



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO

MAESTRIA EN INGENIERIA DE LA CONSTRUCCION

TITULO DE LA TESIS

**“SISTEMAS DE PROTECCION PARA EL HORMIGON EN
TANQUES DE ALMACENAMIENTO”**

**Previa a la obtención del Grado Académico de Magister en
Ingeniería de la Construcción**

ELABORADO POR:

Ing. Javier Hugo Arce Cedillo

Guayaquil, a los 14 días del mes de Diciembre año 2012



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
SISTEMA DE POSGRADO

CERTIFICACION

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Ing. Javier Hugo Arce Cedillo, como requerimiento parcial para la obtención del Grado Académico de Magister en Ingeniería de la Construcción.

Guayaquil, a los 14 días del mes de Diciembre año 2012

DIRECTOR DE TESIS

MSC. ING. CARLOS CHON DIAZ

REVISORES:

DR. ING. WALTER MERA ORTIZ

MSC. ING. LUIS OCTAVIO YEPEZ ROCA

DIRECTOR DEL PROGRAMA

M.I. ING. MERCEDES BELTRAN DE SIERRA



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

DECLARACION DE RESPONSABILIDAD

YO, ING. JAVIER HUGO ARCE CEDILLO

DECLARO QUE:

La tesis “SISTEMAS DE PROTECCION PARA EL HORMIGON EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO” previa a la obtención del Grado Académico de Magister, ha sido desarrollada en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las paginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico de la tesis del Grado Académico en mención.

Guayaquil, a los 14 días del mes de Diciembre año 2012

EL AUTOR

ING. JAVIER HUGO ARCE CEDILLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

AUTORIZACION

YO, ING. JAVIER HUGO ARCE CEDILLO

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación en la biblioteca de la institución, la Tesis de Maestría titulada: “SISTEMAS DE PROTECCION PARA EL HORMIGON EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Guayaquil, a los 14 días del mes de Diciembre año 2012

EL AUTOR

ING. JAVIER HUGO ARCE CEDILLO

AGRADECIMIENTOS

Mi gratitud especial a mis profesores que con sus enseñanzas pude culminar con éxito esta maestría.

Agradecimientos especiales a mi Tutor, el Ingeniero Carlos Chon Diaz, que supo brindarme su apoyo y amistad, ayudándome para poder lograr mis metas. A la Directora de la Maestría, Ingeniera Mercedes Beltrán, quien confió en mí desde el inicio del posgrado y supo comprender los problemas que surgieron para finalizar este trabajo.

A mi Familia que sin su apoyo incondicional no lo hubiera logrado, a mi hija Allison esperando que este logro sea un ejemplo a seguir para su superación personal y profesional.

A todas las personas que con su apoyo y tiempo que me brindaron me ayudaron a seguir adelante, Gracias.

DEDICATORIA

Debo dedicar este trabajo a mis padres y a mi hija, ya que fue un gran paso para mi superación.

INDICE

CAPITULO 1

- 1. Agentes agresores al hormigón**
- 1.1 Aguas agresivas.....
- 1.2 Suelos agresivos.....

CAPITULO 2

- 2. Durabilidad del hormigón.....**
- 2.1 Generalidades.....
- 2.2 Durabilidad del hormigón.....
- 2.3 Factores que afectan la durabilidad del hormigón
- 2.4 Corrosión de metales en el hormigón.....
 - 2.4.1 Mecanismo de la corrosión.....
 - 2.4.2 Como combatir la corrosión
- 2.5 Limitaciones a los contenidos de agua y cemento

CAPITULO 3

- 3. Evaluación de daños.....**
- 3.1 Clasificación de daños de acuerdo a su origen
- 3.1.2 Acciones mecánicas.....
 - 3.1.2.1 Sobrecargas y deformaciones.....
 - 3.1.2.2 Impactos y vibraciones.....
 - 3.1.2.3 Resistencia a la abrasión.....
- 3.1.3 Acciones físicas.....
- 3.1.4 Acciones químicas.....

