrado para poder retener la masa del vaciado de concreto sobre áreas grandes (ver figura 2.6).

➤ Otra aplicación común es en la colocación del *bagwork* para formar protección en la socavación.

➤ Para el uso en pequeña escala el *bagwork* trabaja terapéuticamente dando una solución económica en la ingeniería, simple solución a muchos problemas. Dado la obligatoriedad de durabilidad, esta técnica no se compara con los métodos de colocación modernos, pero para los trabajos temporales o las soluciones a corto plazo este método debe ser considerado.



2.3 Cajones

El cajón es similar al *bagwork* de colocar concreto, los dos métodos dan un ciclo continuo de entrega. Por consiguiente, estos métodos son propensos a aparecer combinados. Se satisfacen estos métodos en colocar volúmenes relativamente pequeños de concreto.

2.3.1. Características

- Este método se complementa con los *bagwork*.
- La colocación de concreto es realizada con el mínimo de perturbación.
- El cajón debe tener lados rectos sin elafilamiento al fondo.
- Las puertas del cajón deben girar en el fondo, para permitir una descarga libre de concreto y el mezclado con el agua se minimice.
- El cajón se construye de manera que no pueda abrirse hasta que el peso del concreto este descansando en el fondo.
- Un faldón se construye a menudo alrededor del fondo del cajón para confinar el concreto cuando se coloca.
- El cajón tiene 2 fajas flexibles de lona que sirve de protección para cubrir la cima del cajón, todas las características se pueden ver en la figura 2.3, donde se muestra el arreglo de un cajón.

2.3.2. Colocación

- Se coloca el concreto en el cajón y cuando esta completamente lleno, las tapas en la cima son cerradas.
- El cajón se baja despacio en el agua, evitando así la perturbación del concreto.
- Cuando el cajón está en el fondo, las puertas se sueltan y el cajón se levanta despacio.



➤ Luego el concreto se pone en la lechada (o en la masa de concreto) previamente puesto; así logrando un grado inyección y el vaciado avanza lateralmente a través del sitio.

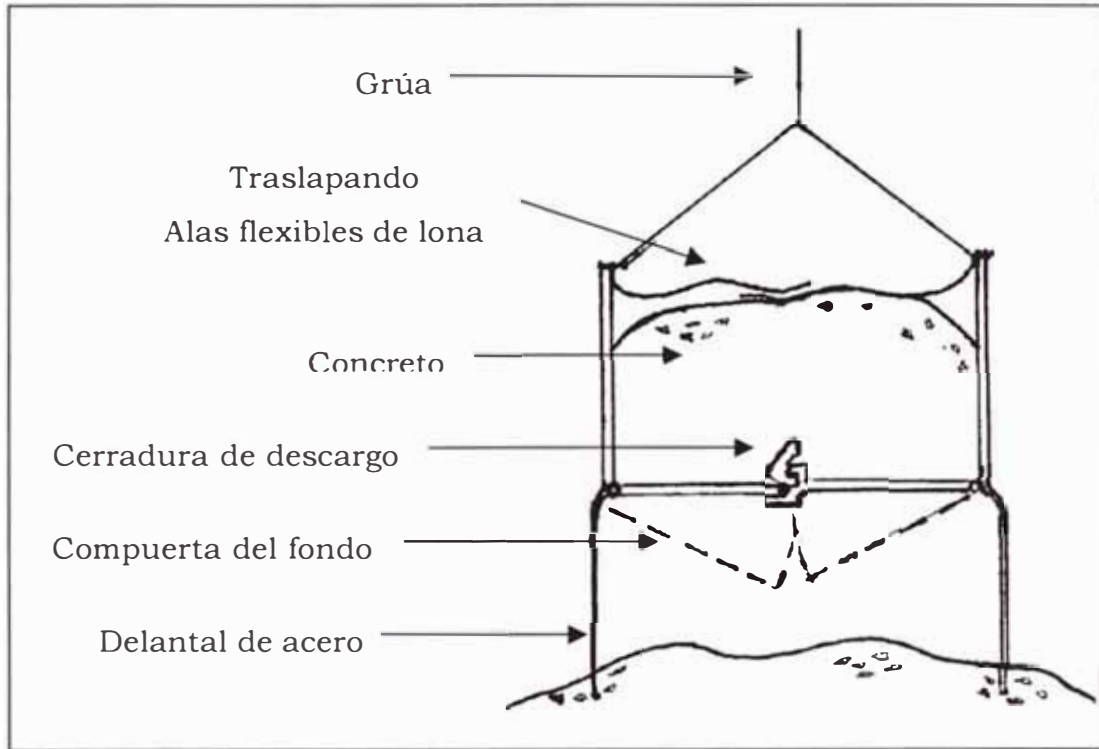


Figura 2.3.- Arreglo de un cajón con apertura en el fondo.

2.3.3. Aplicación

- Se utiliza para el colocado de un volumen exacto en cada reparto.
- Se usa para vaciados pequeños y colocación de cantidades discretas de concreto en situaciones exactas como un tapón hueco.
- Para la protección de socavación.

2.4 Tremie

Este es una de las técnicas más tradicionales usadas para la colocación de concreto bajo agua y frecuentemente el más usado en todo el mundo e inclusive en el Perú.



2.4.1. Característica

- El concreto se conduce por tuberías al sitio de colocación y por consiguiente evita la segregación e infiltración del agua.
- La técnica hace que el concreto se coloque en el corazón del vaciado y así minimiza la superficie de contacto con el agua circundante.
- El tremie consiste en una tubería de acero montada verticalmente en el agua.
- En la cima de la tubería hay una tolva metálica en tronco de pirámide cuya relación de base mayor a la menor se recomienda de 3:1, generalmente encima de ella hay un deposito fijo de alimentación que recibe el material del suministro de concreto fresco.
- El tubo tremie debe ser impermeable y también deben serlo sus uniones, las características principales de la unidad tremie aprecian en la figura 2.4.
- La integridad de los sellos en las juntas de las tuberías es esencial para asegurar que el agua no arrastre al concreto fresco durante el vaciado.

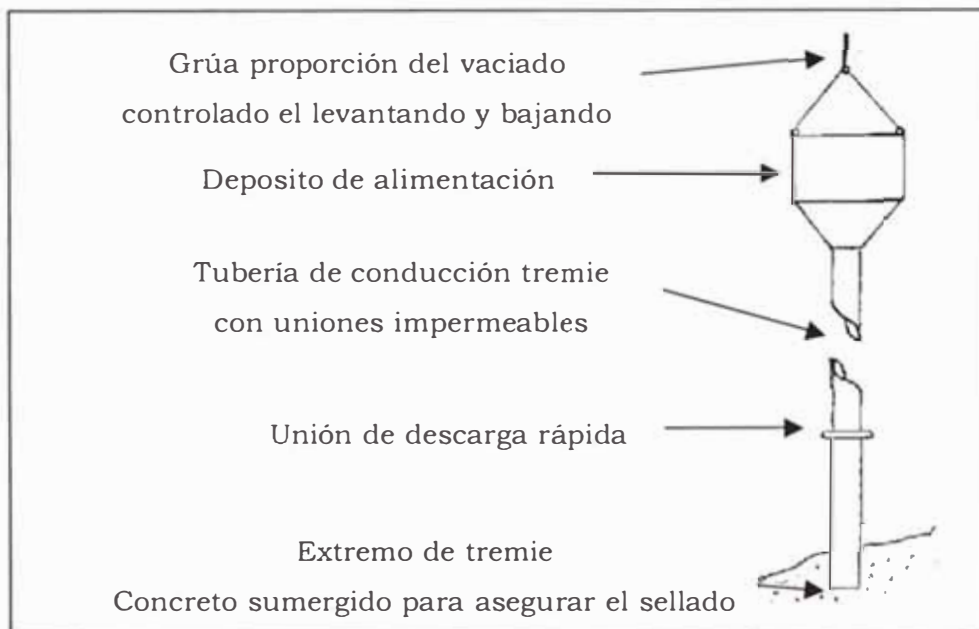


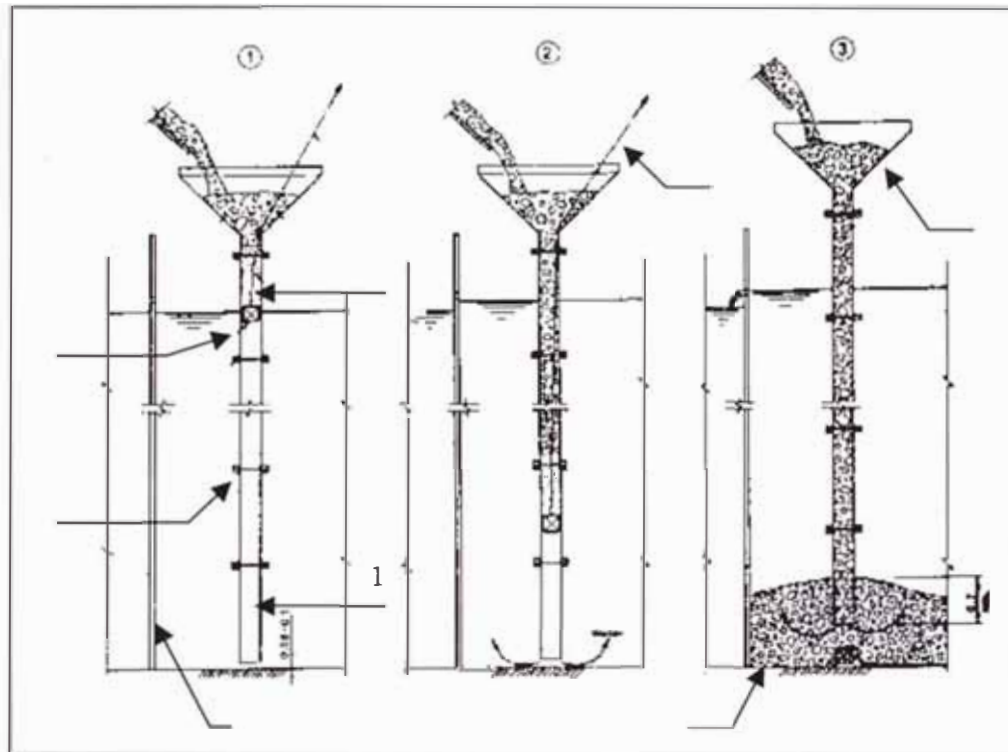
Figura 2.4.- Arreglo de la unidad tremie.



- El flujo debe ser continuo y no debe existir obstrucciones en la tubería en el vaciado, para esto el $\phi_{\text{tubería}}$ debe ser conveniente. Como caso práctico en vaciados de grandes volúmenes y donde no exista dificultad con el acero de confinamiento, es común usar $\phi_{\text{tubería}}$ de 150mm a 300mm de diámetro, para cualquier otro caso en particular se analizará el diámetro de tubería que se requiera, según condiciones.
- Para $\phi_{\text{tubería}}$ tremie de 150mm, el tamaño máximo de agregado es de $\frac{3}{4}$ " y el $\phi_{\text{tubería}}$ de 200mm para un tamaño máx. de agregado de 1 1/2".
- Existen juntas en la tubería para poder variar la longitud de la tubería tremie, lográndose mantener un buen sello.

2.4.2. Colocación

- La condición de carga inicial es importante para el funcionamiento y para controlarlo existe 2 opciones:
 1. Sellar el extremo del fondo del tubo del tremie hasta cargar por completo; esta tapa se suelta cuando la carga esta por completo y el vaciado puede comenzar. Este sello tiene que ser eficaz y no ocasionar problemas, para esto se ha encontrado el diseño y funcionamiento de las alas flexibles de lona.
 2. Usar un tapón de grúa puente, cuya función es formar una barrera entre el agua y el concreto; este tapón se pone antes de colocar el concreto en la cima de la tubería, y va bajando cuando se va llenando de concreto hasta que es enterrado por la masa de concreto o de lo contrario se recupera, ver figura 2.5 donde muestra la técnica del tapón viajante.
- Muchas veces no sirve recuperar el tapón de la masa de concreto porque los esfuerzos al quitar el tapón causan más daño que dejarlo en el lugar. Por ello se han hecho tapones móviles de plástico espumado, pelotas inflables, bolsas de concreto y sacos, y el más reciente tendencia de uso de un nuevo material llamado verniculita exfoliada. Como regla general se considera que la longitud del tapón debería ser por lo menos de 1.5 veces el $\phi_{\text{tubería}}$ tremie.



- | | | |
|----------------------|--------------------------|---------------------|
| 1.- Tubería tremie | 4.- Tapón. | 7.- Concreto tremie |
| 2.- Unión empernada. | 5.- Alambre. | 8.- Encofrado |
| 3.- Tolva. | 6.- Mezcla arena-cemento | |

Figura 2.5.- Técnica del tapón viajante.

➤ En el caso donde tengamos que colocar concreto en superficies expuesta a socavación, relleno granular o similares, es aconsejable usar como tapón en la carga inicial un plato de acero en la base de la tubería tremie, debido a que si no se utiliza la carga del concreto inicial puede socavar un hoyo y causar la pérdida del sello.

➤ Luego que se cargue la tubería se alza una distancia pequeña para permitir espacio para escapar el tapón.

➤ El tubo se baja para poner el punto de descarga en el centro del concreto puesto inmediatamente.

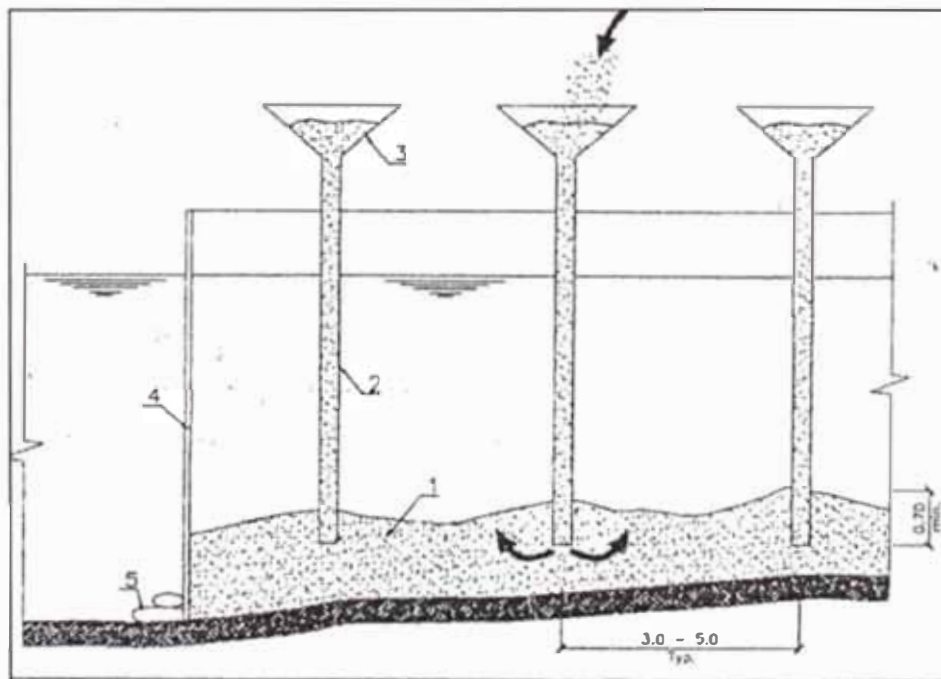
➤ Para controlar la entrega del flujo del concreto a través de la tubería, se tiene que controlar la subida y bajada de la misma, considerando que la entrega de suministro debe ser tan regular como sea posible. En algunos casos los depósitos de alimentación son sostenidos por grúas (ver figura 2.4)



- Al permitir que la entrega de suministro sea tan regular como sea posible, ocasiona que el peso propio del concreto supere a la fricción de la tubería y pueda presionar para dejar salir al concreto vaciado.
- Si la entrega de flujo se vuelve demasiado rápido a medida que se sube el tremie, existe el peligro de dejar aire arrastrado en el concreto.

2.4.3 Aplicación

- Para volúmenes grandes de concreto en una plataforma fija y flujo continuo.
- No es aconsejable realizar movimientos laterales dentro de un vaciado tremie porque podría llevar a la pérdida del sello y a la posible socavación en el centro del concreto puesto.
- Para vaciados de áreas grandes, se pondrá una red de tremie, considerando que el área aproximada por tremies es de 20 a 30 m², y mucho depende de las propiedades de concreto a usar, ver figura 2.6.



- 1.- Concreto tremie 2.- Tubería tremie 3.- Tolva 4.- Encofrado.
5.- Sacos de arena para sellar el perímetro del encofrado (Alternativamente se puede usar el *bagwork*-bolsas llenas de concreto).

Figura 2.6.- Colocación de concreto bajo agua sobre grandes áreas.



2.5 Hidroválvula

Es una técnica desarrollada en Róterdam en el año de 1972, que tiene el objetivo de eliminar los problemas del sistema tremie clásico.

2.5.1. Característica

- Es un desarrollo del sistema tremie, en la utilización de una válvula hidráulica que se opera en el extremo más bajo de la tubería.
- La hidroválvula consiste en una tubería verticalmente montada con un tubo interno, flexible y plegable, como se puede mostrar los detalles en la figura 2.7.
- Este sistema minimiza la pérdida de la tapa y facilita la discontinuidad de suministro de concreto al depósito de alimentación.

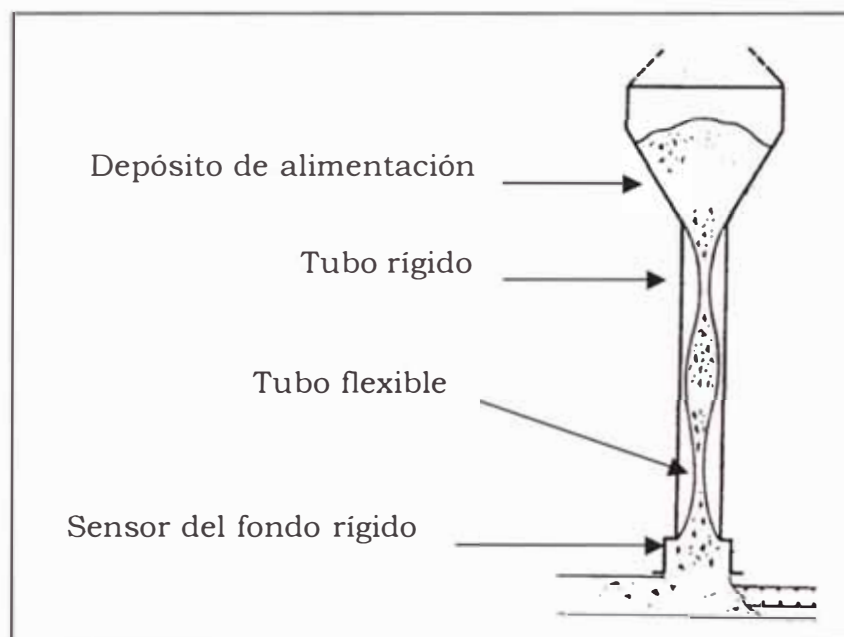


Figura 2.7.- Detalle de una hidroválvula.

2.5.2. Colocación

- En la condición inicial del tubo flexible se ha hundido debido a la presión de agua.



- Cuando se carga de concreto en la parte superior, el peso de este supera la fricción de la tubería y movimientos abajo del tubo.
- El concreto dilata el tubo flexible ocasionando que se mueva hacia abajo, el tubo se hunde después sale el tapón de concreto.
- El movimiento peristáltico del tubo flexible en la condición inicial asegura que el concreto se aisle del agua y no permita caída libre, ocasionando así que no exista segregación.
- Como la parte final de la hidroválvula es de sección rígida, después de la carga inicial se alza la tubería hasta el nivel de la superficie de la cima del trabajo para terminar con el vaciado.
- En Japón en 1976 se desarrollo un método similar a la hidroválvula, llamado Tubo Doble de Tajima (KDT), este usa un tubo plegable, que se adjunta a una tubería de acero que tiene muchas aberturas, haciendo posible retirar y mover horizontalmente con gran facilidad; cuando el último pedazo de concretos baja por su propio peso, la presión del agua entra por las aberturas del tubo exterior y aplasta al tubo flexible, ocasionando así que no entre agua al tubo, ni ocurra el lavado de concreto; mostrando así este método confiable y barato.

2.5.3. Aplicación

- Como la hidroválvula es una técnica mejorada para el sistema tremie clásico, entonces su rango de aplicación también abarca al del sistema tremie.
- Este sistema se puede utilizar para un vaciado con movimiento lateral, ya no siendo necesario poner una red de tremie, para facilitar este tipo de vaciado se necesita que el depósito de alimentación se monte al sistema.



CAPITULO III: CONCRETO Y MATERIALES: ARENA, PIEDRA, MATERIALES CEMENTOS Y/O ADITIVOS

3.1 Introducción

En este capítulo se analizará las características de todos los elementos que conforman el concreto para un vaciado bajo agua de mar, estos materiales son el cemento, los agregados (grueso y fino), el agua y los materiales cementoso y/o aditivos, haciendo énfasis en este capítulo de estos dos los últimos materiales para mostrar las propiedades, características y los productos que se encuentran en el mercado mundial; en la sección 7.2 se muestra más a detalle las características del cemento que se utilizan para un vaciado bajo agua, según el reglamento del ACI para los códigos 318 y 357, de la misma manera en la sección 7.3 se detalla las características y condiciones del concreto bajo agua y complementando la información, en la sección 6.5 se detalla el ataque químico (del CO₂, ión Mg y de los sulfatos) y en la sección 6.6 se hace referencia a la corrosión del acero de refuerzo.

En algunos aspectos no hay ninguna diferencia entre el poner concreto sobre y debajo de agua, un claro ejemplo se ve en el tema de las reparaciones (ver sección 8.2.1), es decir cuando se tiene acceso al sitio del vaciado separando la estructura del agua, ocasionando así que se obtenga un vaciado en concreto fresco, estos casos se presentarán mas adelante en el capítulo VIII. En la práctica la calidad del concreto sufrirá una deterioración cuando este sea colocado bajo agua, la causa principal de la baja calidad, indicado en el capítulo I, la cual es el lavado del cemento y finos y por segregación del concreto que generalmente se manifestará cuando el concreto se deja caer a través de agua. Al final la calidad global del trabajo será afectada por factores como el grado de control en la colocación, como se verá en el capítulo V.



3.2 Selección del material

Un rango extenso de materiales está disponible para el uso en el vaciado y reparación bajo agua. Ellos pueden desdoblarse en dos tipos principales: cementosos y resina-base.

3.2.1 Materiales cementosos

Éstos pueden ir desde los morteros convencionales y lechadas hasta los materiales con propiedades de lograr reforzar la estructura en su conjunto, esto se debe por el uso de aditivos o que también se le conoce como un adicionante en la mezcla del concreto. El uso de adicionantes puede producir cohesividad, ganar altas proporciones de resistencia, mayor trabajabilidad, tener resistencia a deslavar el cemento y la reducción en exudación y encogimiento. Muchos materiales cementosos mejoran las propiedades de los materiales disponibles, estas propiedades específicas se desarrollaron para permitir la colocación del concreto bajo agua.

La ventaja principal de los materiales cementosos sobre los materiales de la resina-base incluyen:

- La compatibilidad con la estructura en términos de módulo de elasticidad y la expansión térmica.
- Puede usarse en secciones esbeltas sin el aumento de calor excesivo y riesgo de agrietamiento térmico.
- Considerablemente más barato.
- Menos susceptible a los errores en mezclado y aplicaciones.
- Seguro para el uso por buzos.

3.2.2 Materiales resina-base

Éstos son generalmente basado en resina epóxica e incluyen resinas de inyección, morteros vaciados y masillas aplicables a mano. Las resinas epóxicas tienen un módulo de elasticidad más bajo y más alto escurrimiento plástico o flujo que los materiales cementosos y es



por consiguiente menos conveniente. Cuando se tiene que reparar secciones espesas, estas elevan la temperatura durante el curado, lo cual puede conducir a esfuerzos altos y por consiguiente al agrietamiento subsecuente.

Las ventajas principales de materiales en la reparación de resina-base sobre los materiales cementosos incluyen:

- La viscosidad muy baja para la inyección en las fisuras finas.
- Resistencia de alta adhesión.
- Alta flexibilidad si requiere acomodar en el desplazamiento del vaciado.
- Alta resistencia y con la característica de ganar resistencia.
- Resistente a la penetración a través de agua, sales, etc.

Es importante mencionar en la etapa de la construcción, se debe verificar el material seleccionado que se va a utilizar, cualquiera que sea, para comprobar las características y propiedades del mismo mediante pruebas o ensayos, así se verifica el conveniente uso, esto se debe realizar en cada aplicación particular que se utilice un material o cuando se cambia por otro.

A continuación se detallan las pruebas que deben realizarse a un material seleccionado, como consideraciones mínimas para vaciados y/o reparaciones, estas se hacen antes de dicha operación. Las pruebas deben llevarse a cabo en un ambiente, condiciones y temperaturas similares a aquellos que se experimentarán durante el proceso de vaciados y/o reparación en insitu:

· Características estructurales: Que sean resistentes, módulo y propiedades de deslizamiento plástico convenientes para una aplicación estructural.

· Flexibilidad: Que tenga la flexibilidad adecuada para los movimientos esperados; y observar si el material se pondrá más frágil con la edad.



. Deslavado del cemento: Cuando permite la caída libre a través del agua y no ocurre el lavado del cemento en la zona de contacto con el agua.

. Ensayo de colocación: Puede bombearse despacio y continuo, para obtener un concreto auto-compactado y auto-nivelado.

. Núcleo o centro in-situ: Es la fuerza in-situ requerida; debido al deslave del cemento produce una capa debilitada en la parte superior o en la cima, por lo que al entremezclando con agua reduce la resistencia.

. Resistencia de adhesión: Cuando el material tiene adhesividad al concreto padre o concreto ya colocado, es importante mencionar estas características para las áreas en reparación.

3.3 Concreto

El concreto para usarse bajo agua debe tener un flujo fluido, cohesivo y auto-compactante. No debe ser propenso a exudación o encogimiento plástico, ambos podrían producir debilidades en la interfase de la reparación y la estructura. Para las reparaciones de gran escala el uso del concreto como material en la reparación será normalmente la alternativa económica.

Las características requeridas para un concreto bombeable generalmente serán las convenientes para la mayoría de las aplicaciones bajo agua. Las recomendaciones del concreto según el ACI según los códigos 318 y 357 se describen en la sección 7.3.

Los principales componentes de la mezcla se presentan a continuación.

3.3.1 Cemento

Según la Norma Técnica Peruana 334.001 define al cemento como “Material pulverizado que por adición de una cantidad conveniente de



agua forma una pasta aglomerante capaz de endurecer tanto bajo el agua como en el aire” y al Cemento Portland como “el producto obtenido por la pulverización del clinker Portland con la adición eventual de sulfato de calcio”

Un rango de tipos de cemento con o sin adición de escorias de alto horno granulado o la ceniza de combustible pulverizado pueden usarse para concreto bajo agua; en la sección 7.2 se detallan los comentarios del ACI Comité 318 y 357, en la cual se muestran en la tabla 7.1 los requerimientos para concretos expuestos a soluciones que contengan sulfatos y los tipos de cements que se deben usar según el ACI (Comité 318-99, tabla 4.3.1) y la Norma Técnica de Edificación del Reglamento Nacional de Construcciones Código E-060 (Resolución Ministerial N° 428-2001-MTC/15.04, tabla 4.4.3 del capítulo 4 “Calidad del Concreto”).

Las experiencias pasadas han demostrado por varios años usar un rango de volumen en cantidad de cemento para lograr una mezcla cohesiva, cuyo volumen de cemento que debe estar entre 325 y 425 kg/m³, aunque el Comité 357 recomienda que varíe entre 356 y 415 kg/m³ para alcanzar ciertas propiedades; en las secciones 7.2 y 7.3 se detallan todas las consideraciones que se deben tener.

3.3.2 Agregado

La Norma Técnica Peruana NTP 400.037 de Agregados, los define como “un conjunto de partículas, de origen natural o artificial, que pueden ser tratadas o elaboradas y cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la misma Norma.”, y según el ACI Comité 318 dice “los agregados para concreto deben de cumplir con la norma ASTM C 33 o ASTM C330” y de la misma manera el código 357 (Referida al Diseño y Construcción de Concreto Costanera) la ratifica. También este Código hace mención a que pueden usarse agregados marinos conforme al ASTM C33 con tal que estas puedan ser lavadas con aguas limpia (potable) y que el total de contenido de cloruros y sulfatos de la mezcla de concreto no exceda a los límites



permitidos. Estos límites muestran el contenido máximo de iones cloruros (Cl^-) soluble en agua en el concreto, que se muestra en porcentaje en peso es 0.10 para concreto armado normal y 0.06 para concreto pre-esforzado (ver tabla 7.4, en la sección 7.3.2)

En la Norma Técnica Peruana se encuentra las siguientes definiciones:

Agregado fino.- Es el agregado proveniente de la desintegración natural o artificial, que pasa el tamiz ITINTEC 9.5 mm (3/8") y que cumple con los límites establecidos en la presente Norma.

Arena.- Es el agregado fino proveniente de la desintegración natural de las rocas.

Agregado grueso.- Es el agregado retenido en el tamiz ITINTEC 4.75 mm (N° 4) proveniente de la desintegración natural o mecánica de la roca, y que cumple con los límites establecidos en la presente Norma.

Grava.- Es el agregado grueso, proveniente de la desintegración natural de materiales pétreos, encontrándose corrientemente en canteras y lechos de ríos depositados en forma natural.

Piedra triturada y chancada.- Se denomina así, al agregado grueso por trituración artificial de rocas o gravas.

Para lograr una mezcla de alta-trabajabilidad, un agregado redondeado es mucho más conveniente que la piedra chancada; pero en particular, la mezcla de piedra chancada y agregado fino deben tener una granulometría suave y homogénea para poder alcanzar la trabajabilidad requerida, caso contrario, como es en las granulometrías normalmente pobres las partículas se amoldan inadecuadamente, creando vacíos en la mezcla. Es importante mencionar que el uso de una arena bruscamente graduada aumenta grandemente la cantidad de exudación.

Los requisitos de granulometría del agregado fino y grueso van a depender básicamente del diseño de mezcla que se haga para las condiciones y características requeridas (por ejemplo el seleccionar el tamaño máximo nominal del agregado grueso), para esto se muestra en la tabla 07 y 08 del anexo 1, los requisitos para el agregado fino y



grueso respectivamente. Además es importante mencionar que en la etapa de construcción se puede tener dudas de la procedencia de los agregados o cuando no se tenga la certificación de la calidad de los agregados, se debe realizar el ensayo químico para la determinación cualitativa de cloruros y sulfatos, según la norma ITINTEC 400.014 y para la determinación de las características mecánicas de la inalterabilidad de agregados por medios de sodio o sulfato de magnesio (ensayo de durabilidad) según la norma ITINTEC 400.016.

3.3.3 Agua

Es un componente de la mezcla de concreto, que reacciona químicamente con el material cementante para formar:

- a) La formación de gel.
- b) Una masa cuyo conjunto adquiera las propiedades en:

Un estado no endurecido facilite una adecuada manipulación, es decir que tenga una trabajabilidad adecuada en la etapa de la colocación del concreto.

Un estado endurecido lo convierta en un producto de las propiedades y características deseadas.

El agua que se empleará debería estar libre de azúcares o sus derivados, de la misma manera estará libre de sales de potasio y sodio.

Si se utiliza aguas no potables, la calidad del agua es determinada por los análisis de laboratorio y deberán ser aprobada por la Supervisión.

3.3.4 Aire

El aire atrapado o natural, es usado el diseño de mezcla como un porcentaje del volumen de la mezcla, normalmente varía entre el 1% a 3%, este porcentaje está en función de las características de los materiales que intervienen en la mezcla, especialmente en los agregados donde el tamaño máximo y la granulometría son fuentes de variabilidad, también depende del proceso de construcción aplicado durante su colocación y compactación.



3.3.5 Adicionantes y/o aditivos

El ACI 212 la define como un material distinto del agua, agregado y cemento hidráulico, que se usa como un ingrediente del concreto y morteros y se añade a la mezcla inmediatamente antes o durante su mezclado.

El empleo o la utilización de este nuevo material es por razones de economía o por mejorar puntualmente alguna propiedad del concreto tanto en el estado fresco o endurecido, como por ejemplo: la necesidad de reducir el calor de hidratación, aumentar la resistencia inicial o final, etc.

La calidad y facilidad de colocar el concreto pueden ser mejorada grandemente por el uso adiconantes y/o aditivos. Los principales tipos de aditivos que se usan para el concreto vaciado bajo agua y sus usos se pueden resumen a continuación:

· Plastificantes (Slump 4" – 6")

Permita usar un menor volumen de agua para una trabajabilidad determinada. Esto produce concreto de una resistencia y densidad más alta y reduce la permeabilidad. Para el mismo volumen de agua, la trabajabilidad se aumenta y facilita la colocación y consolidación.

· Superplastificantes (Slump 6" – 8")

Produce un concreto de muy alta trabajabilidad y consistencia fluida. El concreto puede estar auto-compactado y auto-nivelado; lo cual ya no necesitaría de vibración porque la necesidad de vibración aumentará el riesgo de mezclar el concreto con el agua circundante, por lo tanto esto se debe evitar. También existe los aditivos Rheoplásticos (Slump 8" – 12") que nos da un alto grado de fluidez.

· El aire arrastrado o aire atrapado

Éstos mejoran la cohesión y trabajabilidad del concreto; también minimiza la exudación cuando la granulometría del agregado fino es pobre y puede ayudar para el bombeado.



. Retardadores

Éstos retardan los tiempos de fraguado, reduciendo el riesgo de juntas debido a falta de continuidad de concreto y permite más tiempo de la colocación. Los retardadores frecuentemente se combinan con los plastificantes o superplastificantes.

. Los modificadores del polímero

Refuerzan grandemente las propiedades del concreto y mortero (particularmente la adhesión y la resistencia a la tracción), ver la sección 3.4.

. Agentes de no-dispersión

Éstos reducen el riesgo de deslavar el cemento del concreto, cuando entra en contacto con el agua circundante. Ellos normalmente consisten en un agente reductor de agua en combinación con un aumentador de viscosidad como éter celuloso o óxido del polietileno (vea la tabla 3.1). En muchos casos ellos son incluidos en concreto premezclado bajo agua o morteros (vea la tabla 3.2).