3.1.4.1	Formación de sales expansivas.....	
3.1.4.2	Ataque de ácidos.....	
3.1.4.3	Carbonatación.....	
3.1.4.4	Expansión destructiva de las reacciones álcali-agregado.....	
3.1.4.5	Corrosión del acero de refuerzo.....	
3.1.5	Acciones biológicas.....	
3.2	Métodos de ensayos para determinar la agresividad de aguas y suelos.....	
3.3	Levantamiento y clasificación de daños.....	
3.3.1	Generalidades.....	
3.3.2	Diagnostico.....	
3.3.3	Evaluación.....	
3.3.4	Tipos de evaluación.....	
3.3.5	Desarrollo del sistema de evaluación.....	
3.3.5.1	Antecedentes.....	
3.3.5.2	Inspección visual.....	
3.3.5.3	Inspección de exploración.....	
3.3.5.4	Toma de muestras.....	
3.3.5.5	Calificación de estructuras.....	
3.4	Caso de estudio.....	

CAPITULO 4

4.	Sistemas de reparaciones.....	
4.1	Metodología de aplicación.....	
4.2	Modelo de reparación.....	

4.2.1 Detalle del elemento.....	
4.2.2 Procesos de reparación.....	

CAPITULO 5

5. Pruebas de laboratorio.....	
5.1 Ensayos de control de calidad.....	
5.1.1 Objeto.....	
5.1.2 Producto para la preparación.....	
5.1.3 Características mecánicas y químicas del recubrimiento protector para hormigón.....	
5.1.4 Prueba de los productos.....	
5.1.5 Prueba en campo.....	

CAPITULO 6

6. Análisis económico.....	
6.1 Análisis de precios según metodología.....	

CAPITULO 7

7. Conclusiones y recomendaciones.....	79
7.1 Conclusiones.....	79
7.2 Recomendaciones.....	79

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

CAPITULO 1

AGENTES AGRESORES AL HORMIGON

El hormigón está expuesto a distintos agentes agresivos en la naturaleza, entre ellos procederemos a describir algunos:

1.1 Aguas agresivas.

Esta es una causal del desgaste del hormigón, por lo que definiremos que un agua es agresiva para el hormigón cuando esta posea lo siguiente:

- a) Pocas o ninguna sustancia disuelta (estas son las llamadas aguas puras o desmineralizadas), el agua trabaja como disolvente en el hormigón produciendo un fenómeno llamado de lixiviación.
- b) Sustancias o compuestos capaces de reaccionar con los compuestos del hormigón como por ejemplo ácidos, sulfatos, sales, etc.

Analizaremos los diferentes tipos de agua para poder aclarar este concepto.

1.1.1. Aguas puras: Se reconocen aquellas que tienen pocas o ninguna sustancia disuelta como por ejemplo:

- Deshielos de glaciares
- Fusión de nieve
- Agua de lluvia
- De determinados pantanos
- Aguas a grandes profundidades
- Provenientes de ciertos procesos de condensación industrial.
 - Características y acción:
 - Bajo contenido de Ca^{2+} (Carbonato) + ó MgO (Oxido de magnesio)
 - PH neutro próximo a 7 (ni ácidas ni básicas)
 - Actúa como disolvente e inicia la hidrólisis (por percolación o saturación)
 - Inicia la disolución de los compuestos que contienen Ca
 - Los aluminatos de calcio hidratados generan como productos finales gel de alúmina e hidróxido de calcio (CH).
 - La desaparición del CH facilita el avance de la reacción disolvente
 - Expone a los demás componentes a la descomposición química.
 - Consecuencias en el hormigón:
 - Disminuye el PH (Se hace ácido)
 - Pérdida de la masa
 - Incremento de la porosidad y la permeabilidad del hormigón

- Caída de la resistencia mecánica

1.1.2 Aguas ácidas: Es el agua de mezclado que contiene ácidos clorhídrico, sulfúrico y otros ácidos inorgánicos comunes, en concentraciones inferiores a 10,000 ppm no tienen un efecto adverso en la resistencia. Las aguas ácidas son las que poseen valores pH menores que 3.0 y ocasionan problemas de manejo. El hormigón de cemento Portland, en general, no resiste el ataque ácido excepto cuando estos provengan de soluciones ligeramente ácidas, particularmente cuando esté expuesto ocasionalmente.

1.1.2.1 Acción de las disoluciones ligeramente ácidas:

La acción de los ácidos sobre el hormigón endurecido es la conversión de todos los compuestos cálcicos (CH,S-C-H,C-A-S-H) en sales cálcicas del ácido actuante.

Cuando estas sales son de gran solubilidad pueden ser removidas fácilmente por lixiviación incrementando la porosidad del material, destruyendo así la estructura del cemento endurecido.

Cuando las sales de calcio resultantes son de baja solubilidad y además no experimentan cambios de volumen, la corrosión del hormigón es mucho más lenta debido a la acción protectora de la película que forman dichas sales al precipitar sobre la superficie del hormigón.

De este modo un parámetro muy importante es la velocidad de reacción.

1.1.3 Aguas alcalinas: Las forman las que tienen importantes cantidades de carbonatos y bicarbonatos de calcio, magnesio y sodio, las que proporcionan al agua reacción alcalina elevando en consecuencia el valor del pH presente. Los gases disueltos en el agua, provienen de la atmósfera, de desprendimientos gaseosos de determinados subsuelos, y en algunas aguas superficiales de la respiración de organismos animales y vegetales, estos gases son el oxígeno, nitrógeno, anhídrido carbónico presente procede de la atmósfera arrastrado y lavado por la lluvia, de la respiración de los organismos vivientes, de la descomposición anaeróbica de los hidratos de carbono y de la disolución de los carbonatos del suelo por acción de los ácidos, también puede aparecer como descomposición de los bicarbonatos cuando se modifica el equilibrio del agua que las contenga.

1.1.4 Aguas neutras: Componen su formación una alta concentración de sulfatos y cloruros que no aportan al agua tendencias ácidas o alcalinas, o sea que no alteran sensiblemente el valor de pH.

1.1.5 Aguas duras: Importante presencia de compuestos de calcio y magnesio, poco solubles, principales responsables de la formación de depósitos e incrustaciones.

1.1.6 Agua de mar: La agresividad del ambiente marino se debe fundamentalmente a las sales que lleva disuelta el agua de mar: cloruro sódico, cloruro magnésico, sulfato magnésico, sulfato cálcico, cloruro potásico, sulfato potásico y bicarbonato cálcico.

Esta agresividad se divide en dos tipologías: la relativa a la degradación del hormigón por la acción de las sales agresivas y otra por los procesos de corrosión debido a la humedad ambiental y el aporte de cloruros.

1.2 Suelos agresivos.

La agresividad o ataque químico del terreno afectan a las estructuras que están en contacto con él, en mayor o menor medida, perturbando por tanto la durabilidad de esas estructuras, su resistencia y estabilidad a lo largo del tiempo. El ataque de los sulfatos constituye una de las formas más difundidas en el mundo de agresión química al hormigón.

1.2.1 Ataque de sulfatos al hormigón: El ataque de sulfatos ocurre donde hay concentraciones relativamente altas de sulfatos de sodio, potasio, calcio o magnesio, tanto en suelos como en aguas subterráneas, superficiales o en aguas de mar. También pueden ocurrir asociados a algunas instalaciones industriales, desechos, aguas fecales o subproductos de cualquier tipo, acumulados de forma incontrolada. Los sulfatos son muy solubles en agua y penetran con facilidad en estructuras de hormigón expuestas a los mismos. Se encuentran presentes en el suelo, particularmente los arcillosos. Disuelto en el agua de las napas freáticas y en el agua de mar.