Fabricante	Productos	Comentario
Rescon	Rescon T Nonset 400UV	Retardando efecto 15-20 Kg/m ³
Construcción de Shimizu	Aklith 12A Aklith 12S	
Construcción química Cormix	Ucs	Combinación de dos aditivos
Armorex	UW3	
Sika Intertol	Ucs	
Fosroc	Conplast UW Conbex 250	Volumen de cemento es de por lo menos de 400 kg/m ³
Concreto hidráulico bajo agua	Hydrobond UWA-1 Hydrobond UWA-2	Microsilice-base Polímero-base
Químicos de Scancem	Betokem S-UV Hydrocem	Dos componentes (líquido + polvo) Microsilica-base
Master Builders Technologies	Rheomac UW 450	Componente líquido
MECA Engineering	Mellose	

Tabla 3.1 Aditivos de no-dispersión.



Fabricante	Producto	Comentarios
Hydrocrete	Concreto Hydrocrete	Permeable o impermeable
	Lechada Hydrocrete	Vaciable y bombeable
Armorex	UW4	Lechada de mortero, plástico o vaciado
	UW5	Lechada de mortero gruesa, plástico o vaciado
	UW6	como UW4 pero de fraguado rápido
	UW7	como UW5 pero de fraguado rápido
Fosroc	Conbextra el UW	No-contraerse vaciado / bombeable
Rescon	50 UV-T	0.2 mm agregado vaciado / bombeable
	600 UV-T	
	Nonset 400 UV	6 mm agregado vaciado / bombeable Extendiendo, vaciado
Thoro Sistema Productos	Waterplug	Fraguado rápido, mano / badilejo
Ronocrete	Monoset U/W	Fraguado rápido, mano / badilejo
MRA	Protongrout	
Hydrobond (Hidro adhesión) de concreto bajo agua	Hydrobond UWC-3	concreto de Polimeros / microsíllice
	Hydrobond UWC-4	Microsíllice-base concreto fragua rápido

Tabla 3.2 Concretos, morteros, lechadas de no-dispersión.

. Microsíllice

Las adiciones de microsíllice (normalmente acompañado por un superplastificante) producen concretos de alta resistencia, y resistente al deslave.

3.3.6 Aditivos de no-dispersión o *anti-washout* (AWA).

3.3.6.1 Introducción.

Desde hace varios años, ha existido una profunda investigación en las técnicas y materiales para vaciar concreto bajo agua, es por eso que instituciones se dedican a dicha investigación, como por ejemplo la



Estación Experimental de Ingenieros Hidráulicos del Ejercito de los EE.UU. Cabe destacar que los japoneses han sido los líderes de esta nueva tecnología del concreto, la sección 3.3.6.2 resume un artículo de Toru Kawai titulado “Aditivos para Concreto Especial Bajo Agua” en la Revista de Concreto Japonesa; la cual es una excelente recopilación de la investigación de los aditivos anti-deslave y sus efectos en el concreto fresco y endurecido, incluyendo resultados realizados en Europa y USA.

El concreto sumergido de no dispersión fue desarrollado aproximadamente hace 12 años en Alemania Occidental, luego esta tecnología se introdujo en Japón y los EE.UU.; este concreto sumergido se conoce como “concreto de no dispersión” o “concreto coloidal”, la cual utiliza un aditivo “no dispersión” o aditivo “anti-deslave” (*anti-washout*).

3.3.6.2 Composición del *anti-washout*.

El concreto sumergido de no dispersión desempeña un rol de “agente mejorado de viscosidad”. Los aditivos anti-deslave que actualmente se comercializan como en el Japón tiene como ingrediente principal a la celulosa o el acrílico. El aditivo acrílico toma al polímero poliacrílimido como principal componente. El aditivo de celulosa es un éter de celulosa soluble en agua no iónico, el cual tiene un OH Base (ión hidróxido) y es casi como el agua. Los aditivos que han sido mayormente usado son los HEC (hidroxitcelulosa) y los HEMC (hidroxitimetilcelulosa) y los HPMC (hidroxipropimetilcelulosa). Es sabido que su viscosidad varían considerablemente de acuerdo a la polimerización, su peso molecular y el tipo de sustituto cuando son disueltos. Este éter celuloso soluble en agua se disuelve rápidamente en un mezcla con un PH alto como el concreto. Así mismo no son afectados a cambios químicos dentro del concreto como la reacción, congelamiento o descongelamiento. En Japón las normas de calidad de los aditivos anti-deslave han sido listadas en el “Manual para Concreto Sumergido Especial (Diseño y Ejecución)”, publicado en noviembre de 1986 por el Comité de Investigación del Concreto Sumergido Especial.



3.3.6.3 Características de las propiedades de concretos y las ventajas de la no dispersión.

Se limita las propiedades del concreto al pre-embolsarlo, como puede ser el caso de los *bagwork*. Éstos concretos tienen la característica ya sea para el colocado del tremie convencional, bombeo con caída libre y saltos, de:

- Mejora la cohesividad, es decir resiste a la exudación, a la segregación y a los resultados en la pérdida mínima de fino.
- Comparado al concreto ordinario, el concreto bajo agua es muy resistente al deslave del cemento cuando se les permite la caída libre a través del agua.
- El esfuerzo al punto cedente es pequeña y su viscosidad es alta, para que los componentes concretos no segreguen y muestren una fluidez alta.

Dentro de las ventajas tenemos:

- La trabajabilidad se mejora.
- El tiempo de colocación, de cura, el encogimiento y arrastre no es afectado.
- La permeabilidad del ión de cloruro es reducida.

Los concretos diseñados para ser de no-dispersión o *anti-washout* debe usarse donde el concreto sea vaciado dentro del encofrado, particularmente donde el refuerzo aumentará el riesgo de deslavar el cemento. Su uso es de menor importancia cuando el concreto se bombea gradualmente en el encofrado para producir el desplazamiento gradual del agua.

3.3.6.4 Algunos ejemplos de aditivos *anti-washout* en el mercado mundial.

Dentro del mercado mundial existe una gran variedad de marcas y características en aditivos *anti-washout*, de las cuales vamos a describir a tres: Hydrocem, Mellose y RHEOMAC UW – 450.



1) Hydrocem.

a) Propiedades

- Mezcla en polvo.
- Incremento de la cohesión mientras se coloca.
- Incremento de la resistencia en 39% de la resistencia bajo agua sin mezclas (*)

b) Pruebas (*)

Prueba 1: Concreto con humo de sílice.

Prueba 2: Concreto con Hydrocem.

Todas las otras variables son constantes.

- Resistencia del concreto fuera del agua a los 28 días: Resulta que la prueba 1 es 35% más resistente que la prueba 2.
- Resistencia del concreto bajo agua a los 28 días: Donde resulta que la prueba 2 es 39% más resistente que la prueba 2

(*) Estos son resultados de ensayos realizados en “Georgia Institute of Technology” por S. Kelly, K Jonson, C. Guthrie, J. Mitchell y C. Eaker



Hydrocem

2) Mellose.



Mellose

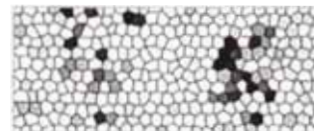
a) Propiedades

- Mezcla basada en celulosa (hidroxipropimetilcelulosa).
- Aumenta la viscosidad del concreto suspendido pero disminuye la viscosidad del concreto fluido.
- Aumenta la trabajabilidad

b) Uso: Empezó por compañías Coreanas



Concreto sin Mellose



Concreto con Mellose

Los puntos negros en los dos gráficos indican el agua

Figura 3.1 Configuración del concreto con y sin Mellose.



Figura 3.2 Usando Mellose en estructuras de concreto bajo agua, como es el Gran Puente Kwang en Corea.

3) RHEOMAC UW – 450 REOMAC UW-450

a) Propiedades

- Mezcla basada en celulosa (hidroxipropimetilcelulosa).
- No afecta el Slump o el tiempo de fraguado.
- Disminuye su resistencia cuando es utilizado fuera del agua y aumenta cuando se usa bajo agua.

b) Ventajas

- Efecto mínimo o nulo de demanda de agua.
- No afecta el Slump o el tiempo de fraguado.
- Reduce o elimina la exudación.
- Características de asentamiento iguales al concreto sin aditivo-deslave.



Figura 3.3 Puerto deportivo *Lindisfarne Motor Yacht Club* (Australia) que tiene un total de 120 atracaderos e incorpora 240 pontones flotantes de concreto prevaciado.



3.4 Morteros cementosos y lechadas

Se usa para reparaciones donde el área dañada es de espesor considerable debido a que existe confinamiento en el refuerzo y no permite el paso del material. La consistencia, volumen de arena y granulometría dependerán de la naturaleza de la reparación.

Para las reparaciones en parches pequeños, una aplicación con badilejo de un mortero de arena y cemento puede ser conveniente; esto será colocado bajo agua o en la zona de salpicadura, el uso de un cemento Portland especialmente especificado o el cemento de ultra-rápido-endurecimiento puede usarse para prevenir que la reparación sea quitada por la acción del agua circundante. Los morteros de endurecimiento muy rápido pueden usarse para sellar la superficie previa de la estructura a ser reparada, luego las reparaciones permanentes serán realizadas por inyección. Otros morteros cementosos capaz de fluir pueden usarse para reparar superficies, siendo puesto por bombeo o vaciado en la zona a rellenar dentro del encofrado.

La lechada de cemento y arena limpia puede requerirse para la inyección en las fisuras, o para el prevaciado de agregados usando al agregado pequeño clasificado según su tamaño. En general, no debe usarse lechada de cemento para la inyección en los huecos grandes porque probablemente va a ocurrir una contracción y rotura térmica.

Las características de los morteros cementosos pueden ser reforzadas por el uso de modificadores del polímero. Éstos generalmente son las estructuras de polímeros, resina o líquidos látex añadidos como un reemplazo parcial del agua de la mezcla y producen una mejora en las propiedades del mortero, que incluyen:

- . Un claro aumento flexional y resistencia a la tracción.
- . Aumento en la resistencia a la compresión.
- . La reducción en permeabilidad, exudación y contracción plástica
- . Aumento de la fuerza a la adhesión sin la necesidad de una adhesión de revestimiento.



Los morteros modificadores de polímeros, tienen un módulo de elasticidad más bajo y más alto escurrimiento plástico, ambos pueden ocasionar problemas en las aplicaciones estructurales. Se recomienda tener cuidado en la selección de los morteros modificadores de polímero, debido a que algunos materiales son impropios para el uso bajo agua o en ambientes húmedos. En particular, las fuerzas de acetato del polivinilo (PVA) y los morteros acrílicos modificadores de copolímeros son seriamente afectados por el uso bajo agua. Para estas condiciones es más convenientes el caucho estireno-isopreno (SBR) o los morteros acrílicos-estireno modificados con copolímeros-base.

El polímero modificado de lechada de cemento puede inyectarse en la superficie de concreto, esto sirve como concreto base o primera capa y ayuda en la adhesión entre el concreto antiguo y el mortero elegido para la reparación. Debido a la naturaleza especial de los modificadores de polímero, es esencial recibir el consejo del fabricante para el uso que se busca en sus materiales. Una relación de fabricantes y los productos de morteros cementosos conveniente para el uso bajo agua se presentan en la tabla 3.2.

3.5 Prevaciado de concreto agregado

El prevaciado de concreto agregado es una forma de inyectar lechada de arena/cemento en un encofrado que contiene agregado compactado. La lechada llena el encofrado dejando una alta proporción de agregado/cemento en el concreto.

Las ventajas:

Impide la contracción (bajando en un 50 a 70% del concreto convencional),

- Ninguna segregación y poca sedimentación.

Como el concreto es resistente y la mezcla es de baja permeabilidad, entonces debe evitarse:

- La micro fisuración debido al sedimento de la pasta del cemento y
- La exudación debajo del agua entre las partículas del agregado.



Todo esto se puede evitar, logrando un conveniente diseño en la mezcla de la lechada.

Las recomendaciones del Manual en la Construcción de Concreto debe seguirse para poder asegurar un exitoso colocado de prevaciado en los concretos agregado. Estas recomendaciones se resumen a continuación:

Agregado grueso: Se debe usar un tamaño máximo conveniente para poder manipularlo, sujeto a las limitaciones del agregado debe ser tan pequeño como $\frac{1}{4}$ de la dimensión mínima del encofrado o $\frac{2}{3}$ del espaciamiento mínimo del refuerzo. Para secciones de 300mm se debe considerar un tamaño mínimo del agregado de 14 mm y cuando se tenga secciones más espesas se debe usarse 19 mm ($\frac{3}{4}$ ”).

Cuando se tiene el refuerzo muy confinado, o donde existan secciones delgadas en las reparaciones, se utilizará un tamaño máximo del agregado más pequeño que el pueda especificarse anteriormente. El agregado debe graduarse para obtener un mínimo en el contenido de vacíos, que normalmente está entre 35% y 40% después de la compactación.

Agregados fino: La granulometría de la arena debe satisfacer la zona 3 clasificación de BS 882 y además es importante mencionar que la arena debe estar uniformemente graduada para que la lechada de arena/cemento ingrese en los intersticios del agregado al momento del bombeado. Si los espacios entre el agregado grueso “es pequeño” (10 mm ó $\frac{3}{4}$ ”), entonces pueden surgir problemas en el momento del bombeado de la lechada de arena/cemento debido a que la lechada no ingresa entre los intersticios y no pueda conectarse entre las partículas del agregado grueso; para este caso se recomienda usar lechada de cemento puro con aditivos convenientes, lo cual es necesario para poder reducir la contracción.



Cemento: Cualquiera de los tipos normales de cemento Portland puede usarse, considerando siempre que se pueda enfrentar a los principales problemas encontrados en la zona (Ejemplo: el ataque de los sulfatos), si es así entonces se puede seleccionar el cemento apropiado.

Aditivos. Normalmente, un adicinante puzolánico se usa para mejorar el flujo de la lechada. También las propiedades de los aditivos son usadas para prevenir la exudación, ser plastificantes, tener aire atrapado y crear una expansión ligera durante el fraguado de la lechada. Los aditivos típicos están compuestos de una combinación de éter celulósicos de espesado tixotrópico y un plastificante. Un aditivo acelerante puede ser incluida en aguas frías o donde se pueda desencofrar tempranamente.

Propiedades de las lechadas. Existe una gran variedad de fabricantes en lechadas cementosas que son convenientes para el uso prevaciado de concreto agregado bajo agua. Éstos pueden incluir aditivos para reducir la contracción, exudación y deslave del cemento. Algunas de las lechadas disponibles que pueden ser usadas en las reparaciones del prevaciado de agregado se resumen en tabla 3.2.

3.6 Morteros de resina y lechadas

Los epóxicos normales o resinas de poliéster son impropias para el uso bajo agua porque ellos frecuentemente fallan a la adhesión del concreto dañado y pueden ser contrarios a la reacción de endurecer bajo el agua. La formula especial de la resina base y endurecedor, hace que se puedan desarrollar sistemas de resinas epóxicas para dicho uso.

Incluso con la calidad de resinas epóxicas bajo agua, ocurre una reducción severa en el rendimiento porque existe turbulencia durante la colocación, resultando un intermezclado entre la resina y agua. En general, las resinas de poliéster son inadecuadas para el uso bajo agua debido al pobre rendimiento en la adhesión.



Los métodos de resina epóxica están disponibles en un rango de consistencias en resinas de inyección, mezclados con arena en los morteros que son vaciados a mano o aplicaciones en masillas. En muchos de los casos el mismo método de resina se usa con diferentes proporciones del adicionante, a menudo la arena es adicionado para lograr la consistencia requerida.

Cuando seleccionamos un adecuado material particular consideramos que debe tener:

- Consistencia- Está en relación al método de colocación y al tamaño de vacío o encofrado en el que el material será colocado.

- Flexibilidad- Si el material se requiere sostener una carga, este debe tener un alto módulo y un bajo escurrimiento plástico. Si el material es usado como un sellador entonces la flexibilidad alta puede ser deseable.

- Calor generado durante el curado- Depende de la contribución de endurecer, la cantidad de adicionante y el espesor de la reparación. El espesor de reparación debe limitarse para prevenir la temperatura grande que aumenta y así ocasione el agrietamiento del concreto.

- Contribución de endurecer- El tiempo requerido durante la cual el material todavía es utilizable dependerá de la temperatura, el método de colocación y la complejidad de la reparación. Para algunas reparaciones, como el sellado de fisuras y la conexión de la tetilla de inyección, se requerirá un material de rápido endureciendo. Se formulan muchos métodos de resina de epóxicas en ambas versiones normal y versiones rápido-endurecedor.

Una selección de materiales epóxico resina base para el conveniente uso bajo agua se muestra en la tabla 3.3.



Material	Fabricante	Producto	Comentarios
Inyección de Resinas y lechada	Rescon	BI-PA 1.6 resina UL-L-1.5 endurecedor	Fisuras inyección/ ligeras capas
	Rescon	UV-L	Ayuda ligando / adhesivo
	Colebrand	CXL 78R	Inyección de fisura, resina sujetador
		CXL 600 CXL 78T	15 µm de fisura Lechada, hendedura pequeñas, adhesivo
	Sika Inertol	Sikadur 53 LV	Adhesivo Inyección de baja-viscosidad
Morteros	Rescon	UV-S	Pasta, mano / aplicado a paleta
	Estructural	NM205 U/W	Masilla, mano/aplicado a paleta
	Químicos	NM208 U/W	Mortero, mano/aplicado paleta
	Expandite	Expocrete UA	Mortero Arena-empastado
	Armorflex	Armorex	Masilla
	Sika Inertol	Sikadur 53	Puede llenarse, vaciarse
	FEB	Epoxy bajo agua	Masilla

Tabla 3.3 Resinas epóxicas.

El básico método epóxico resina-endurecedor tiene una densidad similar a la del agua y puede por consiguiente flotar alrededor y causa un riesgo a los buzos. Incluso cuando es usado como un mortero o masilla debe tenerse el cuidado para evitar una contaminación del buzo y su equipo. Cuando usamos resina epóxica es esencial usar la instrucción de los fabricantes para mezclar y aplicar, asegurando así una actuación satisfactoria. Ayudar con el control de calidad, la mayoría de las resinas epóxicas reparan los materiales que se proporcionan en cantidades del pre-empaquetado de resina, endurecedor y relleno o tapa poros.



3.7 Ensayos realizados con aditivo Sika Viscocrete 3

3.7.1 Introducción.

Como lo hemos mencionado en la sección 3.2.6, donde se muestran las composición, características y propiedades para los concretos de no dispersión o *anti-washout* o anti-deslave, en la cual es de suma importancia para obtener concretos para el uso bajo agua, de la misma manera en la sección 3.2.6.4, se muestra algunos ejemplos de dichos aditivos en el mercado mundial donde todos los productos se producen en América del Norte, Europa, Asia, pero en el Perú no se fabrica estos aditivos sino se importa de los países del extranjero; cabe rescatar que desde poco tiempo, aproximadamente hace un año la empresa de aditivos Master Builders Technologies ha entrado al mercado peruano, pero de todas maneras el producto *anti-washout* RHEOMAC UW 450 es importado si es que se necesita.

Al ver esta necesidad de no tener ningún producto como aditivo fabricado en el Perú, se busco dentro de las características de todos los aditivos en el mercado peruano que satisfaga todas o las mayoría de las consideraciones que se necesitan para el vaciado bajo el agua, notando que para que cumpla teníamos que utilizar una combinación de aditivos, elevando el costo del volumen unitario de concreto.

Consultamos a Sika por el aditivo de Sikadur 53, los representantes de Sika en el Perú contestaron que lo tenían que importar, elevando así el costo de este producto; pero mencionaron que dentro de la revolución tecnológica que continuamente Sika realiza, desarrollaron un nuevo producto de aditivo que es el Sika Viscocrete3, que es un reductor de agua de muy alto poder, cuyas ventajas de Sika Viscocrete3 como un poderoso superplastificante en:

- a) Concreto fresco.
 - Trabajabilidad sobresaliente.
 - Extrema fluidez debida a la óptima combinación de polímeros.



- Concreto muy homogéneo gracias a aditivos muy especiales.

- Con un apropiado diseño de mezclas se pueden obtener superficies lisas y uniformes.

b) Concreto endurecido.

- Máxima densidad debido a la fuerte reducción de agua.

- Alta resistencia debido a la reducción de vacíos en la matriz.

- Muy baja permeabilidad.

- Muy alta durabilidad.

- Contracción reducida gracias al bajo contenido de agua.

- Debido a la baja porosidad, el avance del frente de carbonatación y el ingreso de cloruros son muy lentos.

Todas estas características se muestran en el anexo 5, cuyo título es “La información técnica de Sika® ViscoCrete-3”. En este anexo mostramos todo tipo de información que se tiene de este novedoso producto, las cuales se presentan:

A) Hoja Técnica de Sika® ViscoCrete-3, aditivo para concreto.

B) Folleto de Sika Visconcrete, Concreto Autocompactable.

C) Concreto AutoCompactante: Expandiendo las posibilidades en diseño y colocación de concreto.

Este producto tiene respaldo porque se ha utilizado con gran eficiencia en proyectos a nivel mundial como:

- Concreto para un restaurante giratorio en Lucerna, Suiza.

- Habitaciones modulares para hoteles, Oldcastle Precast, MA (USA).

- Acuario de tiburones y pingüinos en el Parque Marino de Oceanópolis en Brest, Francia.

- Grouting de Consolidación para la Construcción de un túnel Ferroviario bajo la plaza Meinrad Lienert en Zurci, Suiza; y otros.



Debemos mencionar que este nuevo producto ha podido ser eficaz en diferentes obras similares y en otros países, pero no se ha probado en el Perú para su uso bajo agua, debido a que las características de los materiales como son el cemento, agregados, agua y las condiciones atmosféricas como temperatura, humedad, vientos, son diferentes. Además los proveedores peruanos no tienen aditivos con características que si son importantes para un vaciado bajo agua, como los que indica Sika dentro de su hoja técnica, es por todo esto que se decidió realizar ensayos de laboratorios para ver el comportamiento de este aditivo.

3.7.2 Diseño y Resultados.

Los ensayos de laboratorio y diseño se hicieron en los laboratorio de Sika-Perú, siendo el diseño de mezclas por durabilidad utilizando el cemento portland tipo II y V, con y sin el aditivo Viscocrete3; en el anexo 3 se muestran todas estas dosificaciones con aditivo Visconcrete3 en 1 y 2% del peso de cemento II y V para un $f'c$ igual a 350 kg/cm². Todo esto se puede hacer si tenemos todas las características física de los agregados, tal como se muestra en el anexo 2. Para el diseño por durabilidad nos da como resultado que necesitamos 7.8 bolsa de cemento para 1 m³ de concreto, la cual tenemos 331.5 Kg/m³ por lo que según con la sección 3.2.1 en la que se refiere al cemento, este es un valor aceptable y esta en el rango.

A continuación mostramos en la tabla 3.4 el Resumen de los resultados de los ensayos a la compresión del concreto con los Cementos Portland Tipo II y Cementos Portland Tipo V, con diseño patrón y adicionando aditivo Viscocrete3 con las diferentes dosificaciones de 1 y 2% del peso del cemento en aditivo.

Los resultados de cada ensayos de 1, 3, 7, 28 días, se muestran detalladamente en el anexo 4.



CPT II	f'_c diseño 350 kg/cm ²	f'_c promedio (kg / cm ²)			
		1 día (27/02/01)	3 días (01/03/01)	7 días (05/03/01)	28 días (26/03/01)
	$\frac{f'_c \text{ promedio}}{f'_c \text{ diseño}} \times 100$	148.7	218.0	287.6	372.7
		42.50 %	62.29 %	82.18 %	106.47 %

CPT V	f'_c diseño 350 kg/cm ²	f'_c promedio (kg / cm ²)			
		1 día (27/02/01)	3 días (01/03/01)	7 días (05/03/01)	28 días (26/03/01)
	$\frac{f'_c \text{ promedio}}{f'_c \text{ diseño}} \times 100$	149.7	279.9	296.0	380.1
		42.78 %	79.96 %	84.57 %	108.60 %

a) Con el diseño Patrón.

CPT II	f'_c diseño 350 kg/cm ²	f'_c promedio (kg / cm ²)			
		1 día (07/03/01)	3 días (09/03/01)	7 días (13/03/01)	28 días (03/04/01)
	$\frac{f'_c \text{ promedio}}{f'_c \text{ diseño}} \times 100$	200.4	323.7	404.0	511.3
		57.27 %	92.48 %	115.44 %	146.10 %

CPT V	f'_c diseño 350 kg/cm ²	f'_c promedio (kg / cm ²)			
		1 día (04/04/01)	3 días (06/04/01)	7 días (10/04/01)	28 días (01/05/01)
	$\frac{f'_c \text{ promedio}}{f'_c \text{ diseño}} \times 100$	243.8	372.8	452.3	558.6
		69.66 %	106.51 %	129.22 %	159.61 %

b) Diseño con el 1% de VC3 en peso del cemento y con una reducción de la cantidad de agua al 16.16 %

CPT II	f'_c diseño 350 kg/cm ²	f'_c promedio (kg / cm ²)		
		3 días (23/03/01)	7 días (27/03/01)	35 días* (24/04/01)
	$\frac{f'_c \text{ promedio}}{f'_c \text{ diseño}} \times 100$	368.6	481.2	505.7
		105.31 %	137.48 %	144.47 %

CPT V	f'_c diseño 350 kg/cm ²	f'_c promedio (kg / cm ²) (f'_c prom)		
		3 días (23/03/01)	7 días (27/03/01)	35 días* (24/04/01)
	$\frac{f'_c \text{ promedio}}{f'_c \text{ diseño}} \times 100$	368.4	488.8	569.7
		105.25 %	139.65 %	162.76 %

c) Diseño con el 2% de VC3 en peso del cemento y con una reducción de la cantidad de agua al 37.12 %

Tabla 3.4 Resumen de los resultados de los ensayos a la compresión del concreto con CPT. II y CPT. V y adicionando aditivo Viscocrete3.



3.7.3 Análisis de los resultados.

En todos los ensayos donde se utilizó el aditivo, el concreto se volvió una pasta fluida, mostrándose una baja de permeabilidad, no se pudo medir la permeabilidad, por lo que no se contaba con el equipo necesario. En realidad para medir la fluidez se procedió midiendo el diámetro que deja al momento de medir el slump, este es un sistema de control de los técnicos de Sika, pero en realidad esto no está normado por algún código, ellos toman como referencia estos valores, lo que si ellos si tienen normado por código inglés es con una caja en forma de L, en la cual por no tener acceso a este equipo, no se pudo medir.

De la tabla 3.4 (a) tenemos:

Los resultados para los 28 días, si cumplen con el diseño, para el diseño patrón de CPT II sale 372.7 Kg/cm^2 (representa el 106.47% de la resistencia de diseño) y para el de CPT V sale 380.1 Kg/cm^2 (representa el 108.60% de la resistencia de diseño).

De la tabla 3.4 (b) tenemos:

Los resultados para los 28 días, si cumplen con el diseño y muestran un incremento en la resistencia en comparación con el de diseño, para el diseño con el 1% VC3 en peso de cemento de CPT II sale 511.3 Kg/cm^2 (representa el 146.10% de la resistencia de diseño) y para el diseño con el 1% VC3 en peso de cemento de CPT V sale 558.6 Kg/cm^2 (representa el 159.61% de la resistencia de diseño).

De la tabla 3.4 (c) tenemos:

Los resultados para los 35 días, si cumplen con el diseño y muestran un incremento en la resistencia en comparación con el de diseño, para el diseño con el 2% VC3 en peso de cemento de CPT II sale 505.7 Kg/cm^2 (representa el 144.10% de la resistencia de diseño) y para el diseño con el 2% VC3 en peso de cemento de CPT V sale 569.7 Kg/cm^2 (representa el 162.7% de la resistencia de diseño).

Cabe resaltar que no se pudo romper las probetas a 1 día, por no tener disponibilidad de la prensa hidráulica, por estas en esos días en



mantenimiento, debido a que este mantenimiento se realiza cada 6 meses y es obligatorio hacerlo para que así pueda seguir operando.

Como segundo punto mencionamos que a los 28 días, empecé a ensayar y no se llegó a romper las probetas debido a que sobrepasaba el límite de resistencia que es aproximadamente de $580\text{Kg}/\text{cm}^2$, entonces por seguridad del equipo no se me permitió continuar con el ensayo, debido a que existía una gran probabilidad de descalibrar o malograr el equipo, y arreglarlo es muy costoso, por lo que en toda una semana estuve buscando donde romper las probetas con una máquina de mayor capacidad y las pude romper en la UNI en el L.E.M.

Como podemos observar para el ensayo con CPT II no sale menor que mucho menor a lo que se puede esperar, las cuales debemos de considerar que no podemos comparar los resultados de un mismo ensayo con dos máquinas diferente, sin poder tener una tabla de conversión o correlación entre estas dos máquinas hidráulica, por lo que los últimos resultados ensayados en el LEM, nos servirá mas que todo del tipo referencial.

Otro punto que debemos mencionar y no se consideró en su momento es que los ensayos físicos de los agregados se realizaron a fines de diciembre del 2000 y primeras semanas de enero del 2001, en cambio los ensayos de compresión se realizaron a fines de febrero a fines de abril, notando que las condiciones de temperatura, humedad son diferentes y esto hace que varia los resultados.

También es importante mencionar que se ensayo en seco y no hubo la posibilidad de poder hacer un vaciado en el agua y luego sacar diamantinas y ensayarlas y ver su verdadero comportamiento en el agua. Pero eso no quita que si cumpla con las características de trabajabilidad y ser auto-compactable y auto-nivelable y aunque no se ensayo si reduce la permeabilidad; pero por datos del fabricante en la cual no dice que por la optima combinación de polímeros hace por si que su naturaleza sea impermeable.

De aquí podemos dar inicio a nuevos temas a investigar como temas de tesis.



CAPITULO IV: COLOCACIÓN DEL CONCRETO.

4.1 Introducción

En este capítulo se verán los métodos particulares en la colocación de un sistema tremie. El funcionamiento general se describe detalladamente en la sección 2.4, lo cual servirá de mucha importancia conocer primero esta sección para la mayor comprensión de este capítulo.

4.2 Tapa y/o sello

Como se mencionó en la sección 2.4.2 la consideración de la carga inicial es muy importante en un funcionamiento del sistema tremie, la cual consiste en un tapón que protege el primer volumen de concreto del contacto con el agua

En esta sección se va a analizar el momento en la cual este sello se rompe, pudiendo suceder dos cosas:

1. Primero se coloca el concreto fresco encima del vaciado previo, esto ocasionaría tener una interfase del agua/concreto de dudosa calidad y al colocar concreto encima de esta capa, ocasionaría una inclusión de material débil en el vaciado.
2. El segundo problema es la pérdida de carga en el tremie, cuando el funcionamiento entero tiene que ser restaurado.

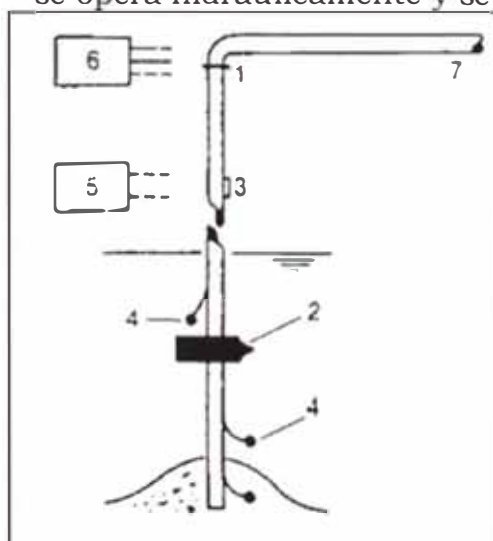
Si el sello del concreto en la base del tremie se rompe, el vaciado debe detenerse inmediatamente, retomando el sello presente por el operador con un funcionamiento de recargando, que necesitará tiempo para restaurarlo y pudiendo poner en peligro la integridad del vaciado. Para permitir que el vaciado continúe, el extremo del tremie debe re-posicionarse en la masa del concreto vertido y debe prevenirse la inclusión del revestimiento exterior del concreto en el corazón del vaciado. La operación de recargado no debe permitir inyectar el agua en el concreto vertido, para esto se debe recargar fuera el concreto en la



tubería usando un plato en el extremo del tremie, para así llevarlo al lugar del vaciado y luego de quitar el plato se sumerge la tubería y manejarlo en la masa del concreto vertido. Una vez el tremie está en posición nuevamente y cargado, el plato se recupera y el vaciado empezará de nuevo.

El gran peligro de una rotura en el sello es un daño causado a la masa de concreto vaciado. En el momento de verterlo nuevamente es imposible saber la magnitud del daño que ha sido causado por la interrupción. El uso de buzos para inspeccionar y el quitado si hubiera del concreto húmedo, probablemente produzca más daño que por el ocasionado en el vaciado. Si se sospecha de un problema mayor la mejor política es abandonar el trabajo y permitir que el concreto fragüe, para así determinar la magnitud del daño y después del trabajo terapéutico conveniente para la preparación de la superficie, el vaciado puede continuarse.

Un reciente desarrollo en el tremie es la utilización de una válvula operada hidráulicamente situada al extremo más bajo de la tubería, como lo describe Yamaguchi. En la figura 4.1 se muestra el esquema del sistema tremie mejorado, la cual puede minimizar la posibilidad de pérdida del sello y permitirá discontinuidades en el suministro de concreto al depósito de alimentación del tremie. La válvula aplastante se opera hidráulicamente y se une a una serie de sensores niveladores.



	Nombre de la parte	Especificación
1	Tuberías Tremie	150 mm diámetro
2	Válvula aplastante	150 mm diámetro
3	Sensor de presión	Medida de tensión
4	Sensor nivelado	Interruptor de inclinación
5	Unidad de control	Hidráulico
6	Lámpara que indica tablero	
7	Manga de la entrega flexible	

Figura 4.1 Tremie con válvula aplastante.