Comentarios:

En conclusión, se reseñan a continuación las sustancias que de un modo genérico, poseen carácter agresivo para el hormigón:

- a) Gases que posean olor amoniacal o que posean carácter ácido
- b) Líquidos que desprendan burbujas gaseosas, posean olor nauseabundo, dejen residuos cristalinos o terrosos al evaporarlos.
- c) Tierras o suelos con humus y sales cristalizadas; sólidos secos o húmedos.

Definiciones:

PH: Es una medida de la acidez o basicidad de una solución

Ca: Calcio es un elemento químico

MgO: Oxido de magnesio

CO₂: Dióxido de carbono

Ca(OH)₂: Hidróxido de calcio

Lixiviación: Es un proceso en el cual se produce la disolución de compuestos del hormigón en fracción de cemento hidratado.

Hidrólisis: Es una reacción química del agua con una sustancia. Esto produce un desplazamiento del equilibrio de disociación del agua y como consecuencia se modifica el valor del pH.

Eflorescencia: Es la pérdida espontánea del agua de cristalización en los hidratos. Este fenómeno sucede cuando la presión de vapor saturado del agua en el aire es menor a la presión de vapor saturado del agua en el cristal.

Permeabilidad: Es la capacidad de un material para permitir que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna

Porosidad: Es la capacidad de un material de absorber líquidos o gases

Estringita: Se forma de la combinación de ion sulfato con el aluminato de calcio hidratado del cemento. Produce aumento de volumen del sólido.

CAPITULO 2

DURABILIDAD DEL HORMIGON

2.1 Generalidades

En la protección frente a los agentes físicos y químicos agresivos, las medidas preventivas suelen ser las más eficaces y menos costosas. Entre las muchas variables que influyen en los fenómenos de carácter agresivo, la compacidad del hormigón es una de las más importantes y todo lo que se haga por aumentarla redundará en una mayor durabilidad del elemento correspondiente. Por otra parte, la elección del tipo y clase del cemento o cementos que vayan a emplearse, es otro extremo con repercusión directa en la durabilidad del hormigón.

2.2 Durabilidad del hormigón

Durabilidad de un elemento de hormigón es su capacidad de comportarse satisfactoriamente frente a las acciones físicas, químicas agresivas y proteger adecuadamente las armaduras y demás elementos metálicos embebidos en el hormigón durante la vida de servicio de la estructura. La durabilidad debe conseguirse a través de un adecuado proyecto, construcción y mantenimiento del elemento.

Por lo que respecta a la durabilidad del hormigón, deberá elegirse cuidadosamente en el proyecto el tipo y clase del cemento que haya de ser empleado, según las características particulares de la obra o parte de la misma de que se trate y la naturaleza de las acciones o ataques que sean de prever en cada caso. Para conseguir una durabilidad adecuada del hormigón se deben cumplir los requisitos siguientes:

- Requisitos generales:
 1. Máxima relación agua/cemento
 2. Mínimo contenido de cemento

- Requisitos adicionales:

- Mínimo contenido de aire ocluido. En caso de hormigones sometidos a fundentes (Elementos destinados al tráfico de vehículos), se deberá introducir un contenido mínimo de aire ocluido del 4,5%.

- Utilización de un cemento resistente a los sulfatos. En este caso, el cemento deberá poseer la característica de resistencia a sulfatos, siempre que su contenido sea igual o mayor que 600 mg/l en el caso de aguas, o igual o mayor que 3000 mg/kg, en el caso de suelos.

- Utilización de un cemento resistente al agua de mar. En el caso de elementos sumergidos o en zona de mareas.

- Resistencia frente a la erosión. Cuando un hormigón vaya a estar sometida a esta acción se adoptarán las siguientes medidas:

- Resistencia mínima del hormigón de 30 N/mm².