4.3 Bombeo.

Con el método del tremie convencional, la utilización de la grúa presenta a menudo algunos problemas logísticos en la operación, debido a que la tubería del tremie tiene que ser levantada y bajada para poder controlar el vaciado del concreto, que es colocada en la tolva de alimentación. Con la llegada del concreto bombeado, la colocación del concreto bajo el agua se libra parcialmente la necesidad de usar la grúa. Las ventajas principales son:

- Bombear el concreto para que se pueda entregar rápidamente al sitio del vaciado y casi continuamente; para esto se usan tuberías estáticas que puedan bombear concreto a distancias de hasta 1000 m en la mayoría de las unidades, la pluma hidráulica permite la colocación con rapidez y gran versatilidad.
- Otra gran ventaja es que ese concreto puede entregarse bajo agua sin la necesidad de la entrega por gravedad. Este atributo de un sistema de bomba elimina problemas como segregación, pero la misma filosofía de colocación debe adherirse a como con son los métodos de tremie convencionales.

La colocación del concreto en sistema tremie hace que el inicio de la entrega sea por un deposito de alimentación, llegando así a este por bombas, lo que diferencia al realizarlo mediante bombeo directamente ocasionaría que el flujo sea firme y con la capacidad de recalibrar la entrega de la tubería con la pluma hidráulica, proporcionando un método muy eficaz de operar a una serie de tremies por el operador.

Aunque se pueda eliminar los problemas de segregación, todavía es de mayor importancia el minimizar la interfase del agua con el concreto, es decir nuevamente la colocación del concreto será en el centro de la masa puesta. En el caso que se obstaculice la tubería, existe una posibilidad distinta de como bombear y es por consiguiente aconsejable tener una bomba de reserva en el lugar. Al bombear a profundidades mayor que 35 m, es necesario incorporar una válvula del no-retorno en la línea bombeando.



La proporción de entrega de una bomba se relaciona directamente a la pérdida de carga en la línea de la tubería. Así para un tramo largo de tubería, se necesita una mayor carga de bombeo; el rendimiento está limitado por la unidad de la bomba y los sellos o juntas en la tubería.

Cuando un fluido se lleva a lo largo de una tubería existe una pérdida de presión debido a fricción, y la pérdida en presión será una función de la velocidad de traslación del fluido:

$$\Delta P \propto Q/A \quad (\text{Relación de Poiseuille})$$

donde:

ΔP = la pérdida de presión,

ΔQ = la proporción de flujo o caudal y

ΔA = el área de la tubería.

Típicamente un concreto bombeable puede entregar 90 m³/h aproximadamente pero su funcionamiento está limitado por la presión. Un límite tope en el rendimiento de presión está en el orden de 300 psi. La pérdida de carga debido a la fricción para un ordinario bombeado de concreto está en el orden de 0.06 kg/cm²/m. Figura 4.2 muestra las distribuciones de presión que se esperan en un sistema de bomba.

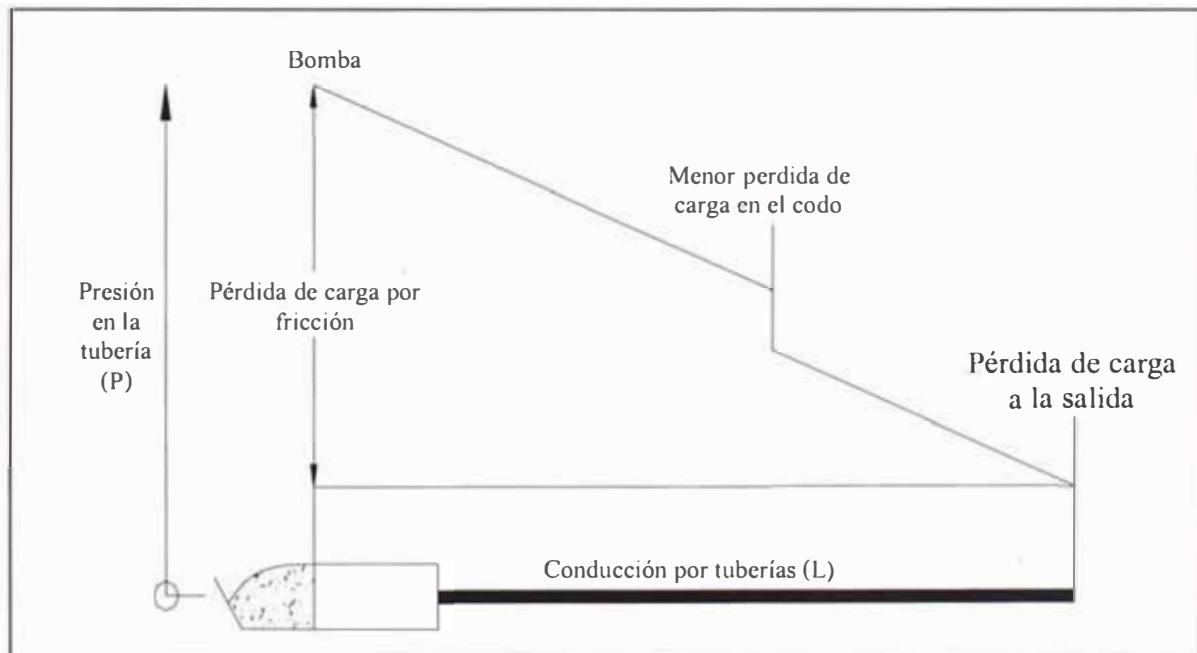


Figura 4.2 Distribución de presión en una tubería.



Cuando realizamos un vaciado bajo agua, se genera una sobrepresión en el punto de entrega del concreto en la dirección del vaciado debido a la influencia grande en las presiones de bombeando, para lo cual lo contrarrestamos amarrándolo con una soga y se sostiene en dirección opuesta, tal como se muestra en la figura 4.3. Típicamente la tubería se introduce en el concreto unos 100-200 mm.

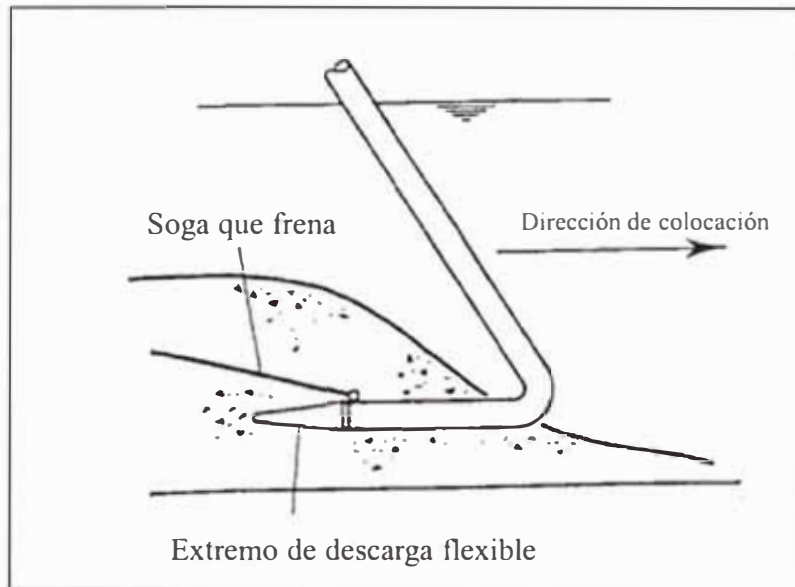


Figura 4.3 Bombeo con tubería arrastrándola horizontalmente.

Un problema que puede encontrarse al bombear concreto cuando descienda verticalmente es que el vaciado puede tener caída libre. Éste es a menudo el resultado del flujo a través de la sección vertical que excede la razón de bombeo; al caerse libremente el concreto permitirá que se segregue. Esta situación puede ser eliminada usando un tapón como en el caso del sistema tremie. Un tapón de esponja puede insertarse en la cima de la línea de la entrega antes de bombear; esto apoyará al concreto cuando se fuerza debajo de la tubería y se expulsará a la corriente.

4.4 Colocación del concreto no-dispersión.

La no-dispersión del concreto generalmente se usa para minimizar la segregación; también tiene propiedades de trabajabilidad, no-exudación y autonivelación. Por consiguiente, el material es muy



elástico para pobres técnicas de colocación. La adherencia del concreto húmedo con polímeros previene la segregación incluso en situaciones donde el concreto se deja caer a través de agua. La trabajabilidad hace un concreto ideal para satisfacer en el uso con refuerzo o en situaciones donde el concreto se compacte en las secciones encajonadas.

La característica más resaltante del concreto no-dispersión es la de obtener un concreto bajo agua de alta calidad y además la naturaleza cohesiva del concreto permite la caída libre a través de agua de unos pocos metros.

Usando el concreto y las técnicas convencionales, se encuentra propensa la corrosión y el mezclado en la interfase del concreto/agua, por consiguiente cuando se coloca un concreto fresco encima de un volumen previamente vertido, causaría una inclusión de material débil. En el caso el concreto de no-dispersión, por su naturaleza viscosa de la mezcla prevendrá la aparición de éstos problemas y hacen posible el vaciado en los casos anteriores. Esta calidad de concretos se usa en el concreto vaciado en cajones, la cual es una alternativa más viable.

El bombeado de un concreto de no-dispersión probablemente es el método más fácil de colocación; las calidades del material permitirán una proporción de entrega relativamente rápida como el mantenimiento del “sello del concreto”. Por la naturaleza viscosa del concreto se requiere mayor presión en la tubería para el bombeado del concreto, debido a que las pérdidas de fricción son más altas en las tuberías asociado con el sistema de bombas.

Experimentos realizados por Kawai Takegawa en 1986, evalúa la calidad de la no-dispersión del concreto en un trabajo que se realizó, fue en la construcción de un cuarto de máquina para un dique seco; con las técnicas convencionales de construcción, hubiera sido necesario construir un dique provisorio, el concreto bajo agua fue usado para acortar el tiempo del trabajo, requiriendo un producto de alta calidad; las técnicas de colocación y la calidad del concreto tuvieron que ser evaluadas antes de la adopción del método de la construcción.



4.5 Autonivelación

Para investigar las propiedades de trabajabilidad o autonivelación se realizaron experimentos en USA simulando un vaciado en un recipiente lleno de agua cuyas dimensiones es 20m de largo, 0.9m de ancho y 1.2m altura; el concreto se vaciaba de un extremo, la cual este se desplazaba a lo largo de los 20 m. El concreto se puso en el encofrado y permitía establecer un ángulo de reposo a lo largo con muestras de cambios de pendiente en la superficie de la colocación. En la realización de la prueba se evaluaron la resistencia de compresión del concreto quitando muestras a cada metro a lo largo de la longitud.

Esta prueba demostró que la no-dispersión del concreto tiene una calidad de autonivelación buena y hay una muy pequeña pérdida de resistencia asociada con el flujo del concreto.

4.6 Prevaciado de concreto agregado o prevaciado de agregados

El método de prevaciado de agregado, también conocido como el método inyectar lechada al agregado para obtener concreto, es conveniente para el uso en el rango entre mareas y para trabajo bajo el agua. La técnica es particularmente aplicable en condiciones donde hay acceso limitado al trabajo y en situaciones donde existen las velocidades de agua altas o donde exista oleaje, que normalmente prohibiría el uso de métodos de la colocación convencionales. El uso de agregados del prevaciado en reparaciones es descrito en la sección 3.4.

El método prevaciado agregado, consiste en rellenar un encofrado con agregado e inyectarle luego una lechada de cemento para llenar los vacíos. El agregado que se usa en este proceso es típicamente 40 mm o más grande; si se usa los agregados más pequeños que 20 mm ocasionaría que impide ingresar el flujo de lechada de cemento y no va a llenar los intersticios. En ciertos casos un agregado fino puede requerirse. En estas situaciones una lechada arena-libre se usa, pero



ésta es una aplicación no recomendable porque ocasionaría una forma severa de exudación bajo el agregado.

La lechada de cemento que normalmente se usa en este proceso consiste en cemento Portland ordinario y arena bien graduado. El flujo de la lechada alrededor del agregado es esencial, por consiguiente normalmente se recomiendan mezclas plastificantes. La ceniza de volantes también es usada para mejorar el flujo de la lechada.

El producto final del proceso es un concreto de proporción alta de agregado/cemento que esta en contacto con el agregado. Este punto de contacto asegura un encogimiento refrenado bajo que va entre 50-70% aproximadamente del concreto convencional; la reducción en vacíos asegura un concreto denso y por consiguiente puede lograrse una buena resistencia. Sin embargo, si un concreto de alto resistencia será producido, se debe tener cuidado en el diseño de la lechada porque puede ocurrir micro-rotura y puede deberse a la sedimentación de la lechada.

La primera fase del proceso de colocación consiste en rellenar el encofrado con el agregado; debe ser compactado a través de vibración, o por rodillos, vale aclarar que esta vibración se realiza anterior a la inyección de la lechada. Los encofrados deben diseñarse para asegurar eso y además no exista ningún tipo de goteo de lechada durante el proceso de la inyección; una aplicación de este tipo de encofrado es el encofrado flexible que se usa a menudo. La lechada se inyecta en el fondo del encofrado, el agua y aire que son cambiados por la corriente ascendente que es originada por el alzamiento de la lechada. La inyección es continuada hasta la socavación libre de lechada (que es el primer volumen de lechada y esta en contacto con el agua) es expulsada de la cima del vaciado. Si el volumen que se está vertiendo es pequeño, por ejemplo la reparación de un pilote, el concreto saldrá por la cima del encofrado por una abertura delgada. En el caso de áreas abiertas grandes, es normal sobrellenar el encofrado y desatender la capa de la superficie debido a que en esta zona la socavación será inevitable. La inyección es lograda bombeando la lechada a través de tuberías



montadas verticalmente. Estas tuberías normalmente son 20 mm en diámetro aunque las dimensiones exactas serán determinadas por la naturaleza del agregado. Cuando la lechada se bombea en el encofrado, las tuberías de inyección se levantan despacio. La vibración en la forma de golpear por la parte exterior de encofrado ayudará para el descargo del aire atrapado y del agua. La inyección de lechada en las unidades pequeñas puede ser lograda bombeando en el fondo del encofrado. Este método prevaciado de agregado puede usarse para producir concreto reforzado pero el peligro en el ambiente marino, es la inclusión de cloruros en el trabajo, debido a que antes de iniciar el vaciado, el agua de mar ya lavó a los agregados y posiblemente exista esta inclusión.

La resina epóxica también puede usarse con el prevaciado de agregado. Bajo el agua se gradúa la resina epóxica que puede usarse en lugar de lechada. El costo de resina del epóxica es muchas veces más que el precio de la lechada de cemento pero la diferencia es que tiene algunas únicas propiedades (tal como se muestra este análisis en la sección 3.1.1 y 3.1.2). La resina es de viscosidad baja, incluso a temperaturas bajas y por consiguiente la colocación puede ser más fácil. La viscosidad baja también significa que pueden usarse agregados más pequeños. El tiempo de fraguado de una resina puede ser controlado por la formulación de la mezcla y por eso podemos mencionar la versatilidad de esta la técnica.

4.7 Colocación del concreto dentro de un encofrado flexible

El encofrado flexible es básicamente una bolsa de tejido entallada que puede congregarse para encajar una forma fácilmente deseable (vea figura 4.4). La colocación del encofrado de tejidos puede ser llevada a cabo por los buzos. El concreto normalmente se bombea en el encofrado pero puede ser puesto por las técnicas tremie. Al bombear concreto en un encofrado flexible, este debe hacerse en el punto más bajo y debe ser continuo hasta librar flujos de concreto por la abertura de la cima. Si se



usa concreto de no-dispersión, se tendrá que usar un tejido fortalecido. Esto es porque la naturaleza del más fluido en este tipo de concreto ejerce cargas mayores y hacia fuera del encofrado.

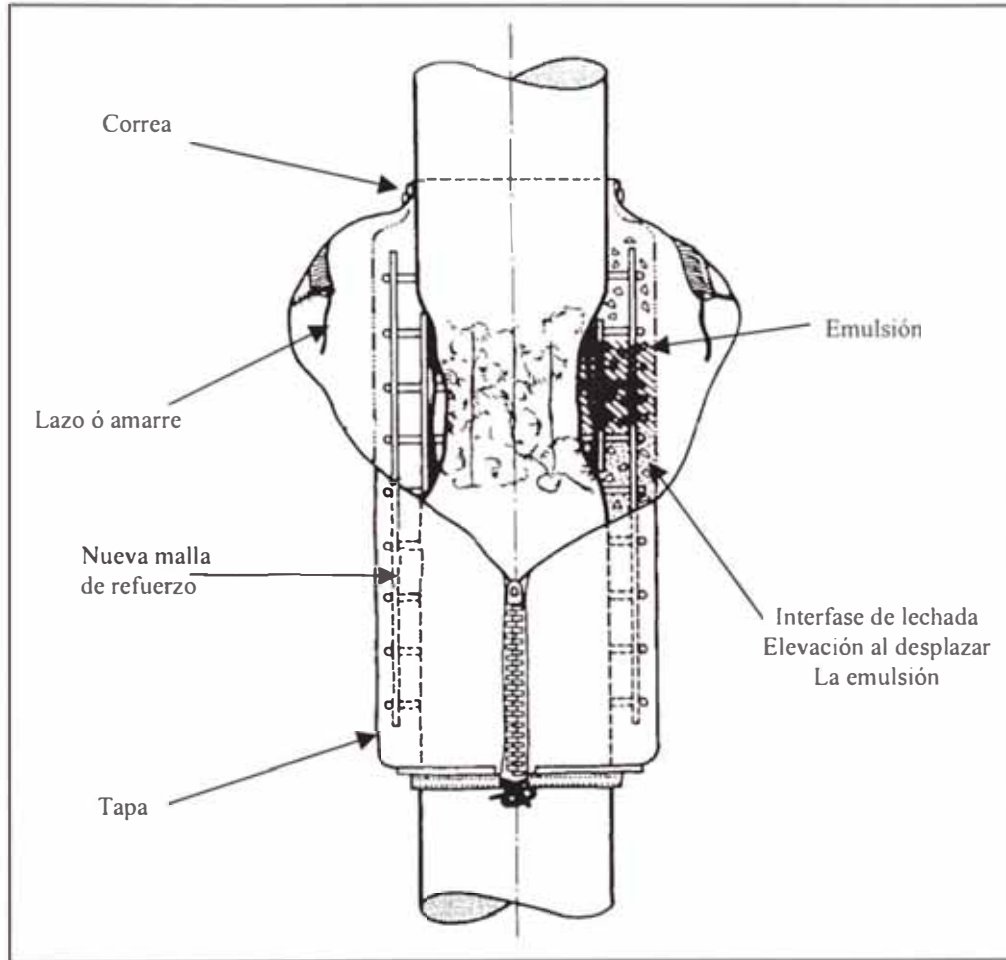


Figura 4.4 Detalles de una reparación que usa encofrado flexible.

El tipo del colchón del forro está generalmente lleno con una lechada de cemento de arena. El tejido del encofrado es permeable y permite el descargo del agua en exceso, es por eso que ayuda al endurecimiento temprano de la mezcla. Esta propiedad también mejora la resistencia a largo plazo y la durabilidad del colchón. Los forros se llenan bombeando, la inyección debe trabajar en el fondo para cubrir y es esencial proporcionar el suministro constante.



CAPITULO V: CONTROL, INSPECCIÓN Y SUPERVISIÓN.

5.1 Introducción.

La inspección bajo agua de cualquier estructura se realiza:

Antes del vaciado.- se refiere a la evaluación de la estructura en el caso de reparación, describiendo los tipos de daños y de suciedad causada por los organismos marinos y en general se refiere a las condiciones en la que se encuentra el lugar del vaciado de concreto.

Durante el vaciado.- es controlar en insitu el vaciado en el momento que se realice.

Después del vaciado.- esto generalmente sirve para conocer si se ha cumplido con el trabajo para luego proceder con los pagos o liquidaciones de la obra

También se menciona los equipos que se necesita para la inspección, las normas de calificaciones de los buzos en el Reino Unido y las técnicas de inspección.

5.2 Inspección.

5.2.1 Método de inspección.

La inspección bajo agua de cualquier estructura será costosa y difícil. La naturaleza del ambiente bajo agua ocasiona una disminución en la habilidad de un inspector de hacer una observación buena sobre la estructura. Se envuelven a menudo los elementos sumergidos de la estructura con un crecimiento marino que disimulará la superficie del concreto. Las condiciones de agua son normalmente tales que la visibilidad está muy limitada, a veces casi cero, y además el movimiento de agua puede hacer que se trabaje en difíciles condiciones.

Para aumentar al máximo la efectividad de una inspección bajo agua, debe considerarse cuidadosamente la selección del modo de



operación de la inspección. Hay dos métodos de operación que está en uso común, las cuales son: el buzo y el vehículo operado por control remoto (ROV).

5.2.1.1 Los buzos.

El uso del buzo ha sido el modo tradicional de inspección. Bucear es una operación arriesgada y es controlado cuidadosamente por normas de seguridades. En el REINO UNIDO, la seguridad del buzo está normada por la Salud y Seguridad Ejecutivo (HSE), las regulaciones de seguridad estatutarias controlan la calificación y el entrenamiento del buzo y los procedimientos que se usan en las operaciones de buceo. El equipamiento del buzo, operación y procedimientos pueden encontrarse en "US Navy Diving Manuals" (Manual de la Armada Americana para Buzos), Volúmenes I y II (1975).

El problema principal en un buzo es la profundidad. Cuando un buzo desciende, éste absorbe gas nitrógeno en su sistema sanguíneo, la cual tiene dos efectos:

1. A profundidad mayor que 30 m el buzo empieza a padecer narcotismo de nitrógeno; este fenómeno tiene un efecto similar al alcohol. El narcotismo dará al buzo incapacidad para realizar cualquier observación coherente, y lo más importante, pondrá en peligro su habilidad de trabajar con seguridad.

2. El segundo problema del buzo aparece cuando los gases absorbidos en el cuerpo tienen que esparcirse con la descompresión del buzo. Si la velocidad de descompresión es demasiado rápida, el buzo padecerá del aeroembolismo (enfermedad que padecen las personas de aire comprimido); ésa es una condición potencialmente letal y por consiguiente la descompresión se debe controlar cuidadosamente. En la tabla 5.1 se muestran ejemplos de los límites de tiempo de aire que se imponen a los buzos. Los tiempo en exceso del buzo que son mayores a



estos valores necesitarán del uso de los procedimientos de descompresión como en agua paradas para permitir que se esparza el gas en el sistema del cuerpo humano.

Profundidad		Tiempo de buceo
metros	Pies	minutos
12	39.4	200
18	59.1	60
30	98.4	25
40	131.2	10

Tabla 5.1 Máximo tiempo de duraciones de buceo (según Larné, R. En su publicación *Commercial Diving Manual.*)

Para bucear a profundidades mayores de 50m (164 pies) se requiere de una mezcla de gas para respirar, donde se usa helio para reemplazar el nitrógeno en la mezcla respiratoria, los buzos trabajan a menudo en saturación, es por eso que necesitan un tiempo prolongado para la descompresión. La saturación se refiere cuando el buzo se zambulle y mantiene la presión de funcionamiento a un periodo prolongado; para lograr esto primero se introduce al buzo en una cámara hiperbárica en la superficie, luego es transportado a profundidades adecuada en una campana de buzo, trabajando de esta manera a presión constante en todo el tiempo.

Las condiciones de buceo variarán ampliamente, por un lado se puede esperar que un buzo trabaje inspeccionando a 2 m bajo agua en el pilar de un puente y por otro extremo una operación costanera de buceo que le exigirá a un buzo que trabaje a profundidades de 150 m en una plataforma; es por eso que el entrenamiento y la calidad del buzo variarán según el tipo de buceo, ver la Tabla 5.2.



<i>Norma</i>	<i>Descripción</i>
Parte IV	Aparato respiratorio completo (Scuba). El trabajo de la inspección Ligerero, mayores profundidades a 30 m.
Parte III	Superficie proporcionados por buzos, en trabajos costeros, ejemplos como andén y trabajo de puertos.
Parte II	Mezcla de gas para el buzo. Técnicas de saturación del buzo.
Parta I	La calidad del aire básico de los buzos para trabajo fuera de la orilla. Profundidad arriba de los 50 m.

Tabla 5.2 Calificaciones del Buzo (REINO UNIDO HSE Regulaciones)

5.2.1.2 Vehículos operados a control remoto (ROV)

Cuando aumenta la complejidad en la operación del buzo, ocasiona un aumento en el costo; en estos casos se obvia el uso del buzo por el desarrollo tecnológico como es los ROV bajo agua. El ROV es una unidad controlada desde la superficie que puede desplazarse bajo agua; es controlado por presión y con una Televisión de Circuito Cerrado (CCTV), la cual el sistema actúa como los ojos del operador. Estas unidades se usan ahora extensivamente para la inspección e intervención en el trabajo. El componente básico del ROV es una plataforma controlada que puede ser dirigida por un operador que usa el sistema de CCTV. La unidad puede reforzarse con cámaras inmóviles, manipuladores y otros artículos como máquinas y herramientas. Se han desarrollado unidades pequeñas, como el *Hyball* y *Minirover*, para permitir aplicar la tecnología de ROV a una gama de aplicaciones amplia. Una gran ventaja de un ROV es que puede usarse en condiciones en la cual pondrían a un buzo en una situación peligrosa.

5.2.2 Limpieza de estructuras de concreto

Antes de que pueda llevarse a cabo cualquier inspección bajo agua, es necesario limpiar cualquier crecimiento marino en la superficie



de las estructuras; este crecimiento orgánico en las estructuras de concreto puede proporcionar protección, como es el caso de las algas, o también puede tener un efecto perjudicial. La naturaleza de la superficie de concreto es algo delicada; por ejemplo cuando este propenso a condiciones agresivas como es el ataque químico ocasiona tener una superficie de concreto considerablemente débil (ver sección 6.4). Por consiguiente el proceso de limpieza puede aumentar el daño de la estructura. El daño de grietas finas a un elemento estructural puede ocasionar la corrosión del refuerzo; para la detección eficaz de las grietas, es importante que el proceso de limpieza no haga pequeñas incisiones en la superficie al punto donde estos defectos se disimulan.

5.2.2.1 Inspección y clasificación de suciedad o manchas

Un aspecto importante de la inspección preliminar será hacer una valoración del tipo y magnitud de suciedad en la estructura, llamamos suciedad al crecimiento marino y orgánico que se presentan o crecen en las estructuras de concreto armado y también en las de acero.

Las observaciones tomadas de la estructura ayudarán al equipo de la inspección a evaluar el origen y la causa de la suciedad (ejemplo excesivo arrastre hidráulico, el ataque químico y otros), para así poder planear un programa de limpieza. El crecimiento orgánico va a ser clasificado bruscamente en dos grupos, suciedad dura y suciedad suave. Estos grupos pueden subdividirse en clasificaciones más específicas basadas en la identificación de tipos de la planta, en la tabla 5.3 mostramos la Clasificación del crecimiento orgánico marino.

De la clasificación mostrado en la tabla 5.3, se menciona al gusano con caparazón (pertenece al grupo de los poliquetos), los poliquetos existen en una gran variedad, para nuestro estudio en particular vamos a mencionar las familias de los poliquetos escavadores, las cuales se adaptan a la vida en madrigueras, ocupando agujeros más o menos fijos, verticales simples o con forma de U, excavados en partes firmes como es el concreto. (ver figura 5.1)




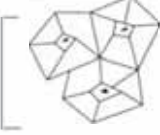


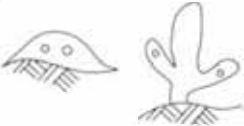

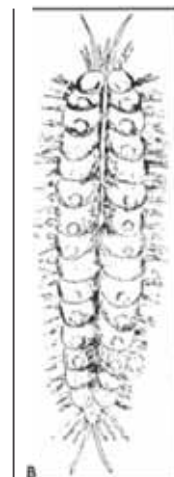
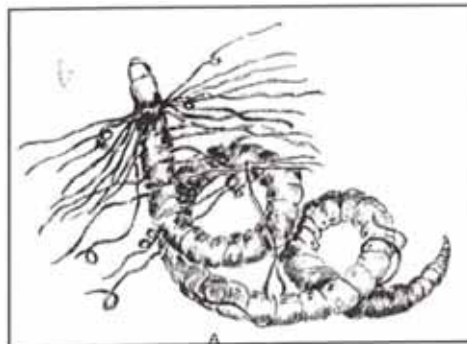
SUCIEDAD DURA	DESCRIPCIÓN
Gusano con caparazón (Pertenece al grupo de los poliquetos)	20mm 
Percebes o <i>Pollicipes elengans</i> (Mariscos marinos que se adhieren en los peñascos, pertenece al grupo de los crustáceos.)	10mm 
Mejillones (Grupo de los molusco, acéfalo de concha negra)	50mm 
SUCIEDAD SUAVE	
Familia de las hiedras marinas (Pertenece al grupo de hidrozón, característica de los pólipos)	50mm 
Esponjas	 100mm
Hierva mala de mar	1000mm 

Tabla 5.3 Clasificación del crecimiento orgánico marino.



(A.- *Cirratulus cirratulus*, B.- *Lagisca flocculosa*)

Figura 5.1 Poliquetos excavadores.



a) Causas.- Dependen del tipo de organismo que analicemos; por ejemplos los poliquetos se adaptan a la vida en madrigueras y buscan para esto lugares duros, como son los pilotes, estos gusanos son los más activos y en la mayoría de ellos construyen un sistema de galerías revestidas de moco; también los percebes que pertenecen al grupo de los crustáceos y a la familia de los cirripedos se fijan a sustratos (base donde se apoya) duros y se adaptan en las zonas entre mareas.

b) Efectos.- Son impactantes debido a que los organismos pueden causar daños como perforaciones en el concreto, produciendo así una línea potencial de falla, ya sea por la corrosión del acero si es que la perforación alcanzado hasta el acero de refuerzo o un agrietamiento moderado que origina el ataque químico por la acción del agua de mar. También es importante mencionar que el deterioro de una estructura de concreto sumergida, tal como es el pilote sufre un proceso físico de abrasión debido a la acción del oleaje, la cual se encuentra entre las zonas de la alta y baja marea.

c) Solución.- Existen resinas epóxicos que ayudan a controlar la erosión de las aguas y también de alguna manera protege de los organismos marinos, lo que no se hace es que se debe dar mantenimientos cada cierto periodo para así asegurar la vida útil y el buen funcionamiento de la estructura de concreto. En caso de reparaciones podemos mencionar el ejemplo de los pilotes, el cual en el capítulo 8.3 se muestra en detalle la limpieza de la suciedad y los métodos que siguen para preparar la superficie dañada a ser reparada.

El reporte de la densidad de la suciedad es llevado a cabo mejor por la estimación visual del porcentaje en la superficie de la estructura; con la experiencia de un inspector se puede hacer una rápida evaluación visual. Los mapas de densidad, como se muestra en la figura 5.2 pueden usarse para ayudar al inspector en esta estimación. (El método más exacto de cuantificación involucra el levantamiento y colección de todo el crecimiento en áreas específicas. Las muestras reunidas pueden identificarse y enumerarse a una fecha más tarde.)



Fig. 5.2 Mapa de densidad

5.2.2.2 Métodos de limpieza

Debido a la necesidad de hacer un examen en la superficie del concreto, se tiene las técnicas de limpieza como es la pistola de aguja, martellina, alambre con cepillo mecánico y alta presión en chorro de agua que no sólo puede quitar la suciedad sino que también la capa de la superficie del concreto que esta dañada.

Las técnicas más convenientes para limpiar concreto son a mano con cepillos de nylon y rascadores. Las suciedades duras como percebes y mejillones, requerirán rasparlo. Las suciedad suave, como alga marina, tendrán que ser cortados y la superficie es limpiada al cepillar.

5.3 Técnicas de la inspección

5.3.1 General

La inspección del concreto puede ser llevada a cabo por una combinación de técnicas. Generalmente al utilizar solo un método no revelará el cuadro completo de la condición de la estructura; es por ello que en el programa de inspección debe reunirse información de campo de varias fuentes para poder permitir hacer las evaluaciones.



5.3.1.1 Inspección visual

Éste es el acercamiento más simple a la inspección, está limitado porque sólo evidencia la superficie de fisuración que puede descubrirse y no revelan los problemas interiores, al menos que la corrosión del refuerzo esté en un estado avanzado.

5.3.1.2 Cortar en el centro del corazón

La única forma de conocer la fisuración interior del concreto es perforando la estructura. Un equipo eléctrico normal que taladra, no se puede adaptar fácilmente para el uso bajo agua. Sin embargo, existen máquinas que son modificadas para el uso bajo agua, como es el caso de un perforador normal que taladra la armadura; se reemplaza la energía eléctrica por taladros de energía hidráulicas o neumática. El taladro a base de placas es usualmente empernados a las estructuras. El lugar que tiene el operador es similar en operaciones sobre agua, el cual aplica presión al picar utilizando pisones de presión reguladoras o las palancas mecánicas. Una operación del buzo es quitar el material del corazón con un aparato que tiene la capacidad de taladrar haciendo perforaciones horizontales o verticales; en los EE.UU. existen aplicaciones a una profundidad de 1.2 m y los diámetros de perforación serían de unos 150 mm. En estas tareas se debe tener cuidado para no cortar tendones del pretensado o el someter a alto esfuerzo el refuerzo. Al quitar la deterioración interna, se puede coger una muestra del material para descubrir los niveles de cloruro y la degeneración química del concreto, del mismo modo su resistencia.

5.3.1.3 Probando otras técnicas

Sierras con fuerza motriz neumáticas o hidráulicas y armas cortantes también pueden usarse para tomar muestras de concreto de las estructuras bajo agua. Las muestras de acero reforzado son



tomadas normalmente cortando la barra con un soplete, aunque puede usarse una sierra con energía neumática o hidráulica y que tenga un abrasivo o cuchilla de diamante.

5.3.1.4 Comprobación no-destructiva (NDT)

Hay dos facetas a la comprobación no-destructiva del concreto: Es evaluar la calidad del concreto y evaluar la integridad del refuerzo. Puede evaluarse calidad del concreto usando las siguientes técnicas:

Martillo de impacto (Martillo Schmit)

Técnicas de impacto que hace una valoración de la dureza en la superficie del concreto. Ellos son ideales para hacer comparaciones entre las áreas de concreto, evaluar límites de fisuración e identificar las cargas subnormales de concreto.

Ultrasónico (Pundit)

Los dispositivos ultrasónicos trabajan sobre la base de grabar la velocidad de un pulso del sonido a través del concreto. La velocidad del pulso grabada será una función de la calidad del concreto y también puede dar información acerca de profundidad de la grieta.

Cubierta-metros

Estos instrumentos se usan para determinar la profundidad del refuerzo de la superficie del concreto. Esta técnica es útil identificando áreas de la cubierta baja que puede ser propenso a depasivación temprana por el ingreso del cloruro o carbonatación.

Cartografía electro-potencial

El depasivantes del refuerzo se manifiesta cuando se corroe su electro-potencial y se pone más negativo. Las técnicas cartográficas se realizan habilitando una superficie que analiza estos potenciales para luego identificar las áreas que tienen la corrosión del refuerzo.



Resistividad

Esta técnica complementa la medida electro-potencial. Los dispositivos como el *Wenner* sondean registro de la resistividad del concreto. Sin embargo, la ubicación del refuerzo, geometría de la sección y el contenido de humedad afectarán todo valor registrado.

Rayo gamma de contradispersión

Esta técnica se ha usado para determinar áreas de concreto con compactación de mala calidad y alta cantidad de vacíos. También es posible identificar áreas de concreto degenerado; la profundidad de penetración alcanza los 100 mm.

5.3.2 Técnicas de la inspección sobre agua

El concreto en la zona encima de la marea baja está sujeta a condiciones agresivas, mencionando así que en la zona atmosférica existen y pueden aplicarse una amplia gama de técnicas, por tratarse de inspecciones convencionales. Los problemas principales que llevan a cabo la inspección están en área donde el tiempo, el acceso y el volumen constante de humedad es variante en el concreto. La zona entre el nivel medio de la baja y alta marea de una estructura se cubre a menudo con una densidad alta de crecimiento marino.

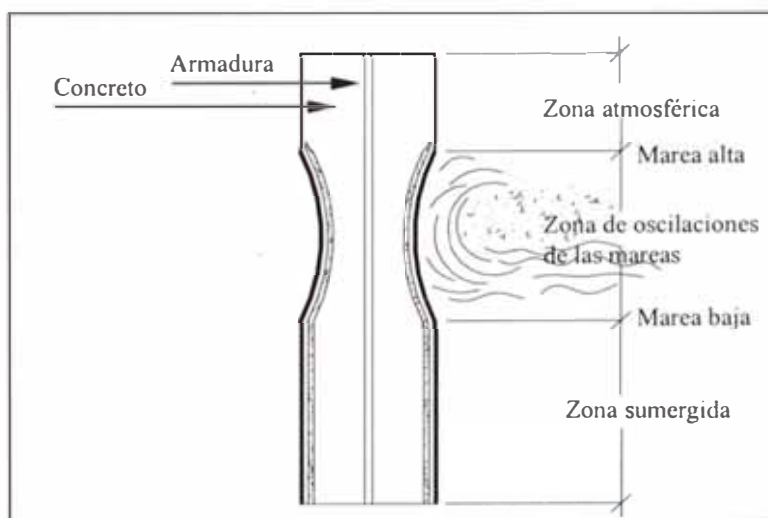


Figura 5.3 Zona de exposición marina de un pilote.



La inspección visual es difícil en las zonas de oscilaciones de las mareas (o zona de salpicadura) debido al crecimiento marino, es por ello que se requerirá de una limpieza considerable. Las técnicas de comprobación no-destructivas como la resistividad y cartografía electro potencial serán afectada por el volumen de humedad cambiante del concreto, es así que los valores absolutos indicados por estos métodos no tendrá ningún significado, aunque las lecturas comparativas pueden ser de valor. La condición de reparación de un área puede ser evaluada por la cartografía potencial encima de la zona de la reparación, áreas de potencial bajo indica regiones donde la corrosión del refuerzo puede estar ocurriendo. Pueden usarse martillos de impacto para las comparaciones locales de resistencia; sin embargo, estas técnicas evalúan la resistencia en la superficie, entonces la limpieza pobres o deterioración de la superficie llevarán a obtener resultados erróneos.

5.3.3 Inspección bajo agua

Trabajar bajo agua le obliga al inspector ser un organizador de problemas operacionales. Al mezclar estos problemas, muchas de las técnicas de NDT no se utilizarán bajo en agua.

5.3.3.1 Inspección visual

La inspección visible es actualmente el método más usado en inspeccionar el concreto bajo agua. Hay tres técnicas que pueden usarse para una inspección visual: el ojo humano, la fotografía y el circuito cerrado de televisión (CCTV).

Ojo humano

A menudo el buzo es usado como la primera opción en la inspección del concreto. En muchos lugares la visibilidad bajo agua se reduce drásticamente. Si la pérdida de visibilidad es causada por turbiedad entonces será inútil el uso de linternas; bajo esta condición el



buzo tiene que acudir a inspeccionar a través de la percepción. Cuando se ven objetos bajo agua su tamaño y color se deforman, por eso se deben proporcionarse un buen sistema de iluminación a los buzos y deben medirse en el mismo lugar de la estimación. El buzo muchas veces tiene que grabar el estudio con la vista para luego hacer comentarios mediante notas escritas en la superficie. La identificación y clasificación de defectos deben ser exactas; si un inspector inexperto evalúa la condición de concreto, entonces se encontrará problemas en el informe del estudio; por esto es esencial el entrenamiento del inspector.

Fotografía.

La gran ventaja de la fotografía es tener el registro permanente para que pueda usarse en apoyar estudios visuales. La fotografía puede ser llevada a cabo por un buzo o un ROV. Existen muchos sistemas de cámara que están disponible para la inspección bajo agua. Para los proyectos pequeños está disponibles la cámara bajo agua de 35 mm que son relativamente baratos a comparación de las normales bajo agua; éstos son ideales para trabajo en inspección preliminar (ver figura 5.4). Para los estudios más avanzados hay sistemas de cámara que graban un modelo estéreo fotogramétrico del objeto; este adelantado sistema se usaría en la inspección detallada de las áreas dañadas para permitirle dar una valoración antes de ser reparada. Existen tres consideraciones importantes que se debe tener en la fotografía debajo del agua: iluminación, localización y escala.



Figura 5.4 Cámara del mar con una unidad para flash.



El uso de la luz natural no es utilizado frecuentemente debido a que existe poca iluminación bajo agua y adicionalmente el objeto se distorsiona en color con la profundidad. Generalmente se usan dispositivos de flash para la fotografía bajo agua, pero el agua es usualmente turbia y las partículas del material que causan esta turbiedad ocasionarían una reflexión en la fuente de iluminación, simulando el efecto como una nevasca (tormenta de nieve) en la fotografía. Para evitar esto, las fuentes de iluminación deben emitirse adelante del objeto con un ángulo ancho, aproximadamente 45° (vea figura 5.5).

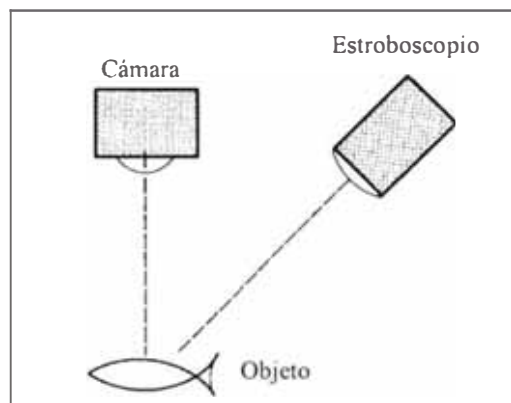


Figura 5.5 Posicionamiento de la Cámara.

La localización y escala son definidas por marcadores de identificación que pueden ser incluidos en el campo de vista. El concreto es a menudo relativamente sin rasgos distintivos y por consiguiente la inclusión de los marcadores como una identificación es esencial. Los marcadores de identificación deben incluir la información siguiente:

- ¿Dónde...?, se refiere al nombre del contrato y la situación en la estructura;
- ¿Cuándo...?, indicar la fecha y tiempo del estudio, además señalar el número de fotografía;
- ¿Quién...?, se refiere al nombre del inspector.



CCTV. (Televisión de circuito cerrado)

En los últimos años se han desarrollado considerable los sistemas de videograbadoras. Los CCTV tienen la ventaja de proporcionar una grabación en una cinta de video para la inspección. Varias unidades de cámara están disponibles, incluso en blanco y negro, color y luz baja. Generalmente los sistemas de blanco y negro dan mejor resolución pero el color es preferible para la inspección del concreto. Los videos operados por buzos son normalmente de simple enfoque fijo, con cámaras de abertura automática. Algunos de los modelos son lo suficientemente pequeños y están adheridos al casco del buzo, dándole mayor libertad de movimiento al inspector (ver figura 5.6).

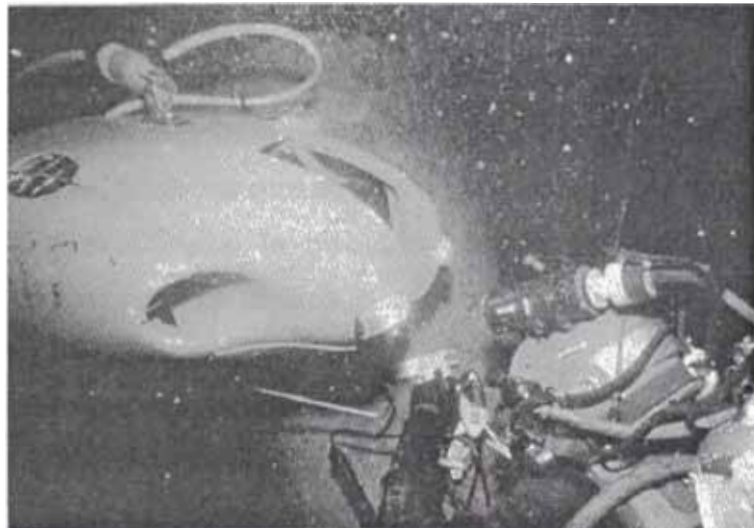


Figura 5.6 Un buzo lleva a cabo trabajos de inspección usando una cámara de CCTV casco-montada. (Foto de *Rockwater S.A.*)

El modo de manipulación con una cámara que es agarrada por el buzo involucra a dos operadores, el buzo y el operador de la cinta debido a que el video se ve en tiempo real; es por ello que el buzo al momento de la inspección se comunica con el operador de la cinta vía un sistema de comunicación, permitiendo así al operador de la cinta grabar un panorama completo y también el comentario hablado del buzo. El operador de la cinta también puede actuar recíprocamente con el buzo y complementar la información que se le está dando.



Los sistemas de ROV tienen capacidades similares al del buzo; en este caso el operador de la cinta manejará al ROV y proporcionará un comentario técnico de la inspección. Con el uso de ROV, la definición de localización y escala puede ser un problema.

Inspección táctil.

Las inspecciones táctiles son inspecciones por toque, estos normalmente se dirigen cuando se tiene condiciones de visibilidad de mala calidad como podría esperarse en un río obstruido con lodo pesado o un estanque asentándose; estos también pueden requerirse donde el elemento a ser inspeccionado es total o parcialmente enterrado por sedimento. El buzo introduce sus manos a lo largo del elemento estructural hasta encontrar un defecto, este normalmente se cuantifica con un tamaño aparente con respecto a la mano del inspector y longitudes del brazo. Una vez que se encuentra el defecto, el buzo puede tener dificultad describiendo la posición propia del defecto para que luego pueda localizarse y ser reparado a una fecha futura.

5.3.3.2 Comprobación no-destructiva bajo agua (NDT)

Hay dos objetivos principales con esta técnicas, la cual permite evaluar la calidad del concreto y la condición del refuerzo. El agua es un conductor excelente de sonido y la electricidad y por consiguiente los métodos de NDT basados en ultrasonido y electro-potencial se restringe severamente. Han habido pocos desarrollos en los métodos de NDT para poder hacer la inspección de concreto bajo agua, pero muchas de estas técnicas todavía están en fase de desarrollo.

Existe un reciente desarrollo de comprobación no-destructiva (NDT) para las aplicaciones bajo agua, el cual incluye un pulso de eco acústico, eco impacto, al sonar, radar, el láser cartográfico y la máquina perfiladora acústicas bajo agua.



Técnica ultrasónica.

Esta técnica puede usarse para evaluar la calidad del concreto en su superficie, para esto se posiciona los dos transductores (cada uno de 82 kHz) que se guían en la superficie del concreto. *Taylor Woodrow Research Laboratories* (TWRL) son laboratorios de experimentación que muestran el análisis de 40 mm de la parte exterior del concreto, con tal de que el espacio del transductor sea mayor que 350 mm; esto asegura que la velocidad del pulso no sea afectada por el refuerzo de la estructura (vea figura 5.7). Sobre agua esta técnica puede descubrir la presencia de grietas; bajo agua estas grietas llenas de agua transmiten ultrasonido con distorsión muy pequeña en la velocidad del pulso.

El trabajo de desarrollo se ha llevado a cabo en una técnica acústica para medir la geometría de la grieta. Este método utiliza una onda de la superficie acústica enfocada y tiene la habilidad de determinar anchura de la grieta y la profundidad.

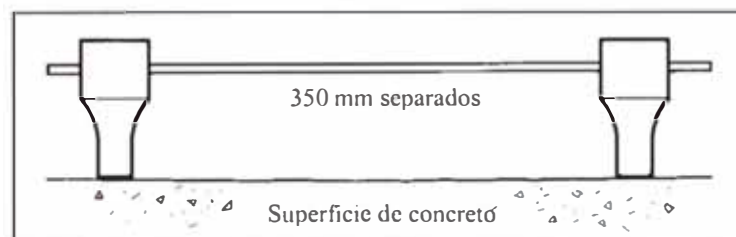


Figura 5.7 Transductores de 82 kHz

Cartografía potencial

La naturaleza conductiva del agua salada (no pura) determina eficazmente un corto fuera de la célula de corrosión; esto implica que todo los potenciales medidos están muy cerca del electro-potencial más bajo en la estructura. Luego con trazar los detalles puede ser posible descubrir los cambios muy pequeños en el potencial, posiblemente debajo de 1mV, pero para supervisar la gran potencia esto sería impráctico. Una técnica alternante es descubrir grietas por la medida de densidad actual. Estas técnicas utilizan una célula rotatoria de referencia; cuando la célula gira, detecta los cambios en el campo potencial, como se muestra en la figura 5.8.

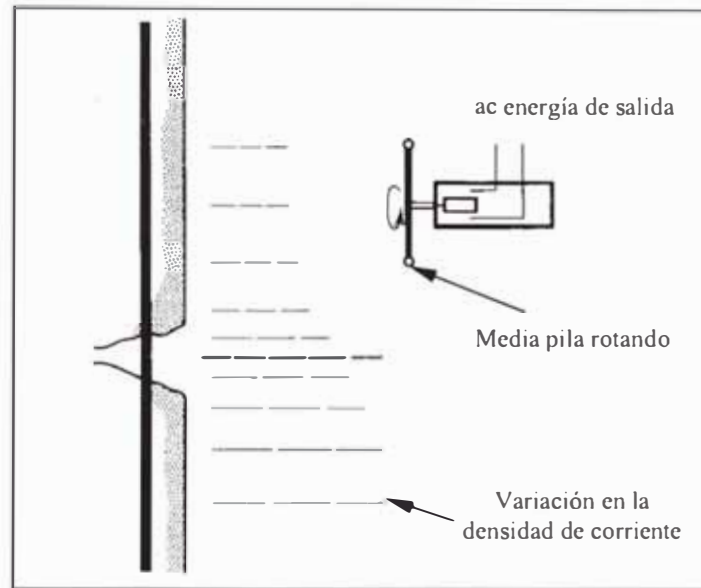


Figura 5.8 Método de densidad de corriente para detectar las grietas.

Aunque pruebas realizadas muestran resultados alentadores, se encontraron problemas con corrientes pérdidas y además la corrosión del equipo del buzo es un factor significante.

Una aplicación de la medida del potencial es hacer un estudio preliminar de una unidad midiendo su potencial global. Luego bajando la pila de referencia en el agua y midiendo el potencial, se puede evaluar el estado general del refuerzo (ver figura 5.9).

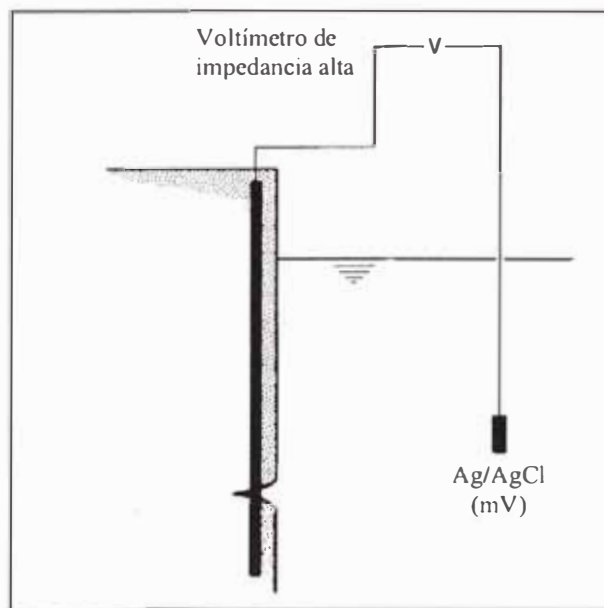


Figura 5.9 Descubrimiento de la grieta por medida potencial.



El potencial de acero denso en el concreto estará alrededor de unos 200 mV (Ag/AgCl) y el acero corroído libre tiene un potencial de alrededor de -600 mV (Ag/AgCl). Si notamos que el potencial de una unidad desciende en valor, entonces será un caso que sirva para indicar la corrosión activa en la malla del refuerzo.

Martillos de impacto y cubierta metros

Estas unidades se han adaptado para el uso bajo agua. El problema principal asociado con su uso es la preparación de la superficie del concreto.

5.4 Informe de la inspección y grabación

5.4.1 Procedimientos de información.

El objeto de la inspección es evaluar la deterioración de la estructura y no tiene sentido grabar cada mancha de la construcción o el menor defecto en la construcción. La grabación de observaciones son defectos mayores que debe llevarse a cabo en un orden sistemático. Una secuencia de operaciones puede definirse en un Plan de Inspección; un acercamiento típico sería como sigue:

- Anotar la localización con referencia a los rasgos conocidos.
- Anotar el tiempo, fecha y profundidad del sitio de la inspección.
- Armar un sistema de cinta de referencia relacionada con los rasgos conocidos.
- Anotar la posición del defecto con una pintura adherible.
- Anotar la densidad y tipo de suciedad o mancha.
- Anotar señales de daño.
- Anotar cualquier sedimento en la superficie, por ejemplo la eflorescencia.
- Anotar señales de superficie manchadas.
- Anotar agrietamiento: anchura, profundidad, orientación.



- Verificar si el concreto es sólido: taladre la superficie para descubrir hondonadas detrás de lámina astillada, verifique si el concreto está suelto.
- Grabar la magnitud de concreto perdido.
- Anotar cualquier causa clara del daño.
- Intentar clasificar el defecto.

5.4.2 Procedimientos de la grabación

El objetivo de un buen sistema magnetofónico debe ser para poder formar un banco de datos que permitirá tener referencias de datos grabados. La clave para preparar un sistema semejante es establecer un sistema de referencia de localización para la estructura que le permitirá al operador monitorear la deterioración con precisión.

5.4.3 Calificaciones de la inspección

El conocimiento de la industria para inspeccionar estructuras ha llevado a la necesidad para que más buzos y operadores de ROV adquieran un conocimiento sólido en la inspección del concreto. El número de ingenieros civiles especialistas en el mundo ha aumentado, al investigar y obtener el premio de “Salud y Seguridad Ejecutiva (HSE)”, para buzos certificados y ahora ellos pueden usar su conocimiento técnico en trabajos de inspección. Como se enfatizó en este capítulo, hay peligros intrínsecos al usar operadores inexpertos para la inspección de concreto. El problema más notable es la descripción y clasificación de defectos y manchas; en muchos casos éste es un ejemplo bueno del poco conocimiento y que es muy peligroso.

En la industria costanera a nivel mundial exige a sus inspectores que están especializado en varios aspectos sobre la inspección bajo agua. En el REINO UNIDO la principal colocación en calificaciones de la inspección es controlada por el Esquema de Certificación para la Ensambladura Soldada e Inspección Personal (*Certification Scheme for*



Weldment Inspection Personnel ó “CSWIP”). Este esquema se apuntó originalmente a la inspección de la soldadura costanera, con el uso de estructuras de acero que desarrollaron módulos para cubrir inspección bajo agua de soldaduras. Ahora el esquema se ha ensanchado para cubrir inspección bajo agua de concreto. El esquema de certificación CSWIP consiste ahora en las unidades listadas en tabla 5.4.

Volumen	Calidad
3.1 U (Buzo)	La inspección visual de acero Medidas potenciales catódicas Medida del grosor mediante ultrasónica digital Fotografía bajo agua El uso de CCTV con comentario oral
3.1 UC (Buzo)	Como anteriormente, con endoso del concreto
3.2 U (Buzo)	Supersónico Un-examina Valoración de MPI de acero Suelde la intersección de soldadura con metal de base perfilando
3.2UC (buzo)	Como anteriormente, con endoso del concreto
3.3U	Inspección de ROV 3.1U más el concreto
3.4U	Director de la Inspección bajo agua

Tabla 5.4 Esquemas de certificación en las unidades del CSWIP (*Certification Scheme for Weldment Inspection Personnel*).

Es una práctica común en los EE.UU. se requieren que los buzos sean certificados. Existen organizaciones que certifican a los buzos en los EE.UU., como es la Asociación Profesional de Instructores de Buzo (*Professional Association of Diving Instructors*), la Asociación Nacional de Instructores Bajo Agua (*National Association of Underwater Instructors*), y la Asociación de Contratista de Buceo Americano (*American Diving Contractor Association*).



5.5 CONTROL Y MONITOREO PARA EL VACIADO EN EL SISTEMA TREMIE

La supervisión bajo agua en el proceso de colocación es a menudo imposible, debido a que acostumbre a algunos buzos a supervisar un vaciado, este no visualice todo debajo del agua, estaríamos diciendo entonces que el buzo sería ineficaz como controlador. Frecuentemente el trabajo de supervisión se lleva cabo después de la culminación del vaciado; es por eso que se considera la actuación del buzo como al de una persona de investigación, para ver o analizar “que salió mal” que es un informe común. Después de la colocación, los estudios del buzo se llevan a cabo para evaluar la cantidad de lechosidad a ser quitado.

El control en la calidad del concreto es de mayor importancia que el de colocación del concreto bajo agua. Obstáculos en un tramo de la tubería o un tremie tendrán posiblemente consecuencias desastrosas, por consiguiente debe probarse todo el concreto que llega en el sitio antes de usar. La proporción de entrega también es un factor crítico en el manejo de colocación y una planta de reserva es esencial para permitir un paro imprevisto por averías. En el caso de un vaciado grande se usa una red tremies, un plan cuidadoso debe prepararse para asegurar la entrega correcta y firme del concreto a los depósitos de alimentación.

En el sistema tremie trabaja el control de la profundidad de inmersión de la tubería del tremie en el concreto, que es un factor importante. En la figure 5.10 se muestra dos métodos que pueden usarse para supervisar los niveles. La técnica que aparece es el método más tradicional pero en sistemas más avanzados se usa interruptores que flotan y puede incorporarse en un sistema de entrega totalmente automatizado.

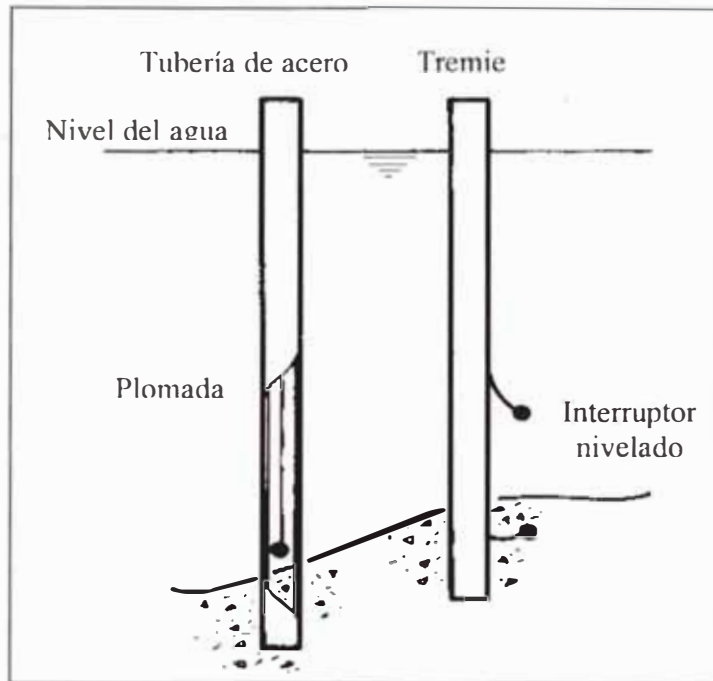


Figura 5.10 Dos métodos de supervisión de niveles en una tubería de un tremie.

5.6- Inspección de reparaciones

Las reparaciones de inspecciones en la construcción sirven para verificar que la reparación se halla hecho de acuerdo con las especificaciones descritas en los documentos. Debido al gasto asociado que ocasiona las inspecciones bajo agua, estas no siempre se realizan; pero cuando se ejecutan, ellas se realizan durante la fase construcción o después de que todo el trabajo está completo. Hay ventajas y desventajas en cada uno de los procesos, porque cada procedimiento tiene problemas únicos.

5.6.1- Procedimientos

Por la decisión del dueño o del contratista, se puede asignar la responsabilidad por realizar el control de calidad del proyecto al dueño o a una agencia independiente. Alternadamente, el ingeniero o la agencia independiente (un ingeniero supervisor) pueden realizar las inspecciones.



5.6.1.1 Técnicas de la inspección.

La mayoría de las inspecciones son visuales, con algún uso de herramientas de mano pequeñas como martillos o reglas. De vez en cuando, una muestra del centro se toma para verificar la suficiencia de la reparación; estas técnicas están descritas detalladamente en la sección 5.3 de este capítulo.

El video es especialmente útil al dueño si la inspección es realizada por el contratista, o por una agencia de buceo que no tiene especialización específica en inspección de la construcción. Un representante de los dueños puede dirigir al buzo y al video desde la superficie, si la comunicación está disponible. Sin embargo, el equipo de video requiere agua bastante clara.

5.6.1.2 Inspección durante la construcción.

Estas se realizan en los procesos donde se observa ciertas tareas críticas del procedimiento constructivo. En el caso de una reparación de astille (descascararse) largo, las inspecciones pueden realizarse por fases para que se observe el limpiado, el encofrado, y la reparación terminada. Si la reparación involucra inyección de epóxico en pequeñas grietas, la inspección puede verificar la limpieza, la colocación de la inyección, la colocación del sellado en las grietas de la superficie, la inyección real, y la reparación terminada. Las inspecciones durante la construcción se cronometra para tener el registro del progreso del contratista y para diferenciar las etapas siguientes de trabajos similares

5.6.1.3 Inspección de la post-construcción.

Algunos dueños están principalmente interesados con la apariencia exterior de la reparación y no planean poseer la estructura por mucho tiempo. Otros dueños confían en las pruebas no-destructivas después que el trabajo está completo para así determinar



la calidad de la reparación. En estos casos, sólo la prueba post-construcción o la inspección post-construcción son realizadas. En este tipo de inspección no es necesario cronometrar debido a que ya no se tienen trabajos siguientes y la construcción está terminada, además esta verificación sirve para poder realizar los pagos al contratista. La inspección de la post-construcción sólo verifica que ese trabajo fue hecho y no confirma que se realizaron todas las fases del trabajo de acuerdo con los documentos del contrato.

5.6.2- Documentación

La documentación para la inspección de la construcción debe consistir en un informe acompañado por bocetos apropiados y/o fotografías, como se estime conveniente. Si se usa un video durante la inspección, una copia de la cinta video también debe ser incluida como parte de la documentación.



CAPITULO VI: CONCRETO ESTRUCTURAL EN AMBIENTE MARINO

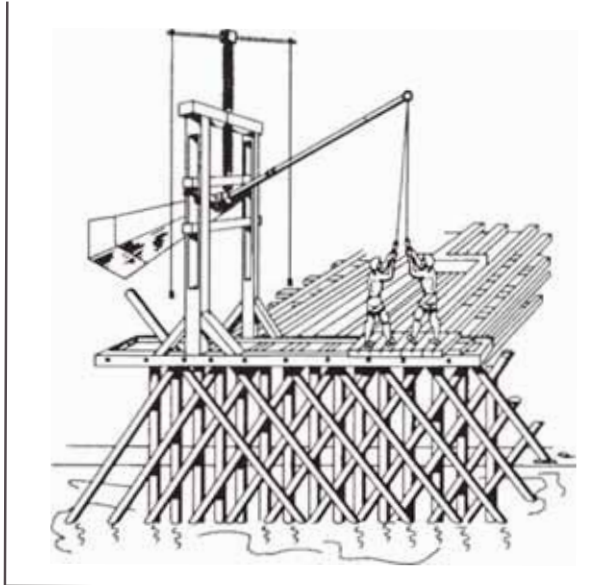
6.1 Introducción

En este capítulo se va a tratar sobre el ambiente marino en el Perú, mostrando características similares al de otros mares tal como es la composición química de agua de mar, de la misma manera podemos mencionar la similitud en el contenido del ión cloruro y salinidad total en el agua de mar; además es importante conocer como varían la temperatura en los centros urbanos donde existe puertos, para así ver identificar donde exista la mayor potencialidad de la corrosión; también indicar el ataque químico.

6.2 Referencia histórica

Las obras marinas es un tema de actualidad en el Perú por la necesidad de ampliar la infraestructura de obras portuarias. Las construcciones de las obras portuarias sirven para dar facilidad en el atraque de embarcaciones; esto ha sido una preocupación continua desde que el hombre tuvo la necesidad de desplazarse por el mar para sus actividades de comercio, exploración y conquista.

En el mundo antiguo las primeras grandes obras de ingeniería portuaria (aquellas construidas por ingenieros fenicios, griegos y romanos) fueron fundamentalmente construidas con piedra y madera (ver figura 6.1). Así lo atestiguan los restos de los puertos de Tiro, Ostia Antica, Alejandría. La piedra, en la forma de grandes bloques tallados, fue empleada para la construcción de rompeolas, espigones y muelles marginales; en algunos casos los romanos reemplazaron parcialmente la piedra por concreto vaciado. La madera fue empleada en pilotes para muelles y tableros, pasarelas, en defensas para el atraque y en edificaciones.



a) Mazo mecánico operado a mano



b) Hincado de pilote con mazo

Figura 6.1 Técnicas antiguas de hincado de pilotes de madera.

Las primeras aplicaciones de concreto fueron usadas por primera vez en Roma alrededor de la tercera centuria antes de Cristo, cuya composición era un aglomerante conformado por una mezcla de cal y ceniza volcánica que iba adherido a los agregados. Este material podía sumergirse en agua manteniendo sus propiedades a diferencia de los morteros de cal usados siglos antes en la antigua isla de Creta. El uso de este material en la construcción paso al olvido con la caída del Imperio Romano y no fue sino hasta mediados del siglo XVIII que su uso se extendió nuevamente. En los siguientes años a la caída de Roma en el siglo V, las construcciones portuarias no existieron grandes cambios en los 1500 años siguientes, hasta que los nuevos materiales (acero y concreto) comenzaron a ser empleados en la construcción de puertos. El muelle Dársena construido con ingeniería francesa en los últimos años del siglo pasado fue enteramente en madera empleando pino oregón creostado. Este muelle sirvió al movimiento de carga general y luego para productos de pesca hasta que fue demolido en los años 70, aún en buenas condiciones de servicio, para dar paso a una de las remodelaciones del puerto.



Los primeros muelles de acero en el Perú, fueron aquellos construidos para el embarque de productos agrícolas de exportación como azúcar y algodón de los valles de la costa, además también tenemos los muelles para la industria del petróleo, entre los primeros citamos los muelles de Pacasmayo, Eten y Pimentel. La infraestructura de dichos muelles fue construida con pilotes de acero empleando básicamente rieles de ferrocarril y tubos de sección circular. Los tableros fueron hechos de madera apoyados sobre vigas del mismo material. De igual manera se construyó el primer muelle de carga líquida del puerto de Talara por los años 20 y que prestó servicios hasta la construcción del nuevo terminal en los 90.

En los años 30 se introdujo la tecnología del concreto armado para la construcción de estructuras marinas con la construcción del nuevo terminal marítimo del Callao. Los muelles 1, 2, 3 y 4 fueron construidos enteramente de concreto: pilotes prefabricados de sección cuadrada como subestructura y tablero de vigas y losas macizas todo en concreto armado vaciado en sitio. También tenemos los muelles de Salaverry, Chimbote, Ilo y Matarani están construidos con pilotes y plataformas de concreto.

Los años 60 trajeron innovaciones con la introducción del concreto pretensado en la fabricación de pilotes y en la prefabricación en concreto armado o pretensado de elementos para los tableros (vigas y losas). La experiencia tenida en el Perú con las obras construidas con pilotes pretensados no ha sido buena, todos los amarraderos del muelle No. 5 han tenido que ser intervenidos por deterioro de los pilotes pretensados. Mejor comportamiento se ha observado en los elementos de los tableros, éstos han soportado bien la agresión del medio.

Recientemente se ha adoptado por utilizar pilotes de acero con plataformas de concreto; cabe destacar que la mayoría de los muelles y desembarcaderos pesqueros son construidos de concreto. A diferencia de la ciudad de Lima, donde guarda hegemonía la construcción en concreto armado, en la mayoría de ciudades del litoral (extensión aproximada de 3000 Km) este tipo de edificación es minoritaria, tal



como se muestra en la tabla 6.1 cuyos resultados son del censo nacional de 1993 a nivel de provincias de nuestro litoral.