- El árido fino deberá ser cuarzo u otro material de, al menos, la misma dureza.

- El árido grueso deberá tener un coeficiente de abrasión según ensayo de los Ángeles inferiores a 30.

- Los contenidos máximos de cemento en relación con el tamaño máximo del árido serán de: 400 Kg/m³ de cemento para 10 mm de árido, 375 Kg/m³ para 20 mm. y 350 Kg/m³ para 40 mm.

- Cuando en un hormigón se puedan producir reacciones árido-álcali, se deberán adoptar las siguientes medidas:

- Empleo de áridos no reactivos.

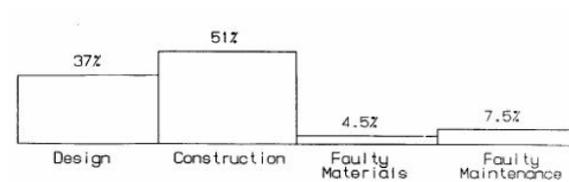
- Empleo de cementos con un contenido de alcalinos inferior al 0,60% del peso de cemento.

Las reacciones árido-álcali se pueden producir cuando concurren, simultáneamente la existencia de un ambiente húmedo, la presencia de un alto

contenido de alcalinos en el hormigón y la utilización de áridos que contengan componentes reactivos.

2.3 Factores que afectan la durabilidad del hormigón

Los problemas de durabilidad de las estructuras de hormigón se presentaran a lo largo de vida útil de acuerdo al siguiente porcentaje:



Diseño: 37%

Construcción: 51%

Falla materiales: 4,5%

Falla mantenimiento: 7,5%

En la Figura #1 se detalla la relación entre el comportamiento del hormigón y el concepto de vida útil de la estructura.