Ciudades del Litoral	Total de viviendas	% de Construcciones de Concreto Armado	% de Construcciones de otro material
Paita	14 660	9.0	91.0
Santa	6 558	0.1	99.9
Lima	1 105 975	52.3	47.7
Pisco	19 859	15.6	84.4
Islay	11 388	35.5	64.5

Tabla 6.1 Porcentaje de viviendas de concreto armado en algunas provincias del litoral (Censo Nacional de 1993).

6.3 El ambiente marino en el Perú

El agua de mar contiene sales disueltas, agresivas para el concreto, en la cual se encuentra presente el cloruro de sodio (NaCl), cloruro de magnesio ($MgCl_2$), sulfato de magnesio ($MgSO_4$), cloruro de potasio (KCl) y sulfato potásico (K_2SO_4).

La composición química del agua de mar del litoral, es similar al de los otros mares, tal como se puede observar en las tablas 6.2 y 6.3.

Ión	Concentración (g por 100 cm ³)				
	Mar del Norte	Océano Atlántico	Océano Pacífico	Mar Báltico	Golfo de Pérsico
Sodio	1.220	1.110	1.090	0.219	1.310
Potasio	0.055	0.040	0.039	0.007	0.067
Calcio	0.043	0.048	0.041	0.005	0.050
Magnesia	0.111	0.121	0.130	0.026	0.148
Cloro	1.655	2.000	1.933	0.396	2.300
Sulfato	0.222	0.218	0.268	0.058	0.400
Total	3.306	3.537	3.500	0.711	4.275

Tabla 6.2 Composición química del agua en varios mares.



Mar	Contenido de ión cloruro (ppm)	Salinidad Total (ppm)
Mar del Norte	16 550	33 060
Océano Atlántico	20 000	35 537
Océano Pacífico	19 330	35 000
Mediterráneo	21 380	-----
Golfo Árabe	33 660	-----
Golfo Pérsico	23 000	42 750
Mar Báltico	3 960	7 110

Tabla 6.3 Contenido del ión cloruro y salinidad total en el agua de mar.

La participación de los sulfatos en los procesos de corrosión es menos significativa que la temperatura y la humedad relativa; es por eso que el fenómeno de la corrosión es favorecido por estos dos factores; como es de conocimiento al aumentar la temperatura se potencia todas las reacciones químicas y además se estima que al aumentar la temperatura en 10 °C duplica la velocidad de la reacción.

Es importante tener presente que la corrosión por carbonatación se activa en el rango de 60 a 90 % de humedad relativa y en el caso de la corrosión por cloruros la humedad es de importancia cuando tengamos un rango de 70 a 90 % de humedad relativa. La temperatura y la humedad relativa en la costa peruana se pueden apreciar en la tabla 5.4; donde observamos la regularidad de temperaturas altas en Tumbes, Piura y Chiclayo, disminuyendo y haciéndose menos crítica al sur de Lima.

Otro factor que se debe considerar en la costa peruana es el de los vientos predominantes que se desplazan de sur a norte, envolviendo a las edificaciones urbanas por la orientación de la costa, como se aprecia en la tabla 6.5



Centros Urbanos	Temperaturas				Humedad Relativa	
	Máximas		Mínimas		Media	Promedio
	Rango	Promedio	Rango	Promedio		
Tumbes	27 - 32	29.5	19.5 - 23.0	21.2	75 - 79	77
Paita	27.5 - 31.5	30.5	18.0 - 24.7	22.1	88 - 92	90
Chiclayo	23.5 - 31.0	27.2	15.5 - 21.0	18.2	72 - 78	75
Trujillo	20.5 - 26.0	23.2	14.5 - 18.5	16.5	82 - 84	83
Chimbote	25.8 - 27.9	26.7	17.9 - 20.3	19.5	74 - 81	75
Lima	18.5 - 26.5	22.5	15.0 - 20.5	17.7	64 - 95	80
Pisco	20.3 - 28.1	23.6	13.7 - 19.9	16.5	73 - 83	77
Mollendo	16.9 - 24.9	20.9	22.9 - 15.2	18	77 - 84	83

Tabla 6.4 Temperatura y humedad relativa en centros urbanos del litoral (Fuente: SENAMHI – Oficina General de Estadística e Informática. Año 1994 - 1998).

Ciudad	Orientación	Velocidad m/s rango
Chiclayo	S	2 - 4
Trujillo	SE	4 - 5
Chimbote	S	6 - 9
Lima	S	3 - 4
Pisco	S	2 - 4

Tabla 6.5 Dirección predominante y velocidad media del viento de algunas ciudades (Fuente: SENAMHI. Año 1990, 1992, 1994).

Por experiencia internacional se demuestra que los desarreglos por corrosión en estructuras de concreto armado se incrementa cuando se encuentra en las regiones semitropicales y subtropicales con temperaturas elevadas y apreciable humedad relativa, en comparación con los resultados que se obtienen en los climas fríos y/o templados; por ello en los climas tropicales se hace más difícil la prevención, sea por diseño o la construcción, en razón que los reglamentos y códigos de construcción en el ámbito internacional como es el ACI y de la FIP se basan en experiencias de los países del norte y las investigaciones a la que es posible acceder como antecedentes hacen referencia en mayoría a condiciones climáticas vigentes en los países del hemisferio norte.



6.4 Concepto general

El concreto es uno de los materiales más empleados en la construcción de muelles y puertos, pero de la misma manera, el agua marina ocupa uno de los lugares más destacados entre los agentes naturales capaces de causar efectos destructivos sobre el concreto.

La destrucción del concreto por acciones marinas es el resultado de un conjunto de factores muy diversos como:

- La acción del oleaje, actúa mecánicamente, esto causa la destrucción en los elementos estructurales parcial o totalmente sumergido.
- El viento, la cual provoca la evaporación en las zonas del elemento por encima del nivel de marea mínima, favoreciendo la cristalización de sales que actuarán como agentes destructores.
- Las diferencias de mareas con sus alternativas de mojado y secado que refuerzan las acciones destructivas.
- Las sales contenidas en el agua que reaccionan químicamente con el cemento al mismo tiempo que favorecen la acción corrosiva del acero de refuerzo.
- Los organismos marinos y los productos de su actividad biológica también contribuyen a restar permanencia a las estructuras de concreto.
- Finalmente hay que considerar la acción destructiva ocasionada por la expansión de acero de refuerzo.

En los concretos en agua de mar ocasiona el fenómeno del ataque químico, ayudando a la destrucción física y esta última facilita la velocidad del ataque químico. Los agrietamientos favorecen la penetración del agua de mar en el concreto lo que, en concreto armado, conduce a la corrosión del acero de refuerzo, mientras que en el concreto simple la magnitud del ataque químico se incrementa.

El ataque químico por agua de mar consiste esencialmente en dos partes: ataque al concreto sumergido y ataque a la porción del concreto que está por encima del nivel de mínima marea. Siendo el concreto un



material permeable se formará, por absorción y evaporación, una fuerte concentración de sales con eventual cristalización de las mismas. Estas sales reaccionan con el cemento mientras que el crecimiento de los cristales destruye físicamente el concreto. A estas acciones se suman los procesos de humedecimiento, secado, congelación y deshielo.

De esta manera el concreto que está situado entre los niveles de alta y baja marea, está propenso a la acción destructiva del oleaje y a la acción de las reacciones químicas que se formen por las sales contenidas en agua de mar y a la acción erosiva de las arenas y las gravas de la playa, ver figura 6.2.

Por debajo del nivel de la baja marea, el concreto está sujeto solamente al ataque químico y a pequeños procesos de abrasión debido a la acción de arenas y gravas. A unos pocos metros por debajo de la superficie del mar, la fuerza de impacto de las olas es muy reducida, es decir que la erosión física y la acción del oleaje no son apreciables, ver figura 6.2.

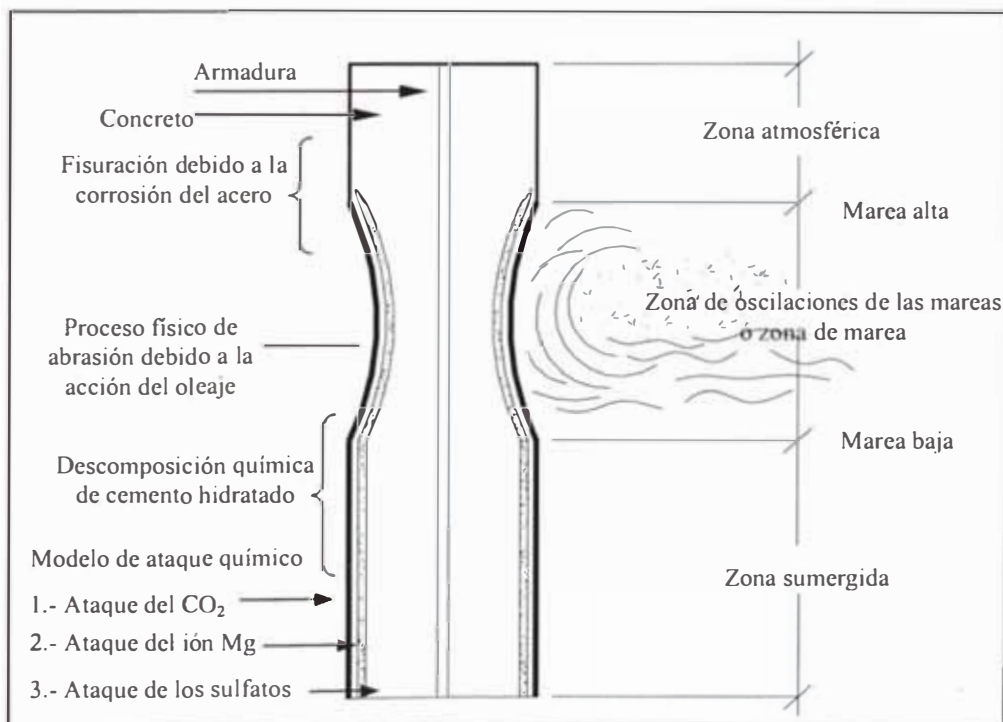


Figura 6.2 Zonas de exposición marinas de estructuras de concreto (Según P.K. Metha – Publicación ACI SP-65)



6.5 Ataque químico

El ataque químico por agua de mar es más complejo que las soluciones simples de sulfatos, debido a la presencia de otros agentes químicos. Intervienen los cloruros que favorecen la solubilidad del yeso, la cal libre es más soluble en agua de mar, la combinación del ataque químico y físico hace la acción de deslave más enérgica que la que se derivaría de una concentración similar de sulfatos en aguas freáticas.

El esquema de la reacción química puede ser el siguiente: eliminación del sulfato de calcio debido al incremento de cloruros que se producen en la solubilidad del yeso; sustitución del calcio por el hidróxido de magnesio, el cual carece de propiedades hidráulicas; reacción de sulfatos de magnesio con la cal, formación expansiva de sulfoaluminato y posterior descomposición éste, dando lugar a alumina hidratada, hidróxido de magnesio y sulfato cálcico; descomposición de los silicatos hidratados, con producción de sílice hidratada, yeso y óxido de magnesio.

En la actualidad existe una tendencia a subestimar las reacciones químicas como causa fundamental del deterioro de un buen concreto colocado en agua de mar, exceptuándose aquellos casos en que están presentes en el cemento altos porcentajes de aluminato tricálcico.

El sulfoaluminato de calcio está presente en todos los concretos como un resultado de la reacción entre el aluminato tricálcico y el yeso. El examen microscópico permite apreciar que estos cristales están uniformemente distribuidos y que ellos son inofensivos cuando son el resultado de una reacción natural durante el proceso de fraguado del cemento.

La capacidad del concreto para formar sulfoaluminato de calcio adicional con los sulfatos de agua de mar depende del porcentaje de aluminato tricálcico residual presente después que el sulfato del yeso se agote. Son las tensiones originadas por estos cristales adicionales las que puedan romper la superficie del concreto. Igualmente, en estos casos el examen microscópico permite apreciar masas de cristales de



sulfoaluminato de calcio concentradas en vez de la distribución uniforme del producto resultante del fraguado.

Como reacción secundaria, los sulfatos de agua de mar se pueden combinar con el hidróxido de calcio presente en el concreto, formando sulfato de calcio. Esta sal es relativamente soluble y su efecto es controlado por su tendencia a ser removidas conforme ella se forma.

Las sales de magnesio también se precipitan en el concreto, son parcialmente responsables de los incrementos de volumen que aparecen en el concreto.

Es la necesidad de reducir a porcentajes mínimos los contenidos de aluminato tricálcico, la que hace recomendable la utilización de los cementos tipo V, con un contenido máximo de C_3A del 5 %, y tipo II, con un contenido máximo de C_3A de 8%.

El Comité del ACI 357 prescribe los cementos portland tipo I, II o III y los cementos portland adicionantes. Adicionalmente indica que el C_3A debe ser mayor a 4% para proveer protección al acero y menor al 10% para obtener resistencia a los sulfatos.

6.6 Corrosión de acero de refuerzo

Al referirnos al ataque químico, existe una tendencia (excepto en el caso de las reacciones con el aluminato tricálcico) a considerar las reacciones químicas entre el agua de mar y el concreto en dar primera importancia al proceso de corrosión del acero de refuerzo. Esta conclusión es determinada en base a que las fallas son generalmente atribuidas a reacciones químicas, ocurren siempre en elementos de concreto armado y las estructuras de concreto simple sometidas a similares condiciones de exposición.

Las sales marinas, cuando penetran el concreto por absorción o permeabilidad a través de las grietas, originan celdas en las que se forman áreas anódicas y catódicas. Los productos de corrosión formados en las áreas anódicas del acero de refuerzo se dan en cantidad suficiente como por un aumento de volumen, originan presiones que tienden a romper el concreto adyacente.



La corrosión del acero de refuerzo necesita un pH bajo para producirse en el elemento que rodea al acero. Esta capa protectora de óxido férrico gamma (capa microscópica de óxido o película denominada capa pasiva) se forma sobre su superficie e impide la disolución del acero imposibilitando el proceso de corrosión, esta se genera por la alcalinidad del concreto que alcanza valores de pH superiores a 12.5 (medio alcalino alto), por ello deben tomarse todas las precauciones que incluyen el evitar que el hidróxido de calcio pase a carbonato de calcio, por acción del anhídrido carbónico que ingresa junto con la humedad; cuando pH disminuya valores menores de 9 en la interfase del concreto y el acero, se destruye la película protectora y se inicia la corrosión.

La presencia de sales marinas, en concentraciones mayores a 0.1%, ocasiona un aumento en la conductividad eléctrica del concreto y al mismo tiempo destruye la película protectora del acero, iniciándose la corrosión a través de un proceso electrolítico normal.

Los datos disponibles indican que la actividad de las celdas de corrosión puede ser enormemente reducida por el empleo de concretos de baja relación a/c y la utilización del agregado adecuadamente graduado, así como el incremento en el recubrimiento del concreto que cubre el acero de refuerzo.

6.7 Características del concreto estructural en obras marinas.

El ambiente marino es notoriamente agresivo con respecto a la durabilidad del material. La durabilidad del concreto en ambientes marinos depende de la calidad de los materiales usados para la mezcla del concreto, así con el procedimiento de mezcla y el volumen y calidad del agua usada.

En general, el cemento más adecuado para uso en construcción de estructuras marinas durables es un cemento Portland ordinario con un contenido de C_3A ($3CaO \cdot Al_2O_3$) menor al 8%, o un ASTM Tipo II que es considerada una exposición moderada a la acción de los sulfatos.



La práctica constructiva en Norte América usan las puzolanas, ASTM 618 Clase F (Cenizas Volantes) o N (Natural) con limitaciones en el carbón libre, sulfuro y CaO. En casos especiales donde se requiere altas resistencias e impermeabilidad se usa la micro sílice condensada (silica fumes).

La acción del cloruro externo sobre el acero es uno de los más severos problemas en estructuras de concreto en ambientes marinos. Aquí el ingeniero de diseño debe considerar los métodos de protección de corrosión para la reciente estructura construida contra la corrosión por el cloruro inducido y otros perjudiciales efectos del ambiente marino. Esto típicamente incluye el apropiado para el diseño de mezcla del concreto y/o la protección directa del acero de refuerzo. Deberá recordarse que la reacción química causa de la cura del concreto es exotérmica. Porque el concreto no es un buen conductor de calor, ello hace posible que se genere altas temperaturas internas cuando la rapidez de la generación de calor excede la rapidez de disipación. Estas altas temperaturas pueden dañar la integridad del concreto.

La reacción exotérmica del concreto puede ser controlada por una o combinación de los siguientes métodos:

- Usos de materiales minerales tales como escoria de altos hornos o cenizas combustibles pulverizadas para reemplazar una porción del cemento Portland.
- Reducción de la velocidad de colocación del concreto.
- Protegiendo las rumbas de agregado del sol, o uso de agregado preenfriado.
- Uso de hielo para reemplazar parte o todo el agua de mezcla.
- Protección del lote de la planta, silos de cemento, entrega del camión y otros del sol.
- Refrescado del vaciado después de la colocación mediante cañerías por donde circula un refrigerante para remover el alto calor generado.



La corrosión del acero de refuerzo en concreto estructural expuesto a agua de mar ha sido observada por inducir grietas y promover la deterioración del concreto.

Una realidad práctica es esa, a pesar de buenos diseños y práctica en construcción, la corrosión del acero estructural en estructuras marinas puede ocurrir. En una corriente práctica de construcción, el acero de refuerzo usado para concreto en estructuras marinas es usualmente protegida de alguna manera u otra.

Los tipos básicos de protección contra la corrosión para acero de refuerzo son cubriendo con una fusión de ligantes epóxicos y protección catódica.

Aceros con cobertura epóxica han ganado amplia aceptación y es ahora usado como una confiable medio para prevenir la corrosión y últimamente reduciendo la oportunidad que el concreto se deteriore.

6.8 Ventajas y limitaciones

Entre las principales ventajas derivadas del empleo del concreto en construcciones marinas, se pueden anunciar los siguientes:

- Se compone de materiales fácilmente obtenibles.
- Pueden ser utilizados con el mínimo de habilidad técnica, si se lo compara con otros materiales.
- Es resistente al fuego.
- Puede ser utilizado con seguridad en aire, bajo tierra o bajo agua.
- Los elementos estructurales pueden ser vaciados en sitio o prefabricados.
- Su densidad puede ir desde límites muy bajos hasta valores del orden de 4500 kg/m^3
- Pueden obtenerse resistencias estructurales del orden de 500 kg/cm^2
- Sumergido en agua, el concreto tiende a incrementar su resistencia en el tiempo.



- Mediante procedimientos de pretensado, pueden incrementarse sus resistencias en tensión y corte.
- No requiere de un proceso de mantenimiento continuo, tal como exigen el acero o la madera.

Entre las principales limitaciones del empleo de concreto en trabajos marinos pueden mencionarse las siguientes

- Siempre deben emplearse algún tipo de encofrado, con los consiguientes problemas de remoción del mismo y recargo en el costo.
- El concreto es lento en alcanzar su carga de trabajo, lo que obliga a programar un margen de tiempo para permitirle alcanzar las resistencias deseadas.
- Las secciones requeridas son generalmente mayores, si se les compara con las de otros materiales. Ello puede originar problemas de cimentación.
- Siempre es necesario prepararlo con cementos bajos en contenido de aluminato tricálcico (C_3A).
- El acero de refuerzo debe tener un recubrimiento de por lo menos
- El manejo de elementos prefabricados obliga a precauciones especiales para evitar esfuerzos de tensión en el concreto. Actualmente el pretensado tiende a eliminar este problema.
- La posibilidad de agrietamiento por expansión o contracción, calentamiento y enfriamiento, humedad y secado, etc. ocasiona la disminución en la permeabilidad con la posibilidad del ingreso de la humedad y la corrosión del acero de refuerzo.
- En climas fríos la acción alterna de congelación y deshielo produce esfuerzos internos en el concreto los cuales, sino son debidamente controlados, pueden destruir el concreto.



CAPITULO VII: COMENTARIOS ACI PARA LA SELECCIÓN DEL CEMENTO, DEL CONCRETO Y PARA EL VACEADO DEL CONCRETO PARA EL SISTEMA TREMIE.

7.1 Introducción.

Este capítulo está centrado básicamente en las consideraciones que tiene el ACI en sus Códigos 318 y 357, en la cual hace referencia de los requisitos y las condiciones que deben tener los concretos expuestos a soluciones que contengan sulfato y los tipos de cemento que se deben utilizar para cada exposición (como se puede ver en la sección 7.2). De la misma manera en la sección 7.3 se hace referencia expresa a los comentarios del ACI en sus Códigos 318 y 357 para las consideraciones del concreto; por último en este capítulo y en la sección 7.4 se hace mención al comentario del ACI para el vaciado de concreto con el sistema tradicional tremie.

7.2 Comentario del ACI para la selección del cemento.

7.2.1 Del Comité 318

El reglamento del ACI del Comité 318 considera el agua de mar como una “exposición moderada a la acción de sulfatos”, clasificación que comprende un contenido de sulfato de 150 a 1500 ppm (ver tabla 7.1), aún cuando generalmente es mayor. Esto se explica por aminorar la acción de esta sal al combinarse con otras propias del medio.

A continuación mostramos en la tabla 7.1 los tipos apropiados de cementos, las relaciones agua / materiales cementosos máximas y las resistencias mínimas para diversas condiciones de exposición.

Al seleccionar un cemento para resistir a sulfatos, la principal consideración es su contenido de C_3A ; por lo cual el ACI 318 recomienda para exposiciones moderadas utilizar el cemento Tipo II que está limitada a un contenido máximo de C_3A de 8% según ASTM C 150, también la utilización de cementos Tipo V con un contenido máximo de C_3A del 5 %.



Exposición a sulfatos	Sulfato solubles en agua (SO ₄) presente en suelo, porcentaje en peso	Sulfato (SO ₄) solubles en agua, ppm	Tipo de cemento	Concreto con agregado de peso normal Relación máxima agua/materiales cementosos en peso	Concreto con agregado de peso normal y ligero Resistencia mínima a compresión, f'c MPa*
Despreciable	[0.00 , 0.10>	[0 , 150>	-----	-----	-----
Moderada (agua de mar)	[0.10 , 0.20>	[150 , 1500>	II, IP(MS), IS(MS), P(MS), I(PM) (MS), I(SM)(MS)	0.50	4000
Severa	[0.20 , 2.00]	[1500 , 10000]	V	0.45	4500
Muy severa	<2.00 , +>	<10000 , +>	V más puzolana (£)	0.45	4500

* Puede requerirse una relación agua / materiales cementosos más bajo o una resistencia más alta para lograr baja permeabilidad, protección contra corrosión de elementos embebidos o contra congelamiento o deshielo.

(£) Puzolana que se ha determinado por medio de ensayo o por experiencia que mejora la resistencia a sulfatos cuando se usa en concretos que contienen cemento tipo V.

Tabla 7.1 Requisitos para concretos expuestos a soluciones que contienen sulfatos (Publicación ACI 318-99) y aprobado en la Norma de Concreto Armado de Código E-060 de las Normas Técnicas de Edificación del Reglamento Nacional de Construcción. (según Resolución Ministerial N° 428-2001-MTC/15.04 Vigente con fecha aprobado el 19 de septiembre del 2001)

Además los cementos combinados según ASTM C 595 hechos con clinker de cemento Portland con menos de 8% de C₃A califican para la designación MS, siendo estas apropiadas para usarse en exposiciones moderadas a sulfatos. Los tipos adecuados según ASTM C 595 son los IP (MS), IS(MS), P(MS), I(PM)(MS) y I(SM)(MS).

Para ciertas áreas cuyas exposiciones a sulfatos moderadas o severas se pueden utilizar otros tipos disponibles de cementos Tipo III o Tipo I, con un contenido de C₃A que puede ser menos de 8% ó 5% respectivamente.

Investigaciones recientes en Norte América han demostrado que el uso de ceniza volante, escorias y microsílíce producen concretos con una estructura de poros más finas y por lo tanto con una menor permeabilidad. El empleo Cenizas Volantes (ASTM 618 Clase F) han servido para mejorar las resistencias de los concretos a los sulfatos. Para exposiciones de agua de mar, pueden emplearse otros tipos de



cementos con un contenido de C_3A hasta de 10% si se reduce la relación agua / materiales cementosos máxima a 0.40.

Para la selección apropiada del cemento, son esenciales otros requisitos para lograr concretos durables expuestos a concentraciones de sulfatos, tales como: baja relación agua / materiales cementosos, resistencia, adecuado contenido de aire, adecuada compactación, uniformidad, recubrimiento adecuado del refuerzo y suficiente curado húmedo para desarrollar las propiedades potenciales del concreto.

7.2.2 Del Comité 357

El Comité del ACI 357 señala a los cementos portland tipo I, II o III el uso de acuerdo con ASTM C 150 y los cementos portland adicionantes que reúnen los requisitos ASTM C 595. Adicionalmente indica que el aluminato tricálcico (C_3A) debe ser mayor a 4% para proveer protección al acero y menor al 10% para obtener resistencia al ataque de los sulfatos. Estos límites se aplican a todas las zonas de exposición (las cuales son la zona de ambiente marino, zona de salpicadura o atmosférica, zona entre los niveles de marea alta y baja o zona de marea y la zona sumergida, estas se ilustran en la figura 6.1).

Cuando se espera condiciones donde se encuentre aceite, se debe considerar una reducción en la cantidad de aluminato tricálcico (C_3A) del cemento si el aceite contiene sulfatos solubles. Si los sulfatos solubles están presentes en el aceite, deben considerarse revestimientos o altos contenidos de cemento.

Cuando se use las puzolanas conforme lo especifica ASTM C 618, se deben hacer pruebas usando los materiales de trabajo reales para determinar las ventajas relativas y desventajas de la mezcla propuesta, con especial consideración los resultados a la resistencia del sulfato, trabajabilidad de la mezcla y protección de la corrosión del refuerzo.

Las recomendaciones de la relación agua/cemento y la mínima resistencia a la compresión a los 28 días para las tres zonas dadas se muestran en la tabla 7.2



Zonas	Máxima relación a/c	Mínima resistencia a la compresión a los 28 días
Sumergidas	0.45	5000 psi (35 MPa)
Entre niveles de marea baja y alta	0.40	5000 psi (35 MPa)
Atmosférica	0.40	5000 psi (35 MPa)

Tabla 7.2 Requisitos para la relación a/c y la mínima resistencia a la compresión a los 28 días (Publicación ACI 357-97)

7.3 Comentario del ACI para el proporcionamiento del concreto.

7.3.1 Del Comité 318

El ambiente marino es notoriamente agresivo con respecto a la durabilidad del material. La durabilidad del concreto en ambientes marinos depende de la calidad de los materiales usados para la mezcla del concreto, así con el procedimiento de mezcla y el volumen y calidad del agua usada.

Cuando el concreto está expuesto a fuentes externas de cloruros, la relación agua/materiales cementosos y la resistencia específica a compresión f_c son los mínimos requisitos que deben de considerarse, tal como se muestra en la tabla 7.3. En estacionamientos donde los cloruros pueden ser arrastrados por los vehículos o en estructuras cercanas al agua de mar, el diseñador debe evaluar las condiciones bajo las cuales pueden ser aplicados los cloruros en la estructura. Puede ser utilizable el uso de barras recubiertas con epóxico o con zinc o un recubrimiento mayor que el mínimo indicado.

Cuando el concreto con refuerzo va a ser expuesto a sales descongelantes, agua salobre, agua de mar o salpicaduras de las mismas, deben satisfacer los requisitos de condiciones especiales, como se puede ver en la tabla 7.3



Condición de exposición.	Concreto con agregado de peso normal; relación máxima agua/materiales cementosos en peso.	Concreto con agregado normal y ligero, f'_c mínima MPa.
Concreto que se pretende tenga baja permeabilidad en exposición marina.	0.50	28
Concreto expuesto a congelación y deshielo en condición húmeda o a productos químicos descongelantes	0.45	31
Para proteger de la corrosión del refuerzo en el concreto expuesto a cloruros de sales descongelantes, sal, agua salobre o salpicadura del mismo origen	0.40	35

Tabla 7.3 Requisitos para las condiciones de exposiciones especiales (Publicación ACI 318-99)

La relación a/c es el factor más importante en la protección de las armaduras, en razón de que gobierna el volumen de vacíos capilares y su interrelación en el interior del concreto, siendo este el camino para la penetración de las sales agresivas. Se ha establecido que el mínimo de vacíos se obtiene con relación a/c igual a 0.37.

7.3.2 Del Comité 357

Es necesario evaluar el contenido mínimo de cemento, como garantía de la formación de productos de hidratación para asegurar el buen funcionamiento del concreto desde el punto de vista de la durabilidad. Esta práctica generalizada en el viejo continente europeo ha sido adoptada por este Comité que recomienda un mínimo de 356 Kg/m³ (600 Lb/yd³), para proteger al acero de la corrosión y un contenido máximo de 415 Kg/m³ (700 Lb/yd³), para prevenir los esfuerzos térmicos en la masa de concreto.



El aumento de temperatura en el concreto es debido al calor de hidratación del cemento, la cual exige un control estricto para prevenir el excesivo esfuerzo gradiente de temperatura y el posible fisuramiento térmico del concreto adyacente frío. Reducir la elevación de temperatura puede ser difícil en las mezclas con alto contenido de cemento y en las estructuras marinas de concreto cuyas secciones son muy espesas.

El control de temperaturas de concreto incluye la selección del cemento que tenga un bajo calor de hidratación, velocidades de colocación reducidas, preenfriado de los agregados con el uso de hielo para reemplazar parcial o totalmente el agua de mezclado y también se puede usar nitrógeno líquido como refrescante, como lo describe el ACI 207.4R. Además pueden usarse puzolana para reemplazar una porción del cemento y así bajar el calor de hidratación del cemento.

Cuando se requiere durabilidad a congelación y deshielo, se debe usar aire incorporado en el contenido del concreto, tal como lo recomienda el ACI 201.2R en la tabla 1.4.3. El aire incorporado es el medio más eficaces que proporciona resistencia a la pasta de cemento a la congelación y deshielo. Donde el concreto se expone a la acción de congelación en un ambiente marino, se debe tener el cuidado para asegurar que la absorción de agua crítica no ocurre; usando una mezcla rica, el aire incorporado de baja relación agua/cemento, una puzolana y un extenso periodo de curado, son los medios más eficaces de producir un concreto de baja permeabilidad que es esencial en ambientes semejantes. Los agregados ligeros se comportan diferente a los agregados de peso normales. Los poros en partículas de agregado de peso ligero son grandes y los poros de los agregados de peso normales son menos probables a ser llenado debido a su acción capilar. Sin embargo, se debe tener cuidado para prevenir absorción de humedad excesiva antes de que el peso ligero del agregado se mezcle.

El concreto ligero estructural debe ajustarse al ACI 213R, cuando este se expondrá a un ambiente de congelación y deshielo, se debe usar aire incorporado, y se debe tomar las consideraciones adicionales contenidas en el párrafo anterior.



Ningún cloruro debe agregarse intencionalmente. El ión cloruro (Cl^-) total soluble en agua del volumen de concreto, no debe exceder 0.10 por ciento del peso de cemento para el concreto armado normal y 0.06 por ciento en peso de cemento para el concreto pretensado. Un ión de cloruro (Cl^-) el contenido de 0.15 por ciento puede ser aceptado en concreto armado que será expuesto a cloruros, pero sólo deben usarse después de la evaluación potencial de la corrosión de la estructura específica bajo las condiciones medioambientales dadas; estas especificaciones la podemos observar en la tabla 7.4. Es necesario comentar que cuando se ensayan los concretos por su contenido de iones cloruro solubles en agua, los ensayos deben hacerse a una edad de 28 a 42 días, la cual debe aplicarse a cloruros aportados por los componentes del concreto y no a los del ambiente que los rodea.

Tipo de elemento	Contenido máximo de iones cloruros (Cl^-) solubles en agua en el concreto, porcentaje en peso del cemento
Concreto pre-esforzado	0.06
Concreto armado que en servicio estará expuesto a cloruros	0.15
Concreto armado que en servicio estará seco o protegido contra humedad	0.10
Otras construcciones de concreto armado (£)	0.30

(£) Estas recomendaciones también lo indica el Comité ACI 318, adicionando a esta tabla la recomendación para otras estructuras de concreto ha sido sacado del Comité ACI 318.

Tabla 7.4 Contenido máximo de iones cloruros para la protección contra la corrosión de la armadura (Comentario ACI 357)

Adicionalmente a la condición del párrafo anterior, los Comités ACI 357 y 318 requieren una resistencia mínima para los elementos expuestos a ataques severos. El Comité 357 establece el valor 42 MPa (6000 psi) y el Comité 318 indica como mínimo a 35 MPa (5000 psi).

Es importante añadir las recomendaciones que plantea el Comité 357 con respecto al recubrimiento mínimos del concreto para el refuerzo en muros de concretos pesados de 20" (50cm) de espesor o mayor, la cual se resumen en la tabla 7.5. Estos recubrimientos no



deben ser significativamente mayores a los mínimos prescrito, para así restringir la anchura de posibles grietas. Esto sería más crítico para los miembros en flexión.

Zona	Recubrimiento del acero de refuerzo	Recubrimiento de ductos postensados
Zona atmosférica no sujeta al spray salino	2" (50mm)	3" (75mm)
Zona de salpicadura y atmosférica sujeta al spray salino	2.5" (65mm)	3.5" (90mm)
Sumergido	2" (50mm)	3" (75mm)
Recubrimiento de estribo	½" (13mm) menos de aquellos listados anteriormente	

Tabla 7.5 Recubrimiento nominal del concreto para el acero de refuerzo (Comentario ACI 357)

Para casos contrarios al anterior, donde las estructuras de concreto tienen secciones menores de 20" (50 cm) de espesor, el recubrimiento se restringe a las consideraciones siguientes para ser usado con precaución, siendo esta determinada por el requisito máximo del listado a continuación:

- (a) 1.5 veces el tamaño máximo nominal del agregado, o
- (b) 1.5 veces el diámetro del máximo de refuerzo, o
- (c) ¾" (20 mm) de recubrimiento a todo acero incluso los estribos.

Nota: Agregando a lo anterior, los conductos Tensado y post-tensado deben tener 0.5" (13 mm).

7.4 Comentario del ACI para el vaciado de concreto con el sistema tremie.

El diámetro del tubo es normalmente 8 veces el tamaño máximo del agregado grueso utilizado, comúnmente varía de 10" a 12" y es de 10' (3m) de largo, con embudo y un tarugo de madera o bola de jebe utilizado para iniciar el vaciado.

El tubo se eleva continuamente mientras el concreto es colocado.



El concreto difiere del normal por la necesidad de tener un flujo continuo, sin vibración o ayuda mecánica en su consolidación; teniendo un slump de 6" a 9" y mayores para los concretos Rheoplásticos: es preferible usar agregado redondeado normal para el flujo con TM 1 1/2" considerando además una buena granulometría suave y homogénea de la mezcla de piedra chancada con arena, disminuye la exudación.

La arena es generalmente 40 a 50% del peso total del agregado. Siendo la mezcla algo más arenosa que un diseño de concreto de igual resistencia pero de slump entre 2" a 3".

En el vaciado en el sistema Tremie se considera:

El tubo deberá ser levantado suavemente durante su colocación no más de 6" a 24" cada vez y manteniendo siempre el extremo del tubo dentro del concreto plástico.

La velocidad de colocación varía de 1.5' a 10' de altura por hora.



CAPITULO VIII: REPARACIÓN DE CONCRETO BAJO AGUA

8.1 Introducción.

La industria de la ingeniería civil tiene una extensa experiencia en las reparaciones de las estructuras de concretos sobre agua, muchas de estas técnicas pueden ser a menudo usadas con pocas modificaciones bajo agua y además los materiales usados no cumplen su función bajo agua. Los materiales cementosos (ver sección 3.2.1) pueden ser afectados por el lavado del cemento, aunque los materiales resina-base (ver sección 3.2.2) puede entremezclado con agua y fallar a la adhesión con la estructura a ser reparada; en el capítulo III se muestra a detalle los materiales a utilizar con sus características, ventajas y desventajas.

Antes de diseñar o especificar la reparación bajo agua, debe buscarse el consejo de los especialistas. En muchos casos pueden ser apropiados los ensayos en el laboratorio, simulando los métodos de reparación y los materiales a ser usado, esto se realiza para asegurar e identificar los problemas que presentan en un trabajo previo in-situ. Así ayudará a evitar fracasos posteriores y muy costosos.

En este capítulo se presenta varios aspectos en la reparación del concreto bajo agua incluyendo:

- Métodos de ganar acceso al sitio de la reparación.
- Los métodos de preparación, rotura exterior del concreto y el cortado del refuerzo.
- Diferentes técnicas de reparación para concreto.
- Reparación de refuerzo y tendones pretensionado.

8.2 Acceso al sitio de la reparación.

Claramente las reparaciones pueden llevarse a cabo con mayor eficiencia si ellos pueden emprenderse al aire libre que en un lugar bajo agua. Esto permite la más completa preparación, la más fácil provisión de encofrado y una opción mayor de materiales y métodos de la



colocación. También habilita a especialistas en reparación, en lugar de los buzos, ganar acceso y emprender las reparaciones.

En consideración entre el área del nivel medio de la baja y alta marea debe darse rápidos métodos de reparación y rápido colocado de los materiales aplicándose a la bajamar. El rápido colocado como el mortero lanzados (shotcrete) puede aplicarse incluso entre las olas con una pérdida mínima de material, así lo recomienda el investigador *A McLeish*, expuesto en *Luxembourg* para la Comunidad Europea en 1984.

Cuando el área a ser reparada siempre está bajo agua entonces existen dos opciones: el agua puede excluirse del área o la reparación puede llevarse a cabo bajo agua. Un rango de acercamientos para habilitar acceso al sitio a ser ganado para la reparación se discute en las secciones siguientes y se ilustra en la figura 8.1.

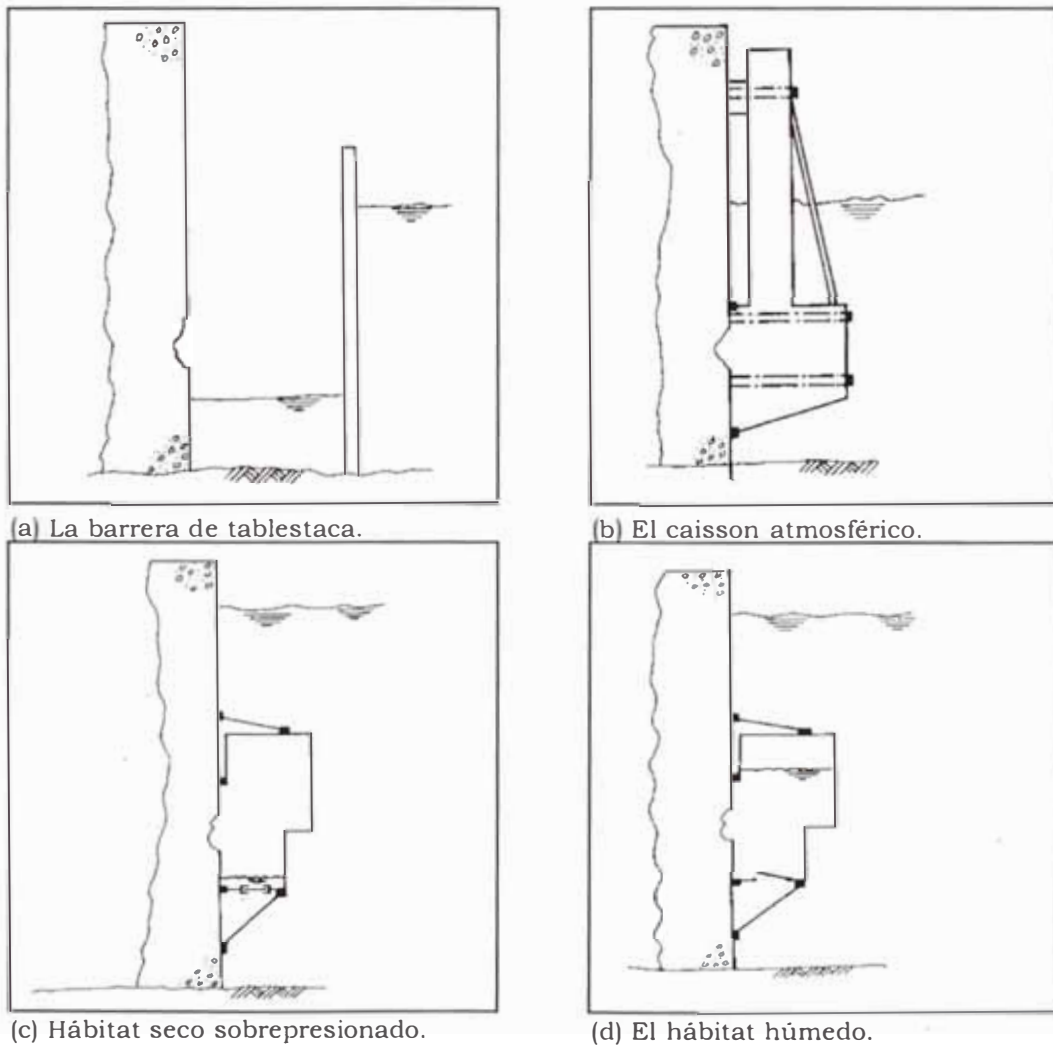


Figura 8.1 Métodos de acceso.



8.2.1 Barrera reteniendo el agua.

Para algunas aplicaciones será factible excluir el agua del área dañada por el uso de una barrera en la forma de tablestacado o barrera de tierra. Por razones prácticas esto se limitará donde exista pocas profundidades de agua y las áreas localizadas de daño.

Una vez que la barrera retiene el agua en el lugar, se procede a bombear el agua hasta tener al aire libre en la zona de reparación (ver figura 8.1(a)), luego se realizaría la reparación estructural con una extensa posibilidad en los métodos de reparación debido a que el acceso es relativamente sin restricción.

8.2.2 Caisson atmosférico

Un caisson atmosférico consiste en una cámara de acero prefabricada que puede sellarse contra la estructura a ser reparada. La cámara tiene un tubo de acceso que se extiende hasta la cima y sobrepasando el nivel del agua (ver figura 8.1(b)), este proporciona acceso al equipo y al personal. Puede equiparse con todos los servicios necesarios como iluminación, energía hidráulica, comunicaciones y el cortado y soldado de las conexiones.

El caisson puede atarse a la estructura usando pernos de anclaje o zunchamiento alrededor de la estructura donde esto puede lograrse. El sello a la estructura puede ser proporcionada por un anillo de caucho sellador (a veces hinchable), que se ajusta alrededor del perímetro de la cámara.

Una vez el caisson se ha enganchado y se ha sellado a la estructura se procede a bombear el agua fuera, permitiendo llevar el trabajo de la reparación en un estado seco.

El caisson debe ser tan pequeño como sea posible para minimizar los efectos de olas y corrientes, aunque todavía permite dentro del cuarto realizar los funcionamientos de la reparación.



El caisson atmosférico involucra un costo inicial alto (comparado con los buzos de libre natación) y no es conveniente para las reparaciones extensas y para el uso de algunos encofrados de la estructura. Este método es práctico donde se requieren varias reparaciones especialmente localizadas o en la zona de la salpicadura donde los buzos de libre natación se encuentran en riesgo.

8.2.3 Hábitat seco sobrepresionado.

Esto es similar al caisson atmosférico sólo que el acceso del buzo es proporcionado en el fondo. El hábitat se ata y se sella a la estructura y entonces se sobrepresiona para desplazar el agua.

Como allí ningún tubo de acceso va la superficie (ver figura 8.1(c)), el hábitat seco sobrepresionado puede usarse a profundidades mayores que el caisson atmosférico (generalmente debajo de los 200 m de profundidad del agua).

El hábitat seco sobrepresionado es considerado el método de acceso más complejo y puede a menudo evitarse debido a su costo alto. Su uso se realiza en situaciones donde el costo es menos importante que asegurar un funcionamiento de una complicada reparación, y puede llevarse a cabo eficazmente, o donde el área dañada está fuera del rango de profundidad del buzo, entonces el hábitat seco sobrepresionado puede ofrecer una solución práctica; como por ejemplo la aplicación se limita a reparaciones en instalaciones costaneras de petróleo o de aceites.

8.2.4 Buzo de libre natación.

El buzo de sólo acceso generalmente es el método adoptado para las reparaciones en aguas relativamente poco profundas. El buzo de libre natación puede permitir llevar a cabo una reparación más rápida que sería el caso si el área dañada va a ser desaguada o cámaras de acceso construidas e instaladas.



El buzo también puede emprender reparaciones a las áreas donde el acceso a cámaras podrían evitarse debido a la complejidad de las estructuras. Los rompeolas y diques con numerosos miembros y tuberías de descarga son ejemplos donde los buzos pueden ofrecer el único método de acceso.

Los buzos también pueden moverse prontamente de un sitio a otro. Esta flexibilidad permite llevar a cabo las tareas de la reparación simples a las diferentes posiciones en la estructura, sin la necesidad de mover una cámara de acceso.

El trabajo que se espera contar con los buzos está limitado por su ropa proteccionista y el efecto de olas y corriente. En la zona de salpicadura (comprende la zona que esta encima del nivel de la marea baja, ver figura 6.2, de la sección 6.4) el buzo de libre natación está más vulnerable y sólo debe ser considerado para los funcionamientos relativamente menores y de corta duración. Debajo de la zona de salpicadura, la acción de la ola será considerablemente menos significativa y podría esperarse que el buzo trabaje por duraciones de tiempos largos y emprender tareas más complejas.

Ensayos llevados a cabo por Aberdeen (Presentado en el 2° Simposio de la Comunidad Europea en Luxemburgo-1984) mostraron que esos buzos de la libre natación protegidos de olas o corriente podrían llevar a cabo un rango de tareas complejas, incluso las siguientes:

- Ruptura exterior del concreto usando una alta presión de chorro de agua.
- Cortar el refuerzo usando un soldador en oxy-arco.
- Instalación y ligamiento de una red de refuerzo de reemplazo y adicionales tendones pretensionado.
- Adhesión y desencofrado del encofrado prefabricado.
- Control del vaciado del concreto.
- Fatigando los tendones pretensionado usando las herramientas de tensión convencionales.



Cuando diseñamos el método de la reparación es esencial usar componentes grandes que el buzo puede manipular como guantes gruesos. La efectividad del buzo en la zona de salpicadura aumenta con la colocación de una plataforma provisional que le permite realizar un trabajo estable y así puede mantenerse apoyado el buzo y asegurar el equipo, herramientas e iluminación.

8.2.5 Hábitat húmedo.

La provisión de un hábitat húmedo para un buzo es de gran beneficio para trabajos prolongados o particularmente donde el trabajo es complejo y existen corrientes significantes. El hábitat húmedo consiste en una cámara que puede atarse a la estructura. En cuanto al hábitat seco sobrepresionado se puede proporcionar todo el equipo y servicios en la cámara, aunque en el caso del hábitat húmedo ningún esfuerzo se puede hacer por bombear debajo del agua.

La primera función del hábitat húmedo es proporcionar una plataforma del funcionamiento estable, protegido de las corrientes adversas (ver figura 8.1(d)).

8.3 Preparación del concreto y refuerzo.

El primer paso en las reparaciones de estructura dañada es determinar la magnitud del daño, ya sea que la parte dañada de concreto se encuentre a nivel o debajo del agua; esta suciedad es cubierto a menudo por una capa de crecimiento marino incluyendo alga marina e incrustación marina. Después de quitar este crecimiento, es esencial separar todo lo fisurado o concreto malamente resquebrajado; donde el refuerzo se encuentra con alta corrosión y malamente torcido, lo cual debe ser cortar.

La extracción del concreto dañado y el cortado del acero bajo agua presenta un número considerable de problemas, pero la tarea será más fácil donde las operaciones pueden llevarse a cabo al aire libre, como por ejemplo en la bajamar o usando una ataguía.



Existen muchas técnicas de cortado para el uso sobre agua. Para poder usar estas técnicas bajo agua, se requerirán modificaciones completa para poder asegurar que ellos permanecen seguros y prácticos. Por ejemplo los equipos eléctricos cortantes deben ser completamente aislados, para el costo del trabajo, esto debe estar incluido; el resultado del aislamiento ocasiona tener equipos voluminosos, haciendo las herramientas eléctricas inadecuadas por ser de difícil manipuleo bajo agua. Muchos equipos bajo agua, como son el limpiar o romper concreto, se basa en energía neumática o hidráulico. Esto produce un sistema sumamente seguro y resistente.

La opción de la técnica cortante será determinada por la naturaleza del trabajo; la lanza térmica cortará a través de concreto y acero simultáneamente, mientras que la de alta presión del chorro de agua puede ser usado para quitar solo el concreto y dejar el refuerzo intacto.

Las siguientes secciones se resumen algunas de las técnicas para preparar el concreto reforzado dañado para el uso bajo agua antes de llevar a cabo una reparación.

8.3.1 Preparación de la superficie

La cantidad y tipo de crecimiento marino dependerán de la profundidad debajo del nivel del mar y la edad de la estructura. Al quitar este crecimiento marino se puede determinar la magnitud del daño y también asegurar una buena adhesión entre el material de la reparación y la estructura existente.

A mano, los cepillos del alambre mecánicos o barreno con punzón son herramientas adecuados para limpiar áreas localizadas. La limpieza con cepillo de alambre rotatorio es una herramienta impulsada a propulsión hidráulica o neumático, es capaz de quitar el crecimiento suave como las algas marinas y los depósitos más duros como escaramujo y moluscos en el acero o concreto. Pueden usarse bajo agua



barreno con punzón y martillos de percusión para quitar la superficie del propio concreto.

Para las áreas mas grandes un chorro de agua de alta presión puede emplearse (vea sección 8.2.2). Donde se va a quitar depósitos duros, se puede introducir en el chorro una lechada abrasiva de polvo para dar una mayor facilidad cortante, también se puede agregar detergentes al chorro para quitar aceite u otros contaminantes de la superficie del concreto

Se debe tener provisionado el encofrado instantes previos al quitado del concreto dañado y del cortado del refuerzo, este encofrado debe colocarse de inmediato porque en la superficie del concreto que se va a reparar se puede volver a contaminar con crecimiento marino microscópico, esto sucede en un periodo de sólo unas horas, lo cual ocasiona la reducir en la adhesión substancialmente entre el material de la reparación y el concreto base.

Antes de poner el material de la reparación en la superficie del concreto, se debe vaciar agua limpia para quitar cualquier bacteria (o crecimiento microbiológico). En algunos casos el uso de un fungicida o alternativamente un aditivo al agua puede requerirse para quitar toda la contaminación de la superficie.

Un estudio detallado de procedimientos de limpieza bajo agua y los dispositivos que son apropiados usar en las porciones sumergidas de estructuras bajo agua ha sido emprendido por “El Cuerpo de Ingenieros del Ejército Americano” (*US Army Corps of Engineers-1987*).

8.3.2 Extracción del concreto.

Esto se realiza cuando el refuerzo se encuentra prefatigado, es decir que está en buen estado y solo se extraerá el concreto dañado sin incluir dañar ni cortar el acero. Las técnicas siguientes pueden usarse para quitar concreto y omitir el acero en el lugar, para poder realizar luego el cortado o la inclusión de una sección reparada.



8.3.2.1 Alta presión en chorro de agua.

La alta presión en chorro de agua es uno de los métodos normalmente usados para ocasionar una ruptura exterior del concreto bajo agua. El sistema consiste en dirigir perfectamente, la corriente de alta presión de agua a la superficie del concreto. Una presión de agua típica es 70 MPa (713.8 Kg/cm²) aunque las presiones sobre los 120 MPa (1223.7 Kg/cm²) pueden usarse.

Cuando es usado el chorro debajo del agua, el tamaño del chorro es agrandado por el agua circundante y produce una área de limpieza más grande pero posiblemente la proporción cortante es reducida comparado con la superficie equivalente de trabajo. Ninguna limitación de profundidad se ha encontrado, como la presión del chorro de agua es 100 veces la presión del agua circundante.

La reacción del chorro en el agua circundante genera una fuerza considerable en el equipo, es por eso que para equilibrar se necesita de un chorro compensador igual y opuesto que se proporciona en el equipo, chorreando agua debajo del agua.

El quitar el concreto puede lograrse de dos maneras: trabajando en una superficie libre quitando el concreto sin astillarse, o atravesando el concreto creando una ranura que se va intensificando. La presión de agua erosiona al cemento y el agregado propio no se corta pero si se lava.

En casos de concreto de alta resistencia o donde el refuerzo u otro metal serán cortados, una corriente firme de lechada abrasiva o arena de sílice se introduce en el chorro. El abrasivo es arrastrado de un depósito de alimentación colocado debajo del agua, reforzando su poder cortante grandemente. Cuando el chorro usa exclusivamente agua, el refuerzo de ninguna manera se debe dañar pero si se limpia en la preparación por cubrir o aplicar el material de la reparación.



8.3.2.2 Corte mecánico

Para trabajos en pequeña escala o de precisión, el corte mecánico usa sierras de diamante ladeadas impulsadas hidráulicamente y se usan a menudo taladros. Si se requiere el método puede usarse para cortar el concreto y acero, aunque la profundidad de corte está limitada por el diámetro del disco cortante. El uso de cortadores del disco generalmente limita a proporcionar un borde afilado en una área quebrada o rota exteriormente. Esto asegura una interfase buena entre el material de la reparación y la estructura, y evita un borde suave.

Para trabajo poco profundo (menos de 6 m aproximadamente), pueden usarse un rompedor neumático convencional para quitar concreto. Un rompedor de impulsión hidráulico es similar a los rompedores neumáticos convencionales pero pueden usarse para profundidades mayores. Al usar rompedores mecánicos, se debe tener cuidado para evitar causar la micro-fisuración en el concreto sólido adyacente a la región de la reparación.

8.3.2.3 Técnicas de fraccionamiento o resquebrajamiento

Se taladran varios agujeros en la sección del concreto solo en la línea donde el concreto será fisurado. La dirección y forma del plan de fisuramiento puede ser controlado por el posicionamiento correcto y orientación de los agujeros del preperforación. Cuando una presión interior es aplicada al interior del agujero, el concreto circundante falla en tensión.

Dos formas de reventar o estallar hidráulicamente están disponibles, el reventar de embolo buzo y el reventar de cuña. El reventar de embolo buzo actúa de una manera similar a una fila de gatas hidráulicas. El dispositivo consiste en un cuerpo de control hueco sin sustancia, a menudo cuadrado en perfil transversal, con una serie de embolo buzo colocado en la cara opuesta. El reventar se inserta en un agujero de preperforación con una plancha de relleno de acero y se



sobrepresiona a 125 MPa (1042 Kg/cm²). Esto causa al émbolo buzo a extenderse y resquebrajar el concreto. Como el embolo buzo se extiende en una dirección que es sólo en la dirección de fisuración, ocasionando así que se pueda controlarse fácilmente.

El reventar de cuña consiste en una cuña de acero que se fuerza bajo presión hidráulica entre dos placas de cuñas de acero que van adelgazando hasta rematar en punta. Cuando se inserta en una preperforación y sobrepresionando en la placa de la cuña que se fuerzan contra la cara interior del agujero, esto lleva a desquebrajarse el concreto. Aquí también puede ser controlado la dirección de fisuración por la orientación del reventar.

El desquebrajar también se puede lograr usando un cemento expansivo (Ejemplo de Bristar). Esto se mezcla con agua para formar una pasta que se transporta bajo agua en bolsas plásticas y se insertan en los agujeros de preperforación. El cemento se extiende despacio sobre un periodo de 12 a 24 horas para estallar en el concreto. Alternativamente, un tapón del preamoldar de Bristar puede exponerse al agua en el sitio de trabajo por un periodo prefijado y así entonces pueda insertarse en el agujero.

El sistema de Cardox es una técnica que desquebraja con el uso de cartuchos de dióxido del carbono comprimido para crear presión interior. Se colocan los tubos de Cardox cargados con dióxido del carbono líquido en los agujeros del preperforación y se encorchan firmemente. Esta mezcla química no-explosiva, en un papel recipiente, actúa como el acelerador del dióxido del carbono. Al Pasar una corriente eléctrica a través de esta mezcla comienza una reacción que va elevando la presión del dióxido del carbono escapando en el agujero y causando rotura del concreto entre los agujeros adyacentes.

Siguiendo el uso de los tubos Cardox que estalla, las barras del refuerzo todavía pueden necesitar ser cortadas. Por experiencia de Cardox posicionando las cargas, las barras de refuerzo de 15 mm de diámetro pueden ser recortada por la detonación.



8.3.3 Extracción del concreto reforzado

Algunas de las técnicas describieron sobre el desmenuzar el concreto principalmente, mientras puede cortarse el refuerzo. En muchos casos, ellos deben usarse junto con las técnicas de cortar acero si el concreto reforzado va a ser quitado completamente.

Dos enfoques, uno explosivos y el otro lanza térmico, puede usarse para desmenuzar o cortar por medio del concreto reforzado en una operación. Se han usado explosivos durante muchos años en aplicaciones bajo agua por el uso de cargas de demolición de contacto. Como en muchas técnicas de cortado bajo agua, el uso de un contratista experimentado es esencial para una demolición exitosa y controlada, esto es muy dependiente del tamaño y colocación de la carga explosiva. La rotura logrado por los explosivos de contacto convencional es muy irregular y puede ocasionar daños a la estructura adyacente.

Donde se requiere un corte más preciso, el uso de una carga “amoldada” es una mejor opción. Esto consiste en seleccionar el contenido del explosivo en un forro de metal suave. El forro normalmente contiene una sección cónica que cuando el explosivo se detona, es propulsada hacia adelante como una corriente de partículas de metal. Esta concentración de acción cortante se localiza en el área de concreto. La carga formado produce un corte más liso que una carga convencional, como el explosivo se usa más eficazmente, reduce la intensidad del impacto de las olas.

La lanza térmica es una técnica bien demostrada para cortar a través de las secciones espesas de concreto reforzado. La lanza consiste en un tubo de acero apacible en el que se condensan varios varas de acero. El oxígeno se pasa abajo del tubo a combustible de hierro-oxígeno en un proceso de fusión, que se comienza al final de la lanza calentando con un equipo de quemado convencional. Las temperaturas son generadas alrededor de 2200 °C, habilitando concreto y acero para ser cortado de un lado a otro. Cuando cortamos el refuerzo del concreto,



el concreto es fundido por el intenso calor y se escapa como escoria. Cuando el refuerzo es alcanzado, este es “quemado” generando calor extra considerable.

La lanza térmica está limitada para el uso en agua poco profunda, como a mayor profundidad la presión hidrostática aumenta, entonces se requiere aumentar la presión de oxígeno y la proporción a la que la lanza está lejos de quemarse. “La explosión de vapor” entre el hidrógeno del agua y el oxígeno sin quemarse puede también ser suficientemente severa, poniendo en riesgo al operador.

Ambos métodos, el corte explosivo y la lanza térmica están mejor preparados para una completa extracción de la sección de la estructura (el concreto y los refuerzos son cortados).

8.3.4 Corte del refuerzo

Antes de vaciar el concreto nuevo en el área dañada, quebrada y severamente deformada las barras reforzadas debe cortarse e instalarse las barras del reemplazo. Al cortar el refuerzo, debe considerarse el método de unión en la recolocación de la barra así como asegurar que los extremos cortados son convenientes para los enganches o si se requiere soldarlo. A continuación se muestra los tres más comunes métodos normalmente usado para cortar el refuerzo bajo agua.

8.3.4.1 Corte mecánico

Para las reparaciones en pequeña escala, donde sólo un número limitado de barras tiene que ser cortado, el acercamiento más conveniente está por el uso del corte mecánico. Un rango de herramientas hidráulicamente manejadas para el uso bajo agua incluyendo cortadores del disco y máquina recortadora de pernos están disponibles. Para las barras del diámetro más pequeñas, pueden usarse herramientas cortantes operadas a mano.



8.3.4.2 Corte de Oxy-hidrógeno

Ampliamente usado sobre agua para cortar el acero, el soplete del oxy-acetileno confía en la interacción de la llama de gas y el carbono para cortar acero. El acero es oxidado y “quemado” fuera. Bajo agua el acetileno es reemplazado por hidrógeno para superar el problema asociado con la inestabilidad de acetileno a profundidad.

La llama de oxy-hidrógeno, no es tan caliente como la llama oxy-acetileno, resultando un corte más lento o el proceso ardiente. El aumento de velocidad y facilidad de corte que usa el método del oxy-arco han producido un declive en el uso del corte de oxy-hidrógeno.

8.3.4.3 Corte del Oxy-arco

El calor de corte del oxy-arco es generado por un arco eléctrico en lugar de una llama de gas. El oxígeno, a una presión de entre 5 y 8 MPa, es forzado abajo en el centro de un electrodo hueco causando así que el acero del refuerzo a ser oxidado y soplando lejos el producto oxidado. Esto deja el extremo de la barra cortada y limpia, preparada a ser soldado o recibir un ensanche de refuerzo. Mucho de los equipos cortantes disponibles en oxy-arco también pueden usarse para el soldado bajo agua cambiando el tipo de electrodo a ser usado.

8.4 Técnicas de reparación para el concreto

8.4.1 Reparación de la superficie astillada

Donde el daño accidental ha producido astillamiento localizado en la cubierta de concreto es indispensable que la cubierta sea reemplazada para prevenir que ocurra una futura corrosión del refuerzo. En la zona de la salpicadura, en particular, la corrosión puede tener una área de daño menor, pero la fisuración se extiende en forma rápida.



Antes de reemplazar la cubierta de concreto, el área debe prepararse quitando cualquier concreto suelto y el crecimiento marino como completamente se describió en Sección 8.2. El perímetro del área astillada debe tener corte a una profundidad de 12 a 20 mm dependiendo de la magnitud del daño para eliminar los bordes suaves.

En la zona de la salpicadura será generalmente factible el uso de un mortero cementoso aplicado con paleta en el área dañada. Donde la magnitud del daño está muy limitada, entonces se usa una masilla de mortero epóxico la cual puede ser más apropiada.

Después de la preparación, los pasos básicos en la reparación de una área localizada de astillamiento en la zona de la salpicadura son:

- Completamente baldear el área con agua fresca y dejar húmeda (excepto donde algunos materiales del epóxico serán usados).

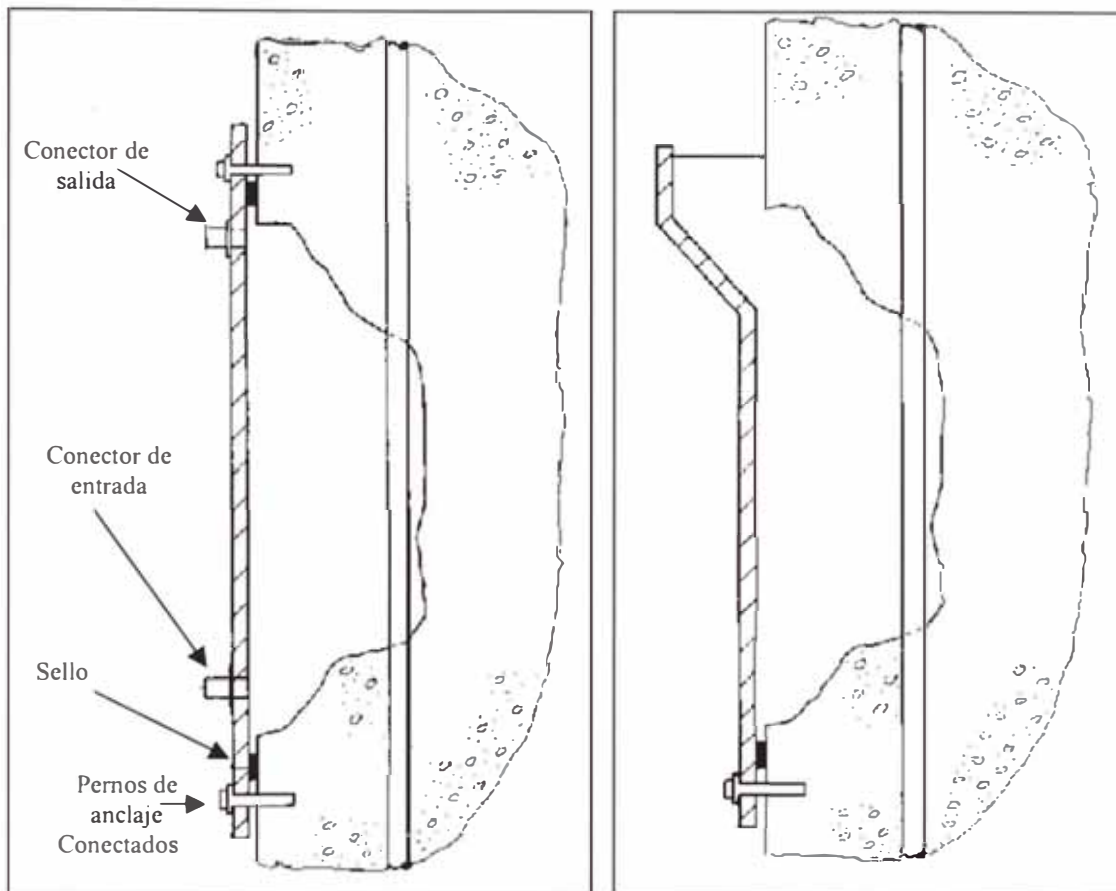
- Aplique una capa o forro ligante, trabajar bien esto en la superficie (no necesario de algún epóxico de la reparación ni de los morteros modificadores de polímero)

- Antes de la capa se ha aplicado un mortero de reparación.

- Aplicar una membrana curadora a las reparaciones cementosas.

- Proporcionan la protección contra la acción de la ola hasta que la reparación este endurecido suficientemente.

Para las reparaciones de resane más grande en la zona de la salpicadura y para la mayoría de las reparaciones bajo agua será necesario proporcionar encofrado para contener el material de la reparación. La provisión de cualquier encofrado causa un retraso en la operación de la reparación permitiendo desarrollar el crecimiento marino. El retraso también puede prevenir el uso de la capa ligante cuando es esencial para que la reparación del material sea colocada mientras la capa ligante todavía es pegajosa. Si la capa ligante empieza a endurecer entonces pondrá a una superficie lisa y proporcionará un ligante de mala calidad.



(a) Encofrado para la colocación por bombeo. (b) Encofrado tipo muesca.

Figura 8.2 Encofrado para la reparación de resane.

Se muestran dos tipos típicos de encofrado para las reparaciones de resane en figura 8.2; estos normalmente son empernados a la estructura y en algunos casos se amarran alrededor del miembro.

Donde el material de la reparación será bombeado en el encofrado, se proporcionan dos aperturas. La lechada o el mortero se bombea continuamente cerca del fondo al área dañada, desplazando el agua hacia afuera y por arriba cerca de la cima del encofrado. Esto minimiza cualquiera mezclado entre el material de la reparación y el agua y además reduce deslave de cemento. El riesgo de entrapar cavidad de agua dentro de la reparación también está reducido. El movimiento del mortero en el encofrado desarrolla esfuerzos en la interfase del concreto, forzando al mortero en la superficie y mejorando la adhesión.