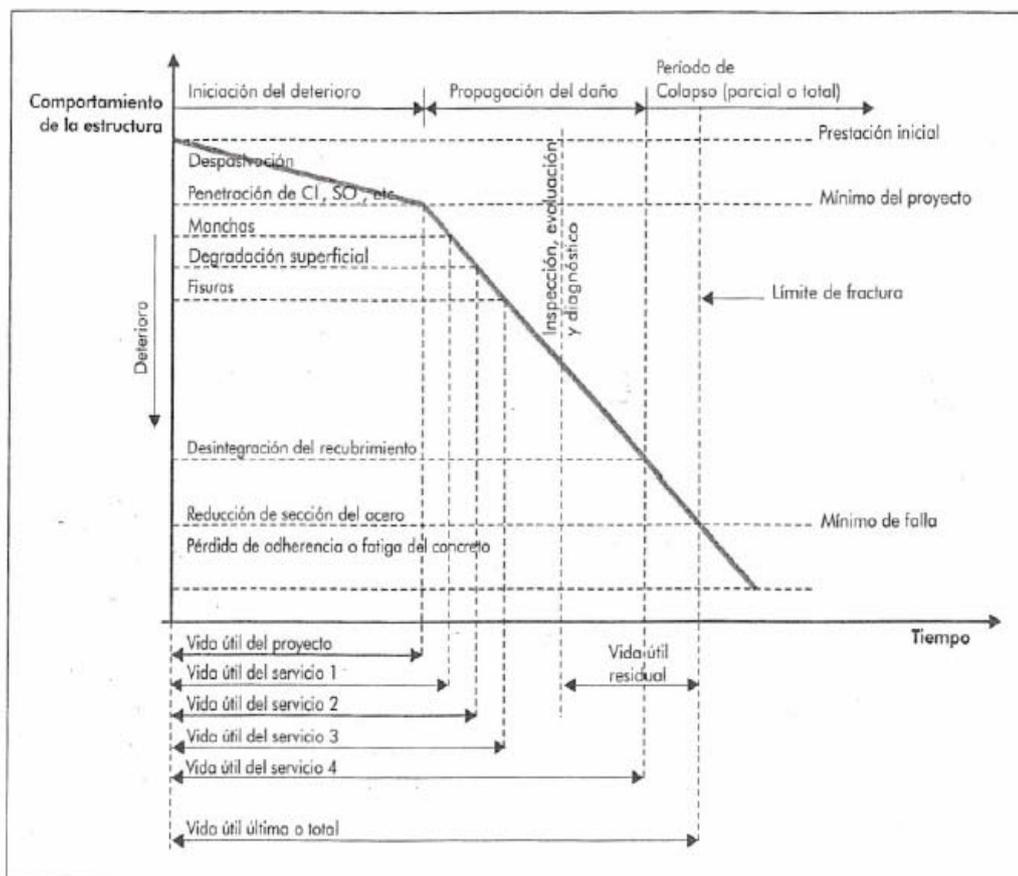


Figura # 1 (Tomado de Mailvaganam "Repair and protection of concrete structures")

Factores que afectan el proceso de deterioro:

- La humedad.
- La temperatura.
- La presión.

Efecto humedad: En la tabla#1 se detalla la humedad efectiva sobre la durabilidad del hormigón y de las armaduras.

TABLA # 1

HUMEDAD RELATIVA EFECTIVA		EJEMPLO DE MECANISMO DE DAÑO EN EL HORMIGON				
		Congelamiento	Carbonatación	Ataque químico	Corrosión de la armadura	
					Carbonatado	Con cloruros
Muy baja	< 45%	Insignificante	Ligero	Mínimo	Mínimo	Mínimo
Baja	45 - 65%	‡ Insignificante	Alto	Mínimo	Ligero	Ligero
Media	65 - 85%	Ligero	Medio	Mínimo	Alto	Alto
Alta	85 - 98%	Medio	Ligero	Ligero	Medio	Alto
Saturación	> 98%	Alto	Insignificante	Alto	Ligero	Ligero

Efecto de la temperatura: Las reacciones químicas usualmente son aceleradas por el aumento de la temperatura. Una regla general es que un aumento de la temperatura de 10° C dobla la velocidad de la reacción. Por ello, los climas tropicales (cálidos y húmedos) se consideran más agresivos que los demás.

Efecto de la presión: Para estructuras sumergidas en el suelo o en el agua, la acción de la presión puede ser más dramática por cuanto promueve la penetración de elementos o sustancias que pueden percolar el hormigón.

2.4 Corrosión de metales en el hormigón

El hormigón por ser un material con una alcalinidad muy elevada (PH > 12.5), y alta resistividad eléctrica constituye uno de los medios ideales para proteger metales introducidos en su estructura, al producir en ellos una película protectora contra la corrosión. Pero si por circunstancias internas o externas se cambian estas condiciones de protección, se produce el proceso electroquímico de la corrosión generándose compuestos de óxidos de hierro que llegan a triplicar el volumen original del hierro, destruyendo el hormigón al hincharse y generar esfuerzos internos.

2.4.1 Mecanismos de la corrosión.-

En la Figura #2 se describe el esquema típico general de la celda electroquímica; que consiste en un ánodo de Hierro, un cátodo de otro metal que para nuestro caso también sería hierro, con iones en un medio ácido, un elemento que permita el flujo iónico del cátodo al ánodo, y una conexión entre ánodo y cátodo para canalizar el flujo de electrones. En la Figura #3 se establece el esquema de la celda electroquímica en el caso del acero de refuerzo, permitiéndose las siguientes conclusiones:

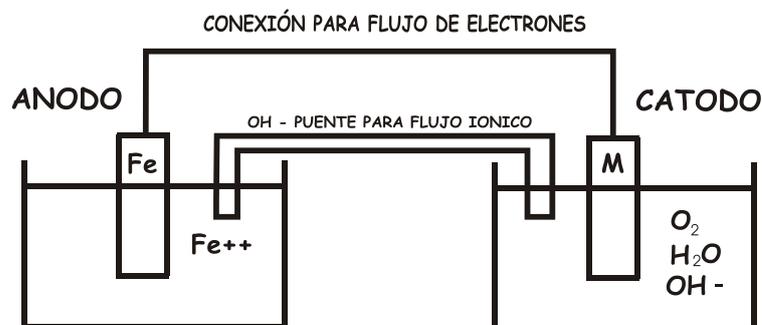
El ánodo y cátodo están separados, pero dicha separación puede ser una micra o una distancia muy grande e igualmente se verifica el fenómeno, por lo que en el acero de refuerzo se puede dar la corrosión por microceldas o macroceldas.

El oxígeno no está involucrado en el lugar donde se produce la corrosión, que es exclusivamente el ánodo, sin embargo, si es imprescindible que en el cátodo haya oxígeno y agua para el proceso electroquímico.

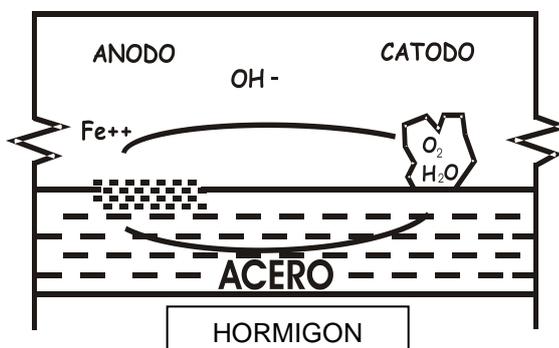
Debe existir la suficiente concentración de iones para que se inicie el flujo electroquímico, lo que en la práctica se produce cuando ingresan cloruros en cantidad suficiente, se reduce la alcalinidad ($\text{PH} < 8.0$) y se dan las condiciones de humedad en el cátodo.

El flujo se interrumpe y consecuentemente la corrosión, cuando se elimina el conductor metálico entre el ánodo y el cátodo o evitando que haya oxígeno en el cátodo o eliminando el agua entre ambos que es el medio de transporte de los iones.

Figura#2 Celda de corrosión electroquímica.



Figura# 3. Celda de corrosión en hormigón reforzado.



En consecuencia, analizando el mecanismo, es evidente que deben cumplirse varias condiciones para que se produzca la corrosión y en general salvo casos especiales esto no ocurre con frecuencia. Solo si tenemos cloruros en una determinada concentración referida al peso del cemento estimada normalmente del orden del 0.2% existe la posibilidad de corrosión si a la vez se cumplen los otros requisitos.

En la Tabla# 2 se muestra las recomendaciones del reglamento ACI-318 con respecto al contenido máximo de cloruros en función del tipo de hormigón y condición de exposición expresada en porcentaje referido al peso del cemento, para prevenir corrosión.

Tabla# 2:

TIPO DE ELEMETO	CONTENIDO MAXIMO DE ION CLORURO EN HORMIGÓN (% en peso de cemento)
Hormigón pretensado	0,06
Hormigón armado expuestos a cloruros	0,15
Hormigón armado protegido de la humedad	1,00

En la Tabla# 3 se detallan las recomendaciones de este mismo reglamento sobre las relaciones agua/cemento máximas a aplicarse bajo condiciones especiales de exposición.

Tabla# 3:

CONDICION DE EXPOSICION	RELACION a/c MÁXIMA (HORMIGÓN NORMAL)	F' c MINIMO HORMIGÓN NORMAL Y LIGERO (kg/cm²)
Hormigón con baja permeabilidad al agua	0,50	280
Hormigón expuesto al hielo y deshielo en condición húmeda.	1,00	315
Para prevenir corrosión en hormigón expuesto a sales para disolver hielo	0,40	350

2.4.2 Como combatir la corrosión.-

Los cloruros pueden estar dentro del hormigón desde su colocación, si los agregados en el agua de mezcla o los aditivos ya la incluían, por lo que el primer paso consiste en evaluar los materiales del hormigón para estimar si contribuirán a la corrosión; de ser así existen alternativas en cuanto a cambiarlos por otros que no lo contengan o en caso de los agregados someterlos a lavados para reducir su concentración.