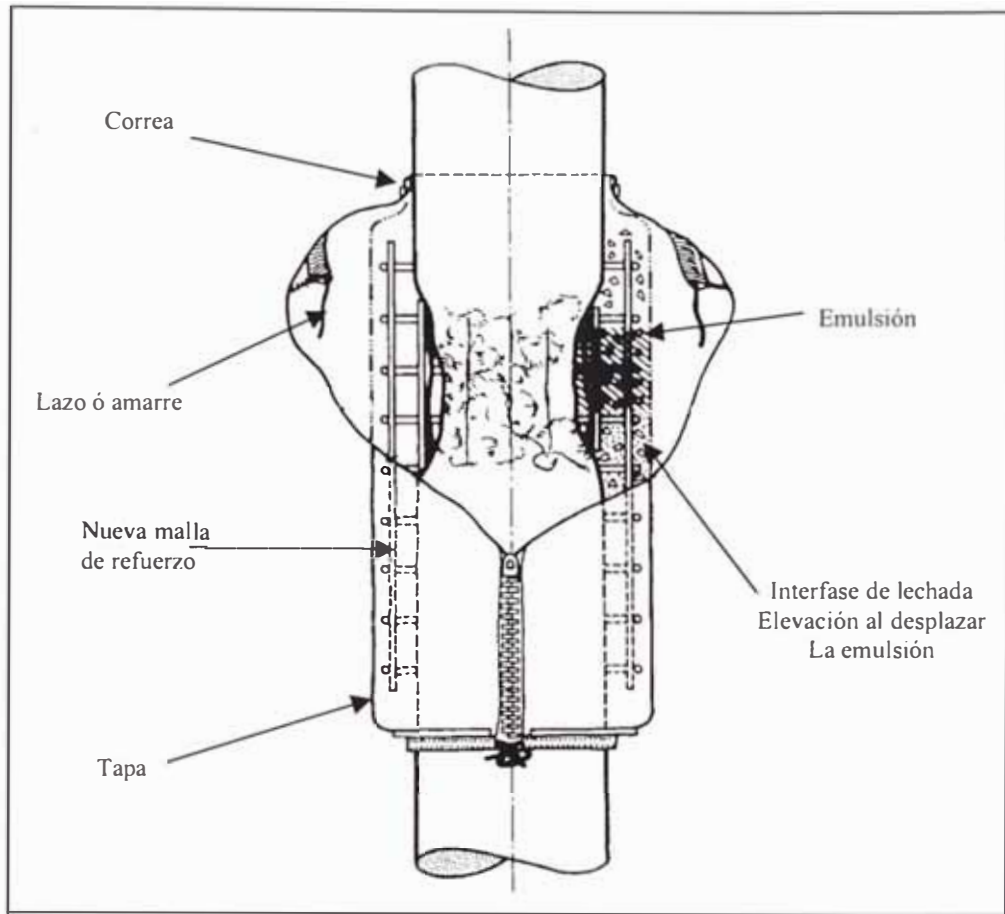


Figura 8.3 Detalles de una reparación que usa encofrado flexible.

Donde el material de la reparación es vertido en el encofrado, produce una sección de la reparación que debe cortarse después de que el encofrado sea quitado. La selección del mortero de la reparación debe ser con la consideración de no sufrir deslave de cemento para poder vaciar dentro de un encofrado del tipo camiseta. La mezcla también debe ser auto-compactado porque la vibración llevaría al entremezclarse con el agua.

También pueden usarse un encofrado flexible para trabajo de reparación. En la figure 8.3 se muestra como el encofrado flexible es atado alrededor de una columna o pilote dañado. Donde el refuerzo es instalado con mucho cuidado para asegurar el adecuado colocado del separador ó espaciador y fijado con tal de controlar la tapa a las barras, particularmente donde las corrientes fuertes pueden causar movimiento al encofrado.



Una técnica de la reparación usada por Rescon involucra inicialmente el llenado parcial del encofrado con un agente, emulsión de ligante (vea Figura 8.3). El mortero de la reparación o el concreto luego es introducido en el encofrado, desplazando el agente ligante que cubre la superficie preparada del concreto.

8.4.2 Reparación de gran escala

La necesidad para la reparación a gran escala generalmente habría sido provocada por una sobrecarga estructural, daño de fuego, impacto de buques y quizás comúnmente en la zona de la salpicadura donde encontramos la corrosión del refuerzo.

Donde existe áreas grandes a ser reparadas, la selección del material de reparación y los métodos es de importancia crítica porque si exuda o se contrae, esto no es el resultado de la dispersión en la interfase entre la reparación y el concreto origen. En reparaciones espesas el aumento excesivo de temperatura de algunos materiales en la reparación puede producir descomposición térmica, aunque el efecto del agua circundante baja la calor reduciendo el aumento de temperatura.

En muchos casos puede ser necesario realizar reparaciones al refuerzo debido a que esta torcido o la corrosión sea significativa. La reparación del refuerzo se muestra en la sección 8.5.

Los procedimientos generales para emprender una reparación de gran escala son como sigue:

➤ Se prepara el área dañada como se mostró en la Sección 8.2., donde será necesario cortar el refuerzo después del concreto para asegurar que las barras sean protegidas de corrosión adicional. Esto también asegurará que la reparación este bien atada en la estructura. El perímetro del área debe ser cortado a por lo menos 20 mm para prevenir un borde suave. En la cima del área dañada del concreto debe reducirse la superficie inclinado para asegurar que el agua no se entrapa contra el concreto y se agua puede escapar.



➤ Las barras de refuerzo deben limpiarse completamente, si es necesario, reemplazarlas o complementar con barras adicionales. En la zona de la salpicadura se cubren las barras para la protección de la corrosión que pueda adicionarse. Bajo agua esto no es generalmente factible, y en todo caso el riesgo de corrosión no es serio.

➤ La selección del tipo de encofrado dependerá del método a ser usado para colocar el concreto en la reparación. El minimizar el efecto de exudación asegura una buena adhesión, es beneficioso si la presión puede ser aplicable hasta que el concreto pueda endurecer. Esto requerirá encofrado robusto que es lechada densa y herméticamente sellada a la estructura. Donde el prevaciado de agregado será usado, entonces el encofrado debe ser modular tal que puede construirse en secciones como los beneficios de la colocación de agregado

➤ Inmediatamente antes de poner el concreto de la reparación, en el encofrado deben vaciarse completamente agua fresca para reducir contaminación del concreto con las sales.

➤ Bombear es el método más conveniente de la colocación del concreto. El concreto se bombea cerca del fondo del encofrado y va desplazando el agua hacia fuera de la cima de este. El bombeado puede continuar vaciando hasta poder expulsar hacia fuera la capa de la cima del concreto que pueda entremezclarse con el agua en el encofrado. Al minimizar el entremezclado, el concreto fluye alrededor del refuerzo en proporción lenta de bombeo que deben adoptarse y la vibración sólo debe llevarse a cabo después de que el encofrado está lleno de concreto. Cerrando con llave la apertura superior, una presión puede construirse para neutralizar los efectos de exudación de la mezcla; la presión también fuerza al concreto de la reparación en la superficie preparada y aumenta así la fuerza a la adhesión.

8.4.3 Prevaciado de concreto agregado

Agregado bien graduado minimiza el volumen de vacío, este es vaciado dentro del encofrado y se vibra o se varilla (compactar con



varilla) hasta que este bien compactado. Una lechada conveniente es luego inyectada dentro de la base del encofrado que contiene al agregado compactado. La elevación del nivel de la lechada densa desplaza la corriente de agua ascendente hacia afuera de la cima del encofrado cuando llena el producto.

Para una inyección exitosa de lechada, el encofrado debe diseñarse para tener una lechada densa previniendo la dispersión y deben sellarse herméticamente al concreto circundante. También debe adecuarse una abertura en la cima facilitando aire para poder escapar en el agua. El uso de una ventana en el encofrado facilita el movimiento de la lechada que va a ser supervisado cuando se llena.

Antes de llenar el encofrado de lechada, el agregado debe vibrarse en el lugar y debe vaciarse con agua fresca para reducir el agua de mar o la contaminación de sedimentos. Se debe tener cuidado en asegurar el encofrado cuando está lleno con agregado hasta la cima del área dañada, por otra parte si encontramos una zona de solo lechada ocurrirá como resultado una alta contracción y fisuración. La lechada se inyecta entonces a través de tubos de entrada al fondo del encofrado en un proceso continuo sin interrupción hasta que la lechada fluye fuera de la cima del encofrado. La inyección debe continuar asegurando que la primera porción de lechada inyectada sea vaciada hacia fuera del encofrado, por considerar que pueda estar entremezclada con el agua y podría padecer deslave de cemento. Se recomienda que el encofrado no sea vibrado durante la inyección (como sería el caso sobre agua), como sabemos la vibración aumentará el riesgo de deslavar de cemento.

8.4.4 Inyección

Las grietas o huecos en el concreto bajo agua pueden ser reparados por la inyección de resina o lechadas cementoso que siguen procedimientos similares a aquellos usada en el seco. La opción de material es principalmente dependiente del tamaño de la grieta o hueco a ser inyectado y el movimiento futuro que se espera.



Para las grietas más de unos milímetros en anchura, la lechada cementosa penetrará suficientemente y para las grietas delgadas debajo de 0.1mm aproximadamente, es conveniente la resina de epóxico. Generalmente no es necesario inyección de grietas cuando la anchura de la grieta sea menos de 0.1 mm. La profundidad de penetración en las grietas también dependerá de la presión aplicada y el tiempo para que el material penetre debido a la presión antes que se solidifica.

Donde hay evidencia de corrosión en la grieta, será necesario romper el concreto hasta el refuerzo y llevar a cabo una mejor y completa reparación que la de inyectar lechada en la grieta.

El procedimiento general que debe adoptarse para la inyección de la grieta es como sigue:

- Preparar la superficie de concreto a lo largo de la longitud de la grieta.

- Adhiera pezones (boquillas) de inspección a intervalos a lo largo de la grieta usando material cementoso de rápido fraguado o masilla de resina. El espacio de los pezones y sus diámetros dependerán del tamaño y forma de la grieta a ser inyectado y el material a ser usado. Un espacio de entre pezones de 100 y 300 mm y un diámetro de 5 mm es típico. Los pezones pueden ligarse directamente a la superficie sobre la grieta o pueden insertarse en un agujero perforando la grieta.

- El sello de la superficie de la grieta a lo largo de su completa longitud puede ser logrado cortando una ranura pequeña a lo largo de la grieta y llenando esto con mortero o más simple aplicando el mortero a la superficie concreto.

- Baldear o limpiar la grieta con agua fresca para quitar los contaminantes y asegurar que el camino de la inyección este libre. El uso de agua de color permitirá identificar el punto de filtración y sellado.

- Inyección cementosa o lechada de resina en las grietas a través de los pezones a un extremo de la grieta. Continúe inyección a través de los pezones sucesivos hasta que la grieta está completamente lleno. Cierre con llave cada pezón después del uso.



Los dos métodos de inyección normalmente usados son la alimentación por gravedad y la inyección de presión. Donde se usa presión para la inyección de resina, se pueden mezclar los dos componentes de la resina en la superficie y luego transportado al sitio de la reparación en un recipiente sobrepresionado, o ser mezclado en una especial boquilla de entremezclado inmediatamente antes de la inyección (sistema shotcrete).

Las resinas de epóxico pueden tener una densidad similar al agua, entonces cualquier material que se dispersa flotará alrededor y causará un riesgo a los buzos que emprenden la reparación. Todos los pasos deben tomarse para minimizar cualquier dispersión de resina durante las operaciones de inyección.

Donde se usa una resina de epóxico rígida puede restaurarse la tensión y la resistencia al esfuerzo cortante de la sección. Los sistemas de resina epóxico son capaces de restaurar algún grado de resistencia al concreto y es importante donde la integridad estructural es crítica.

Donde la causa original del agrietamiento se repite en una reparación; en estos casos es mejor tratar la grieta como una junta en movimiento usando material de módulo más bajo para inyectar en la grieta o proporcionar un sello en la superficie. Materiales convenientes basados en el poliuretano más flexible o selladores del polisulfuro proporcionarán una barrera al ingreso de humedad y sales aunque todavía permite algún movimiento.

8.4.5 Mortero lanzado (shotcrete)

Su uso se encuentra en áreas grandes de la superficie que serán reparadas o una columna o viga que serán encajonadas, es por eso que el uso de mortero lanzado puede ser la mejor solución. El proceso de la mezcla en seco es generalmente usado, consiste en la mezcla de la arena y el cemento que pasa a través de la manguera y al momento de la entrega se mezcla con el agua en la boquilla.



Aunque no pueden aplicarse mortero lanzado bajo agua, el uso de aditivos promueve el fraguado muy rápido para permitir usar este método en la zona del salpicadura y la zona de la baja y alta marea. Los productos están disponibles (ej. El mortero lanzado de Sika Inertol llamado Sigunite) y pueden producir un fraguado inicial dentro de 30 s y un fraguado final dentro de 1 min.

La aplicación exitosa de mortero lanzado es muy dependiente en la habilidad y experiencia del operario de la boquilla en ir ajustando el suministro de agua y la presión y asegurando uniformidad de espesor. Con aplicación cuidadosa pueden lograrse resistencia de concreto de 30 MPa (250.2 Kg/cm²) prontamente con buena adhesión al concreto padre y una resistencia alta a la abrasión.

El espesor del mortero lanzado generalmente debe limitarse a un máximo de 50 mm, aunque pueden aplicarse segundas capas si se requiere aumentar el espesor.

8.4.6 Manga de acero

Es utilizado mayormente en las reparaciones de pilotes de concretos reforzados o columnas afectada por la corrosión del refuerzo que se muestran con la ruptura exterior del concreto dañado. Esta operación exigirá mantener los apoyos temporales a la estructura restante.

Una alternativa a este método de reparación es la provisión de una manga de acero alrededor del pilote. El vacío entre la manga y el pilote es luego llenado con mortero o concreto. La manga puede diseñarse para acomodar corrosión extensa (y la expansión resultante) del refuerzo. También debe poder resistir las fuerzas en el pilote en el hecho que las barras se corroen suficientemente para volverse ineficaces debido a cualquier pérdida de área o pérdida de adhesión. Para lograr esto, la pared de la manga debe ser suficientemente espesa y debe extenderse sobre y debajo de la longitud dañada del pilote. La carga es luego transferida y la manga por corte.

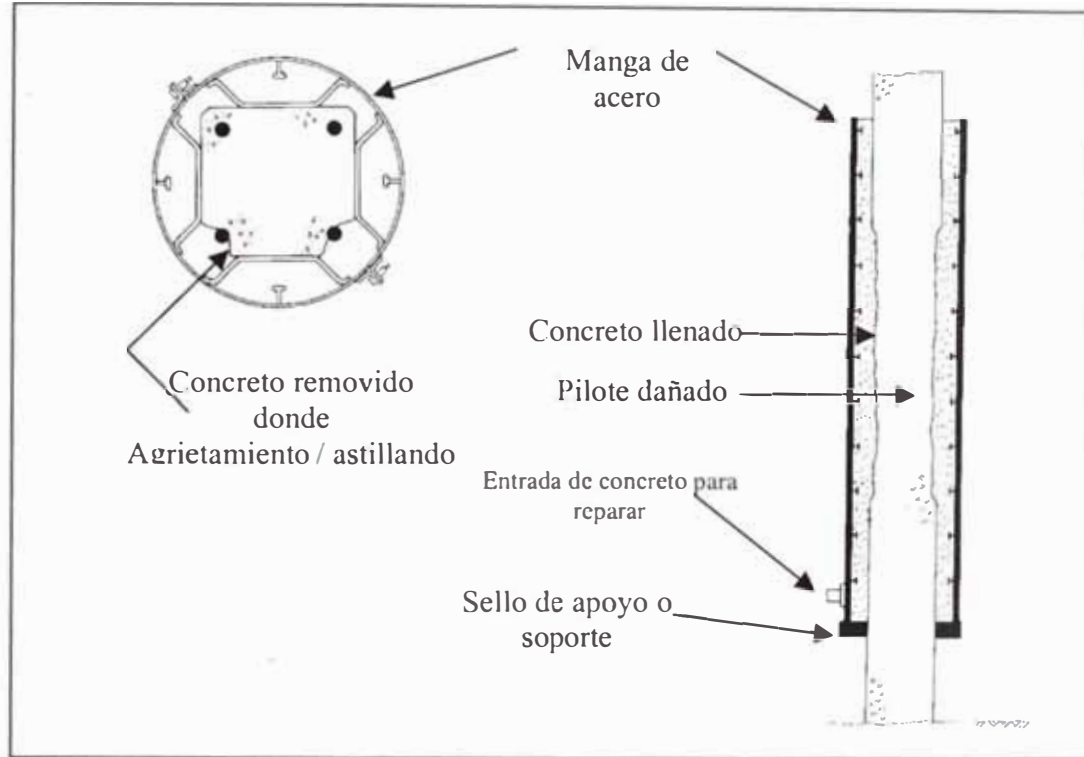


Figura 8.4 Reparación con una manga de acero

El arreglo general de una reparación con una manga de acero se muestra en la figura 8.4 y el método de la reparación se resume a continuación:

- Prepare el pilote dañado quitando el crecimiento marino y cualquier sección suelta de concreto.
- Sujetar con un soporte de anillo de cierre temporal alrededor del pilote cerca y debajo del área dañada. En general, el daño de corrosión se limitará a la zona de salpicadura y el nivel medio de la alta y baja marea. En la zona debajo del agua se tiene el pilote ileso.
- Se emperna las dos secciones semi-circular de la manga que van junto alrededor del pilote.
- Bombear el concreto o mortero de la reparación cerca del fondo de la manga para desplazar el agua hacia afuera.
- Al desencofrar o quitar el soporte de anillo de cierre temporal, se debe aplicar a la capa una protección de corrosión a la manga de acero.



8.5 Refuerzo de reparación.

En los casos de daño severo a la estructura de concreto reforzada hay una posibilidad de que las barras reforzadas se rompieran o por deformación menos severas. Donde el daño ha sido causado a través de impacto, el daño al refuerzo puede localizarse al punto de impacto o donde las rotaciones de columnas o pilotes han ocurrido. En muchos casos será suficiente forzar las barras torcidas atrás en su posición original y asegurar la tapa adecuada y reemplazar el concreto dañado.

Una reducción en el esfuerzo excesivo de rotura y la vida de fatiga puede esperarse aunque la resistencia a la tracción no puede reducirse grandemente.

En particular, en la zona de la salpicadura la corrosión general o las picaduras locales pueden producir una pérdida significativa de área de acero y pueden hacer necesario la provisión de barras adicionales. Al unirse el refuerzo, sobre todo en las esquinas, puede afectarse particularmente mal.

Cuando diseñamos, el método a ser usado para reparar el daño del refuerzo, debe considerarse varios problemas:

- El refuerzo confinado puede estorbar el acceso.
- Que existen barras que pueden estar atados.
- Las reparaciones pueden ser llevadas a cabo bajo agua.
- El acceso puede ser de uno sólo lado.

Cuando se han dañado tendones de prefatigando que no sólo será necesario unir en nuevos tendones, pero también para proporcionar un método de reesfuerzo al área.

Si los problemas se reconocen, es posible diseñar un sistema de la reparación conveniente para permitir arreglar el reemplazo de refuerzo y proporcionar una reparación estructuralmente resistente.



8.5.1 Unión o empalmes

La longitud mínima de empalmes en tensión, como es especificado en BS 8110 (*British Standards Institution-1985*), es 37 veces el diámetro de la barra (Barra tipo 2 en 30 N/mm^2 en concreto). Ejemplo, para barras cuyo diámetro es de 20mm, entonces el empalme es 740 mm. Reintegrando las áreas dañadas esto traería consigo ruptura exterior a unos 800 mm del concreto circundante del daño inmediato en orden para formar el empalme apropiados en el refuerzo. Donde la tapa a la barra o el espacio entre las barras es pequeña, o donde los regazos deben temblarse, se puede tener una área aun más grande de concreto en ruptura exterior. En EE.UU., se siguen los requisitos de ACI 318.

La extensa ruptura exterior del concreto resistente para mantener una longitud de empalme adecuada para el refuerzo ocasionaría mayores costos, no sólo en la ruptura exterior, sino en tiempo y materiales para reemplazar el concreto. En secciones altamente reforzadas, al aprovisionar barras adicionales aumentará la congestión grandemente y puede producir dificultad en colocar los materiales de reparación. Este método debe ser considerado por consiguiente sólo conveniente en casos donde el daño del concreto es considerablemente más extenso que el daño al refuerzo.

8.5.2 Soldadura

La tendencia con barras modernas es producir los aceros teniendo valores de carbono más bajo que los equivalentes y siendo más fácilmente a ser soldable. Las conexiones pueden ser hechas soldando la unión a tope o empalmes. BS 8110 permite ambas formas de conexión pero generalmente los límites la resistencia de una soldadura en la unión al tope es el 80% de la resistencia de las barras. La longitud requerida de una conexión de empalme-soldada es del orden de sólo 80 mm para barras cuyo diámetro de la barra es 20 mm y minimiza la



cantidad de concreto necesitado a ser desmenuzado. El ACI 318 permite el uso de empalmes soldados para las barras grandes (No. 6 o más grande) en miembros estructurales principales, con tal de que las conexiones soldadas desarrollan por lo menos en tensión 125% de la resistencia del rendimiento especificado.

El soldar puede ser considerado como un método factible para conectar el refuerzo de reemplazo al refuerzo dañado existente. Debe notarse que el soldado tiene un efecto adverso en las propiedades de fatiga, y no debe permitirse en algún refuerzo.

Los ensayos de soldar bajo agua deben llevarse a cabo y la muestra de ensayo se deben probar antes de emprender la reparación principal.

8.5.3 Enganches del refuerzo

Éstos pueden ser mecánicos o enganches de resina. Los enganches mecánicos consisten en una manga (un tubo sin soldadura) que se pone encima de los extremos de las dos barras a ser unidas. Una prensa hidráulica es usada entonces al estampar el tubo hacia las barras. BS 8110 y ACI 318 permiten el uso de enganches mecánico sujeto a pruebas llevadas a cabo usando el tipo exacto de refuerzo para determinar la deformación después de cargar y la resistencia última.

Cuando se tenga un refuerzo confinado ocasiona que se no puede tener acceso suficiente para las herramientas de aserradura hidráulica. Este método puede usarse donde se tenga una conexión compacta (típicamente 150 mm largo para una 20 mm de diámetro de la barra). Como el método confía en enclavamiento mecánico entre la manga y la barra, este puede hacerse bajo una variedad ancha de condiciones en el sitio desde que no sea afectada por la temperatura, la condición de la superficie del acero o la presencia de agua.

Las inyecciones de resinas enganchadas son similares a los enganches mecánico, en eso que ellos consisten en una manga puesta encima de los extremos de las barras a ser conectada. En este caso, la



manga se sella a cada extremo antes de inyectarse con una resina de rápido endurecimiento para proporcionar la transferencia de carga entre las barras y la manga. La transferencia de carga cuenta con la resistencia de la propia resina, la adhesión y el entrelazar mecánico entre la resina, la barra y el tubo. La longitud de enganches es típicamente igual que para un enganche mecánico.

Las resinas enganchadas inyectando lechada pueden acomodar distorsiones limitadas de la barra y pueden diseñarse para las barras múltiples. Un problema con enganches al inyectar lechada es el escurrimiento plástico de la resina bajo tensiones altas. Sin embargo, el refuerzo del reemplazo es por lo menos inicialmente sin refuerzo, el escurrimiento plástico puede ser menos importante que otros factores.

8.5.4 Plancha de acero externo

En algunas situaciones en la reparación no puede ser ventajoso la conexión del refuerzo individual, pero abastece de un refuerzo extra por medio de una plancha de acero que se pega y se adhiere en la cara de adelante de la sección de concreto.

Una cantidad considerable de estudios realizados se ha llevado a cabo, en la actuación de vigas fortalecidas y puentes por el uso de planchas de acero garantizados y entre las principales conclusiones a la reparación de estructuras costanera se puede resumir mencionando las siguientes:

- La anchura de la grieta para una carga dada son reducidas y el momento último incrementado, particularmente si se usan resinas del epóxico rígidos.

- Pegar un espesor menos a 1 mm podría ser perjudicial aunque allí parece que no hay beneficio extra en aplicar la resina del epóxico en capas más de 2 mm espesor. En el caso de una plancha de acero unido a una superficie de concreto desparejo, la variación en el espesor de la resina se necesitaría compensar irregularidades en el perfil de la superficie.



➤ Se han observado grietas muy finas en los dos: en el concreto y en los materiales de resina de epóxico, para lo cual se ha permitido a los agentes de corrosión que alcancen la superficie de acero interno. Un poco de corrosión es notado después de 2 años de exposición, aunque esto no afecta a la actuación estructural.

➤ El largo efecto térmico en la adhesión de la resina de epóxico, ocasiona en la inmersión del agua del mar un efecto de reducción en la adhesión y resistencia al corte o cizallamiento.

Aunque allí parecería ser experiencia suficiente en el uso de refuerzo externo para permitir un sistema laborable a diseñar, la actuación a largo del plazo del rendimiento térmico de una resina con plancha adherida tiene todavía que ser establecida. Es por consiguiente esencial proporcionar arreglando mecánico en la forma de pernos de concreto o a través de ligazón en adición de resina del epóxico.

En la mayoría de las aplicaciones las planchas de acero adheridas se han usado para fortalecer estructuras de bajo daño. Donde la estructura se ha dañado la plancha de acero y su accesorio no sólo debe diseñarse para proporcionar continuidad de refuerzo, sino también para resistirse presiones de concreto durante el funcionamiento de la reparación.

Para las reparaciones de columnas o pilotes, el uso de un tubo de acero prefabricado sujetado alrededor del miembro puede ser considerado. Este método se describe en sección 8.3.6.

8.5.5. Las reparaciones a los tendones pretensionado

Donde se han dañado o roto los tendones pretensionado, se puede requerirse en adicionar a la reparación de los tendones, el reesfuerzo del área dañada. Esto puede ser necesario al inducir la fuerza de compresión en reemplazo del concreto para prevenir el agrietado subsecuente bajo la carga cíclica.

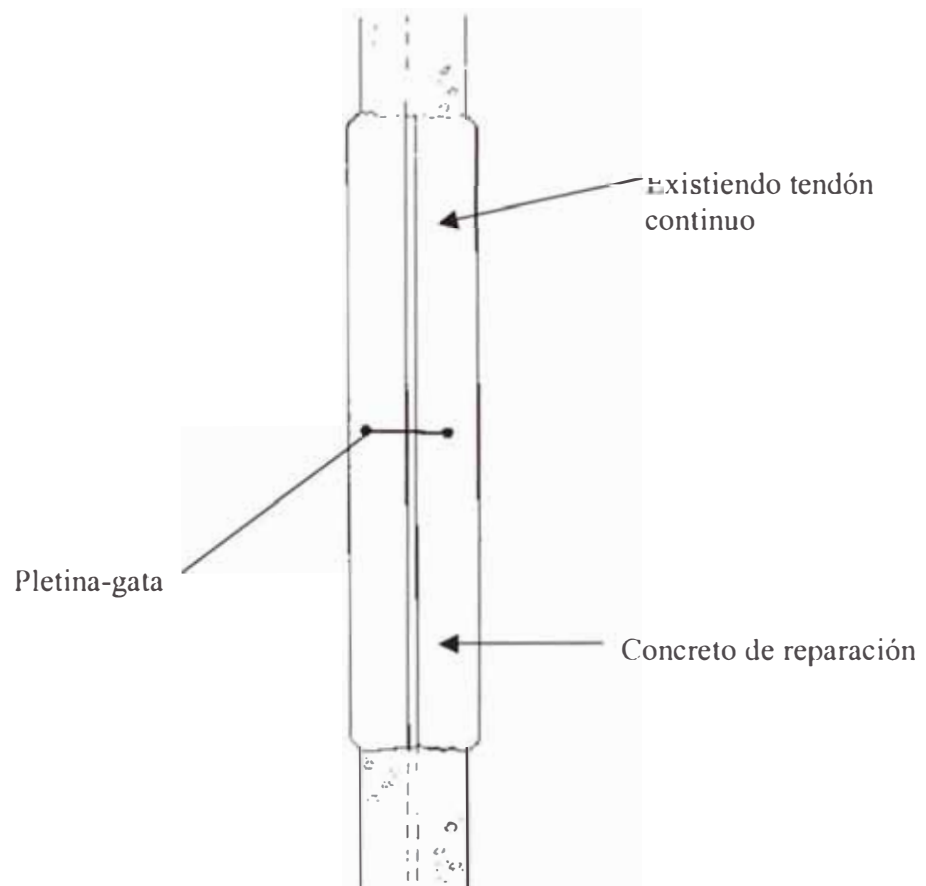


Pueden considerarse varias opciones por reintegrar la prefatiga y pueden dependerse de la naturaleza del daño. Se ilustran tres acercamientos en Figura 8.5:

➤ La reparación con una pletina-gata: Donde no hay tendones ó los tendones no son dañados, pueden usarse una pletina-gata para inducir la fuerza de compresión en el concreto de reemplazo.

➤ Enlazando tendones indirectamente: Acero empernado a la estructura sobre y debajo del área dañada y está tensionado junto a unas barras de esfuerzo Macalloy.

➤ Los tendones de extensión: Los tendones rotos son extendidos usando barras de esfuerzo Macalloy que se extienden hacia fuera de la cara de la estructura localmente espesada.



(a) Reparación con pletina-gata

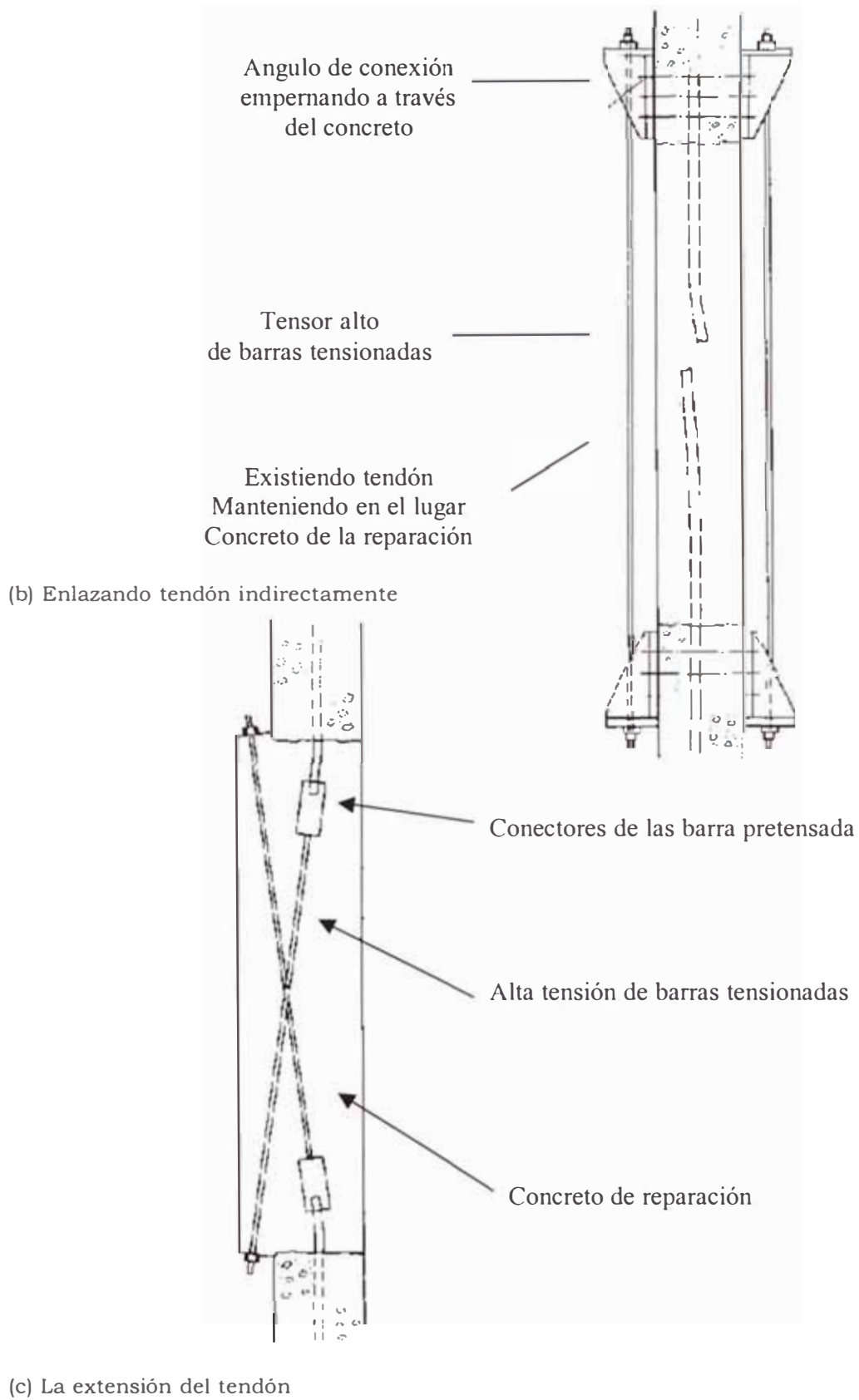


Figura 8.5 Reparaciones de pretensado



8.6 Ejemplo de reparaciones de concreto bajo agua.

En esta sección, vamos a mostrar algunos casos de reparaciones bajo agua como son las reparaciones de pilotes de muelles, las cuales mostramos como ejemplo:

- ✓ La Rehabilitación del Muelle N° 1 del Terminal Marítimo de Chimbote.
- ✓ Otro ejemplo de caso típico en reparación de pilotes.

8.6.1 Rehabilitación del Muelle N° 1 del Terminal Marítimo de Chimbote.

La Rehabilitación del Muelle N° 1 del Terminal Marítimo de Chimbote (en el anexo 6, se muestra un resumen donde se describe las partes de la estructura de dicho muelle) va a servir para ponerlo en operatividad efectiva al 100% dicho muelle.

A nivel de construcción los trabajos a realizar en el Muelle N° 1 se describe a continuación:

- 1) Encamisetado general de todas los pilotes excepto el 13 A desde la cota -0.50m hasta el nivel de fondos de vigas principales. El pilotaje 13 A será encamisetado desde el nivel.
- 2) Reparación en rajaduras en vigas transversales, vigas longitudinales, fondos de losas, prolongación de tubos de desagüe y pinturas de protección en la superficie de concreto.
- 3) Construcción de vigas de borde y pintura de protección de la superficie de concreto.
- 4) Colocación de nuevas defensas.
- 5) Rehabilitación de Instalaciones Eléctricas y tuberías de desagüe.



8.6.1.1 Procedimiento constructivo de las reparaciones de pilotes.

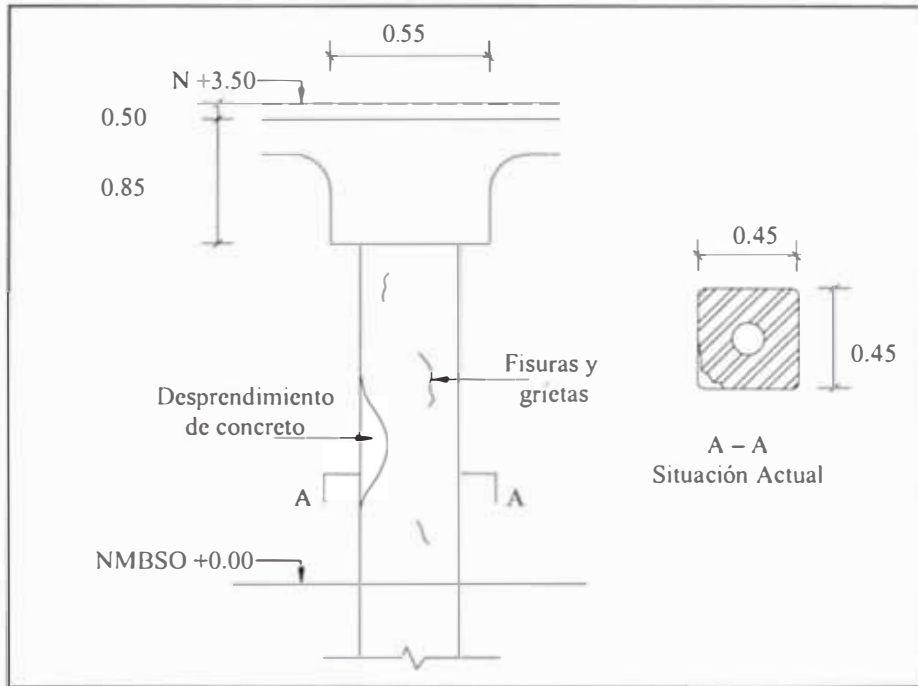
Para el estudio de este capítulo VIII, se va detallar solo el vaciado de concreto bajo agua (en las reparaciones de los pilotes) y no alguna reparación de concreto en un ambiente en seco como lo que puede ser los puntos 2 y 3 mencionados anteriormente en los trabajos a nivel de construcción del Muelle N° 1.

En el anexo 7 se muestran dos planos, el primero muestra la planta y elevación general del Muelle N° 1, codificado en ENAPU S.A. por proyecto 383-92 y por Lamina 1/5; el segundo plano muestra el encamisetado de pilotes, codificado por proyecto 383-92 y por Lamina 2/5.

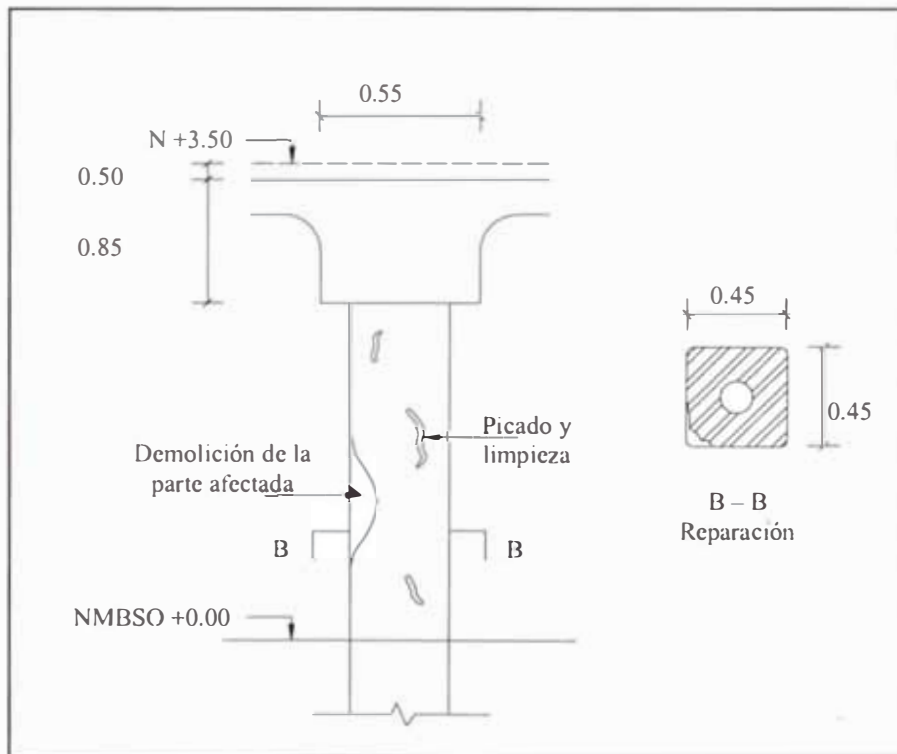
El procedimiento constructivo de las reparaciones de los pilotes es el siguiente:

- 1) Picado, arenado, aplicación de adhesivo epóxico y aplicación de mortero en todas las rajaduras.
- 2) Demolición de la parte afectada de los pilotes del eje 45 en el eje 13 A y en los demás que pudieran existir (ver figura 8.6, parte (b)).
- 3) Limpieza general de la superficie de concreto por encamisar, mediante la aplicación sostenida de chorro de agua (ver figura 8.6, parte (b)).
- 4) Colocación de la armadura y encofrado metálico (ver figura 8.6, parte (c)).
- 5) Llenado de concreto, para luego desencofrar cuando el concreto haya endurecido (ver figura 8.6, parte (d)).

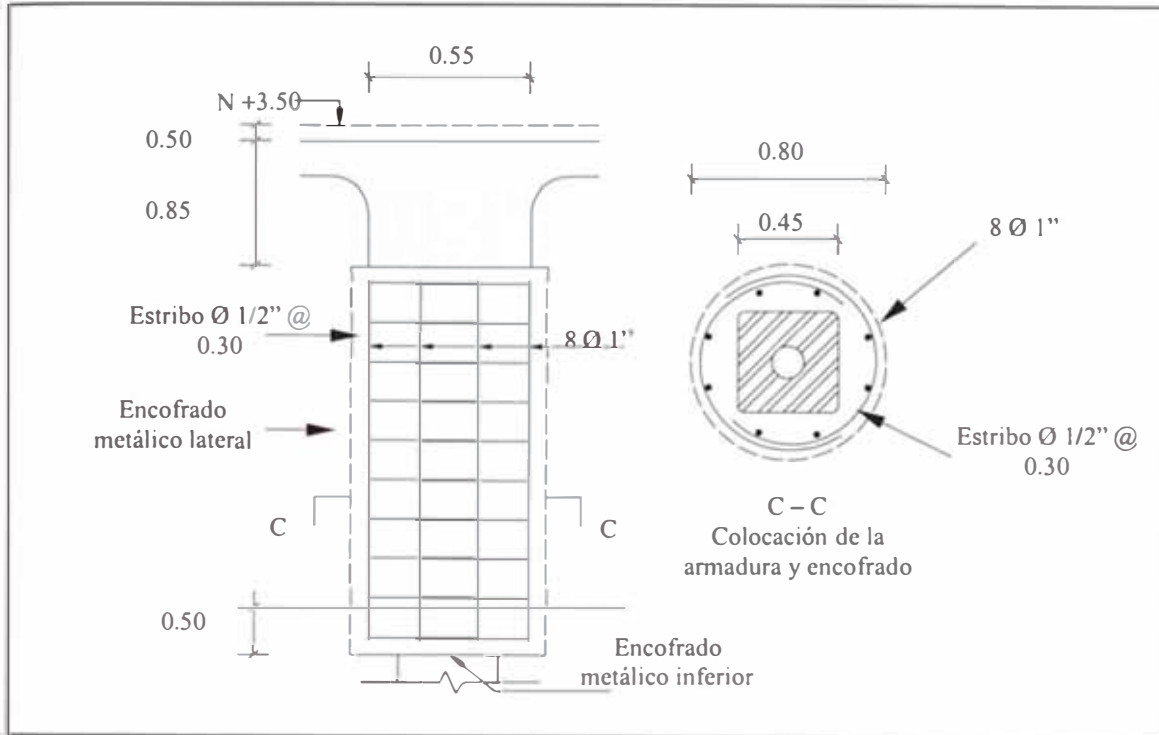
A continuación vamos a mostrar una sección de pilote a ser reparado.



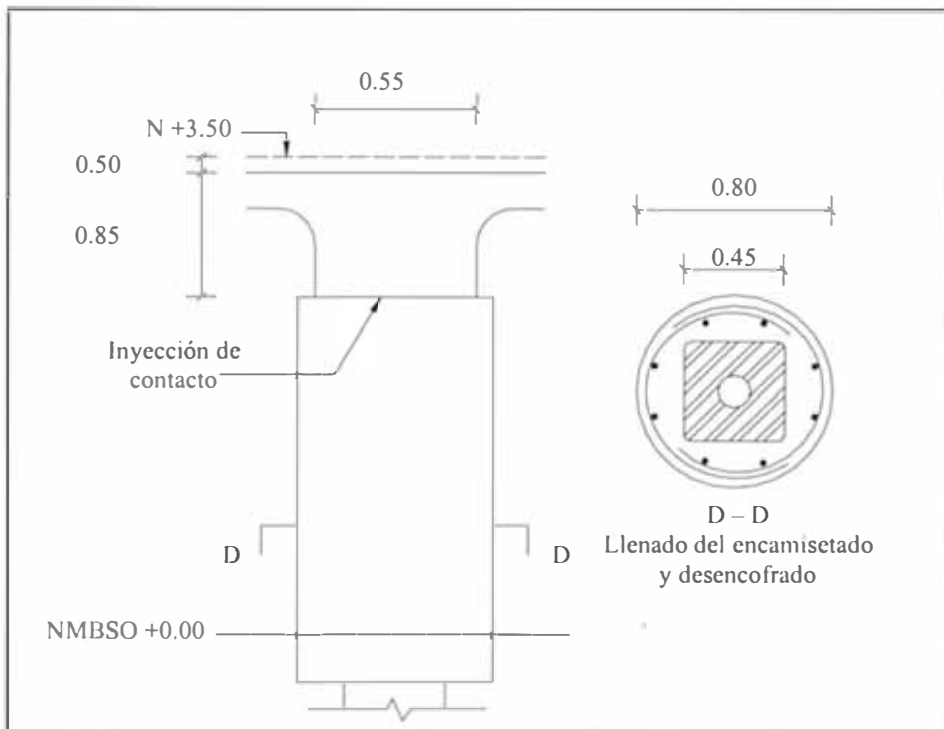
a) Estado actual del pilote dañado.



b) Limpieza y demolición de la parte dañada del pilote.



c) Colocación de la armadura y encofrado.



d) Llenado del encamisetado y desencofrado.

Figura 8.6 Reparaciones general de pilotes, para el Muelle N° 1 de Chimbote.

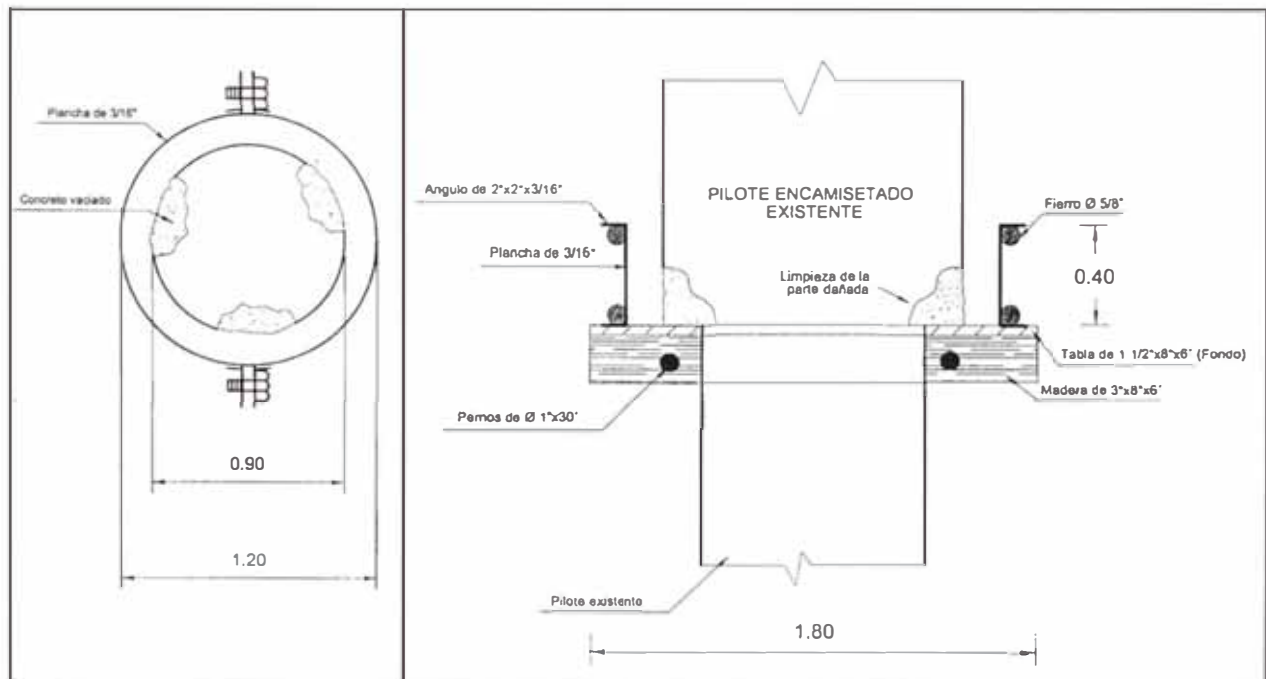


8.6.2 Otro ejemplo de caso típico en reparación de pilotes.

Podemos considerar que para la reparación de un pilote dañado, ya sea por cualquiera causa descrita anteriormente, los procedimientos de inspección ocular, fotográfica o con filmación y los procedimientos de reparación son los mismos a los antes mencionados; es por eso que a continuación solo mostraremos el detalle típico de una reparación de pilotes en el muelle de Ilo.

En la figura 8.7 se muestra la habilitación de los andamios para resanar los pilotes encamisetados del muelle de Ilo.

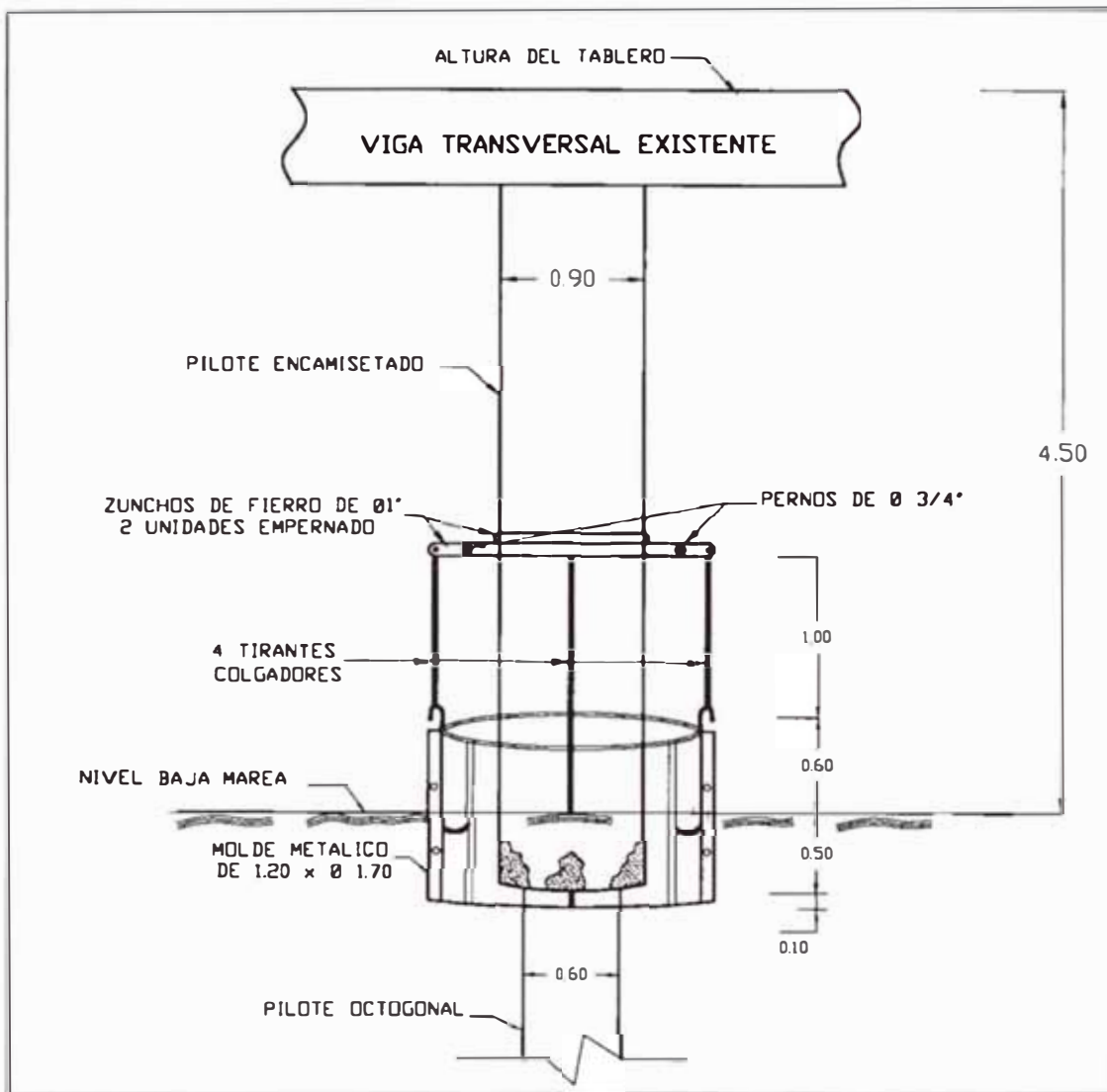
En la figura 8.8 se muestra la habilitación de los encofrados metálicos en planta y elevación para la reparación de pilotes.



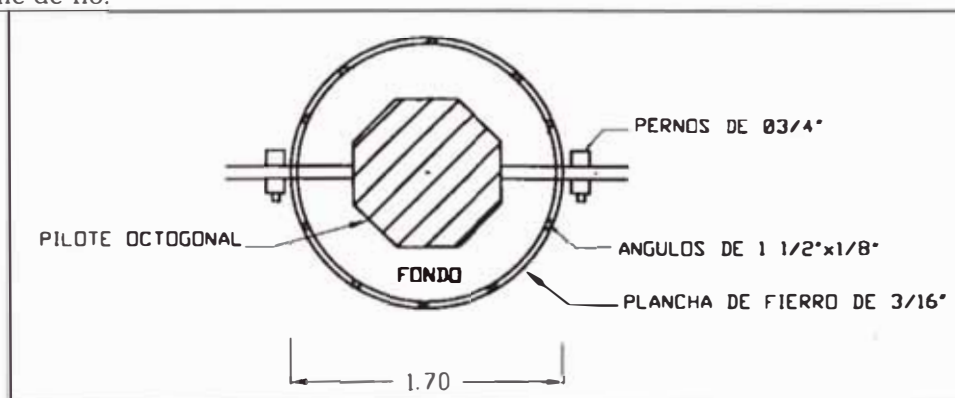
a) Vista de planta de la habilitación del encofrado.

b) Vista de elevación de los encofrado metálicos.

Figura 8.7 Habilitación de los encofrados metálicos para la reparación de los pilotes de los pilotes del muelle de Ilo.



a) Vista frontal de los andamios que se utilizan en la reparación de pilotes del muelle de Ilo.



b) Vista de planta de los andamios que se utilizan en la reparación de pilotes del muelle de Ilo.

Fig. 8.8 Detalle del andamio que se utilizan para resanar los pilotes encamisados del Muelle de Ilo.



CAPITULO IX : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1 Conclusiones

1. Para el uso de cualquier métodos de un vaciado bajo agua, se debe tratar de minimizar al máximo la zona o la interfase entre el concreto y el agua, debido a que allí existe una zona contaminada que es de material débil (tal como se muestra en la figura 1.1.) que no tiene ningún valor estructural, mucho menos no se debe dejar caer el concreto libremente porque ocasionaría el deslave de los materiales y estos se depositarían separadamente de acuerdo al tamaño del material y al peso del mismo. Es importante mencionar que cuando usemos los aditivos con las características *anti-washout* debemos de verificar mediante ensayos de laboratorio el grado de efectividad para las condiciones que se requieran del proyecto.

2. La calidad global del trabajo será afectada no solo por controlar la calidad de los materiales, ni por la utilización de los últimos adelantos en aditivos y métodos de colocación, sino dependerán finalmente por factores como el grado de control en el momento del vaciado del concreto, siendo estas operaciones realizadas por buzos, como se vió en el capítulo V.

3. La ejecución de cada proyecto es diferente, porque tienen diferentes condiciones tanto en ambiente (temperatura, humedad, vientos, cantidad de sales en el caso de aguas marinas, etc) como en materiales (tipo de cemento, características de los agregados y/o aditivos) y los métodos a emplear, por eso con respecto a los materiales seleccionados, se debe comprobar su conveniente uso mediante pruebas o ensayos que experimenten el proceso de vaciado y/o reparación, observando si es que cumplen con las características requeridas de acuerdo a las especificaciones técnicas (esto a nivel de construcción).

4. De ninguna manera se debe vibrar el concreto bajo agua porque aumenta el riesgo de mezclarse con el agua circundante; salvo si la mezcla tiene aditivo *anti-washout*, porque algunos de estos aditivos



muestran en sus hojas técnicas las características de poder vibrarse bajo agua, pero aún con estas condiciones no se debería vibrar para evitar cualquier posible inclusión, más bien se debe conseguir una mezcla cohesiva, trabajable y fluida para que sea de auto-compactación y auto-nivelación.

5. Que los factores ambientales como la temperatura, humedad, etc., son variables importantes para el diseño de mezcla, esto se pudo comprobar para un mismo diseño con los mismos materiales, cabe resaltar que los ensayos físicos de los agregados se realizaron el diciembre 2000 y enero 2001 y las primeras probetas se hicieron a fines de febrero, donde la temperatura del verano es mas fuerte, además cuando se abre una bolsa de cemento, esta tiene que ser utilizada, lo cual en el ensayo no fue así, es por eso que se tomó todas las consideraciones de guardado y conservación, ya que se colocó en bolsas dobles de plástico y en lugares protegidos del sol y la humedad para que mantenga las mismas propiedades.

6. Que los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio debe servir como referencia, debido a que se tomaron la cantidad de muestras mínimas (tres muestras, número mínimo de probetas para ensayar según ACI) por cada edad, con estos resultados no se puede obtener una desviación estándar ni una comparación efectiva, además todos los ensayos se realizaron en seco, estando limitado a realizar una simulación de vaciado bajo agua por espacio físico y equipos, por lo que sólo se muestra la trabajabilidad el concreto y el fácil acomodo o auto-nivelación y auto compactación.

7. Al romper el sello y seguir vaciando se corre el riesgo de poner en peligro todo el vaciado, debido a que se incluiría material detrimento a la mezcla y el corazón del vaciado, ocasionando así un concreto débil y sin ningún valor estructural para el uso al que se le necesita. Lo que se debe hacer es parar inmediatamente el vaciado, es imposible saber la magnitud del daño que ha sido causado por la interrupción, generalmente los buzos inspeccionan y retiran el concreto fresco si hubiera, ocasionalmente esto puede producir más daño que el



ocasionado en el vaciado. Si se sospecha de un problema mayor la mejor política es abandonar el trabajo y permitir que el concreto fragüe, para así determinar la magnitud del daño y los trabajos de preparación de la superficie para continuar con el vaciado.

8. Los organismos marinos forman un papel muy importante en la deterioración de las estructuras de concreto que se encuentran total o parcialmente sumergidos, cada tipo de organismo que analizamos colabora en la deterioración del concreto, por ejemplos los poliquetos (Gusanos con caparazón) perforan el concreto haciéndolo poroso, de la misma manera los percebes son crustáceos que se adaptan para la vida entre la zona de la baja y la alta marea formando bancos de percebes.

9. Los factores como la temperatura y la humedad relativa favorecen notablemente al fenómeno de la corrosión debido a los sulfatos, aumentando la velocidad de reacción.

10. Se debe aprovisionar el encofrado inmediatamente después de limpiar el concreto dañado y el cortado del refuerzo, para que la superficie del concreto no puede contaminarse con crecimiento marino microscópico, lo cual ocurre en pocas horas y puede reducir la adhesión substancialmente entre el material de la reparación y el concreto base.

11. De la misma manera para las reparaciones de resane a gran escala en la zona de salpicadura y la mayoría de las reparaciones bajo agua será necesario proporcionar encofrado para contener el material de la reparación. La provisión de cualquier encofrado causa un retraso en el operación de la reparación permitiendo desarrollar el crecimiento marino; el retraso se puede prevenir con el uso de la capa ligante para que la reparación del material sea colocado mientras la capa ligante mantiene las características de ser pegajoso. Si la capa ligante empieza a endurecer entonces pondrá a una superficie lisa y proporcionará un ligante de mala calidad.



9.2 Recomendaciones

1. Tener cuidado de no arrastrar el material debilitado al centro o matriz o corazón del vaciado, si así sucede se debe detener automáticamente el vaciado para luego ser inspeccionado y/o picar el concreto hasta poder retirar la parte débil del concreto.

2. Tener cuidado con las corrientes de aguas (marinas o dulces) cuando estas tengan flujos de velocidades altas, porque esto puede ocasionar el deslave de la mezcla, para evitar aquello se debe desviar los flujos colocando tablestacas o caissons, para así disminuir y/o evitar las velocidades de las corrientes. Además el deslave del cemento y los finos hace que el agua externa se mezcle con el concreto, produciendo no solo la debilitación de la estructura, sino la contaminación del agua circundante, pudiendo crear un serio problema de impacto ambiental.

3. Se recomienda evitar las juntas de construcción horizontales debido a que son superficies potenciales de debilidad y serán particularmente vulnerable a erosión o abrasión, esta capa debilitada en la cima de un vaciado puede ser de espesor considerable y por consiguiente la capa de detrito tiene que ser quitada antes de realizar el vaciado siguiente, siendo normalmente esta una operación hecha por buzos y es caro; es por eso que la mayoría de los métodos de colocación apuntan a realizar un vaciado continuo.

4. Se debe de considerar que para el diseño de mezcla, los agregados finos y gruesos, no solo que cumplan con los requerimientos de la granulometría (este dentro de los husos de las tablas 07 y 08 del anexo 1), sino que tengan una granulometría suave y homogénea porque en las granulometrías normalmente pobres, las partículas se amoldan inadecuadamente; además es importante resaltar el uso de una arena bruscamente graduada ocasiona un aumento en la exudación.

5. Debido a la naturaleza especial de modificadores del polímero, es esencial recibir el consejo del fabricante para mezclar y aplicar, asegurando así una actuación satisfactoria de los materiales. Una variedad de morteros cementosos conveniente para el uso bajo agua se



presentan en la tabla 3.2. En general se debe tener la ficha técnica del aditivo y/o adiciónante que se va a utilizar, para hacer la mejor combinación o utilización del producto, pero para esto se deben hacer ensayos de laboratorio de estos materiales para verificar las características descrita en la ficha técnica.

6. Para el uso del aditivo Sika Viscocrete3, en vaciado cuya condiciones son bajo agua promete con las características del producto ser una gran ventaja para vaciados bajo agua, es importante mencionar que para algún caso en particular se debe realizar ensayos de laboratorios con este aditivo y los materiales a usar, tratando en lo posible en cubrir todas las condiciones similares al vaciado, para ver y comparar todas las bondades que nos ofrece el producto de acuerdo a las especificaciones técnicas del proyecto.

7. Para condiciones donde exista complejidad en la operación del buzo ocasionando un aumento en el costo y riesgo humano del mismo; se utilizará los ROV bajo agua (ROV es una unidad controlada desde la superficie por presión y con una Televisión de Circuito Cerrado-CCTV), la unidad puede reforzarse con cámaras inmóviles, manipuladores y otros artículos como máquinas y herramientas.

8. Para una buena evaluación en la inspección se debe instruir a los buzos con experiencia en este tipo de trabajos, a diferencias de otras partes del mundo, esto esta normalizado debido a que para poder inspeccionar, los buzos deben de tener una acreditación que certifique su capacidad y adiestramiento de Instituciones especializadas y reconocidas (por ejemplo las calificaciones del buzo en el Reino Unido HSE).

9. Cuando se tiene contenidos altos de aluminatos tricálcico en el cemento, estas disminuyen las reacciones químicas y ocasionan el deterioro de un buen concreto colocado en agua de mar, debiendo estar en el rango admisible de C_3A descrito en el ACI 318

10. Se recomienda el uso adecuado de los cementos según su exposición a los sulfatos, de acuerdo al ACI-318 se debe de considerar que la utilización del cemento Tipo II es para exposiciones moderadas



de sulfatos y el Tipo V, para exposiciones severas. Además los cementos combinados según ASTM C 595 hechos con clinker de cemento Portland con menos de 8% de C_3A cuya designación es MS, son apropiadas para exposiciones moderadas a sulfatos, como ejemplo tenemos los Tipos IP (MS), IS(MS), P(MS), I(PM)(MS) y I(SM)(MS). Además se puede considerar las exposiciones de agua de mar o resistencias a los sulfatos se pueden emplear otros tipos de cementos con un contenido de C_3A del 10%, siempre y cuando la relación agua/mat. cementosos sea máxima a 0.40

11. La relación a/c es el factor más importante en la protección de las armaduras, porque controlan el volumen de vacíos capilares y su interrelación en el interior del concreto, siendo este el camino para la penetración de las sales agresivas. Además se debe de considerar que el mínimo de vacíos se obtiene con relación a/c igual a 0.37. En general para cualquier diseño se debe seguir las recomendaciones del ACI descritas en el capítulo VII, para obtener los resultados esperados.

12. Utilizando la experiencia de Europa para garantizar la durabilidad y en concordancia del Comité 357 se recomienda usar un contenido de cemento por cada m^3 del volumen del concreto, la cual el mínimo es de $356 \text{ Kg}/m^3$ ($600 \text{ Lb}/yd^3$), para proteger al acero de la corrosión y un contenido máximo de $415 \text{ Kg}/m^3$ ($700 \text{ Lb}/yd^3$), para prevenir los esfuerzos térmicos en la masa de concreto.

13. Para la realización de proyectos en colocar concreto en reparación, se debe de considerar todos los procesos necesarios, involucrando el alto costo en la reparación debido al tipo de acceso, preparación y provisión de encofrado para las reparaciones debajo del agua, la cual es significativamente alto que las reparaciones normales.

14. Las resinas de epóxico pueden tener una densidad similar al agua, es por eso que se debe tener las precauciones porque el material que se dispersa flotará y por consiguiente causará un riesgo a los buzos que emprenden la reparación. Todas las recomendaciones deben tomarse para minimizar cualquier dispersión de resina durante la operación de la inyección.

BIBLIOGRAFÍA

Diagnóstico y reparación de estructuras de concreto armado atacadas por corrosión

Capítulo Peruano ACI. Abril 2002

Ingeniería Portuaria

Fuentes Ortiz, Cesar. 2001 Primera Edición, Lima, Perú.

Estado actual y la ultimas Tecnologías en el Diseño y Control del Concreto.

Laboratorio de Ensayos de Materiales–FIC–UNI. 2001 UNI - Perú

Naturaleza y Materiales del Concreto

Enrique Rivva López. 2000 Primera Edición – ACI, Lima, Perú.

Diseño de Estructuras de Concreto Armado.

Teodoro E. Harmsen. 2000 Segunda Edición – PUCP, Lima, Perú.

Evaluación y Reparación de Estructuras.

I Congreso Nacional de Ingeniería Estructural y Construcción. 1998
– ACI, Lima, Perú.

Estructuras y Construcción.

II Congreso Nacional de Ingeniería Estructural y Construcción. 2000
– ACI, Lima, Perú.

Introduction to Port and Harbor Engineering

Dr. Gregory P. Tsinker. 1998 – ACI UNI Student Chapter – Perú.

Foundation Construction

A. Brinton Carson. 1965 McGraw Hill, United States of America.

Underwater Concreting and Repair

A. McLeish. 1994 First published in Great Britain.

Specification of Concrete for Marine Environments A Fresh Approach

ACI Materials Journal / July – August 1999

Underwater concreting – a Study

Indian Concrete Journal / February 1989

Guide to Underwater Repair of Concrete

Reported by ACI Committee 546. ACI 546.2R-98

Norma de Construcción en Concreto Estructural ACI 318 – 99

Capítulo Peruano de American Concrete Institute. 2000 –ACI Perú.

Causas, Evaluación y Reparación de grietas en Estructuras de Concreto. Comité ACI 224

Capítulo Peruano de American Concrete Institute. 1998 – ACI – 224.1 R93 Perú.

INDECOPI. Norma Técnica Peruana: NTP 400.037 de Agregados, NTP 334.001 Definición del Cemento.

Norma Técnica de Edificación del Reglamento Nacional de Construcción. Código E-060

Aprobación de la Tabla 4.4.3 “Concreto expuesto a soluciones de Sulfatos”, del capítulo 4 “Calidad del Concreto”.

El Peruano – Normas Legales Pág. 210424 – Lima, Miércoles 26 de septiembre de 2001

Guide for the Design and Construction of Fixed Offshore Concrete Structures. Reported by ACI Committee 357
American Concrete Institute. 1997 – ACI – 357R-84.

Miguel Angel Cabrera Carrillo

Tesis: “Estudio de los Métodos y técnicas para la colocación, reparación y comportamiento del concreto bajo agua”

Pablo Añorga Vigo.

Tesis: “Técnicas utilizadas para el bombeado de concreto bajo agua”

José Chaparro Mendez.

Tesis: “Cimentación de un muelle en fondo rocoso”

Advanced Concrete and Masonry Centre.

www-civeng.paisley.ac.uk/acm/concrete02.html

Emerging Construction Technologies – Mellose non-dispersible Underwater Concrete Admixture.

www.new-technologies.org/ECT/Civil/mellose.htm

Georgia Institute of Technology – School of Civil & Environmental Engineering. Structural Mechanics and Materials Group
www.ce.gatech.edu/~kkurtis/courses.htm

Georgia Institute of Technology Underwater Concreting
www.ce.gatech.edu/~kkurtis/classpres/uwater/

Hydrocem

www.Scancem.com.au/Products/Additives/hydrocem/index.htm

MELLOSE

<http://ce.ecn.purdue.edu/CEM/Cliproj/Civil/mellose.htm>

RHEOMAC UW-450

www.masterbuilders.com/uc.htm

Inland Marine Services

www.inlandmarineservices.com/