La otra forma como se puede incluir es entrando en la solución por los poros capilares de hormigón. Esto se verifica cuando en hormigón está en exposición directa a agua con cloruros como es el caso de estructuras marinas o en el aire con alta humedad relativa y en mucho caso se va depositando sobre el hormigón por la humedad ambiental y el viento que arrastra partículas de suelo contaminado, introduciéndose la solución cuando llueve.

Como se apreciará, para que se introduzca el ingreso es necesario que el hormigón sea lo suficientemente permeable para que los cloruros lleguen hasta donde se encuentre el acero de refuerzo, por lo que se aplica las mismas

recomendaciones que para la agresividad de los sulfatos, con la condición adicional de la importancia extrema del hormigón de recubrimiento, que es la barrera principal para el ingreso en los casos de ambientes agresivos con cloruros deben especificarse recubrimientos mayores de los normales y calidades de hormigón que aseguren baja permeabilidad.

2.5 Limitaciones a los contenidos de agua

En la Tabla# 4 se detalla las limitaciones que se deberá cumplir en función de la relación agua/cemento (a/c) y los contenidos en cemento de los hormigones

Tabla# 4:

AMBIENTE	RELACION MAXIMA A/C	CONTENIDO MINIMO EN CEMENTO KG/M3	
		HORMIGON EN MASA	HORMIGON ARMADO
ESTRUCTURAS NO SOMETIDAS A HUMEDADES	0,65	150	250
* ESTRUCTURAS SOMETIDAS A HUMEDADES	0,50 A 0,60	175 A 200	275 A 300
* ELEMENTOS DE ESTRUCTURAS MARINAS	0,50 A 0,55	200	300 A 325
** QUIMICAMENTE AGRESIVO	0,50	200	325

(*) En estos casos, deberán utilizarse aireantes, que produzcan un contenido de aire ocluido mayor o igual que el 4,5%. (**) En el caso particular de existencia de sulfatos, el contenido mínimo en cemento de los hormigones en masa se elevará a 250 kg/m³. Además, tanto para hormigones en masa como para los armados, el cemento deberá ser resistente a los sulfatos si el contenido en sulfatos del agua es mayor o igual que 400 mg/kg, o si en suelos es mayor o igual que 3.000 mg/kg.

La relación agua / cemento constituye un parámetro importante de la composición del hormigón. Tiene influencia sobre la resistencia, la durabilidad y la retracción del hormigón.

La relación agua / cemento $2 (a/c)$ es el valor característico más importante de la tecnología del hormigón. De ella dependen la resistencia y la durabilidad, así como los coeficientes de retracción y de fluencia. También determina la estructura interna de la pasta de cemento endurecida.

La relación agua cemento es el cociente entre las cantidades de agua y de cemento existentes en el hormigón fresco. O sea que se calcula dividiendo la masa del agua por la del cemento contenidas en un volumen dado de hormigón.

$$R = \frac{a}{c}$$

R Relación agua / cemento

a Masa del agua del hormigón fresco

c Masa del cemento del hormigón

La relación agua / cemento crece cuando aumenta la cantidad de agua y decrece cuando aumenta el contenido de cemento. En todos los casos, cuanto más baja es la relación agua / cemento tanto más favorables son las propiedades de la pasta de cemento endurecida.

Comentarios:

Una condición eficaz para garantizar la durabilidad del hormigón es la protección a las armaduras frente a la corrosión con un hormigón con permeabilidad reducida.

Para obtenerla son decisivos: La elección de una relación agua/cemento suficientemente baja; una compactación idónea del hormigón; contenido adecuado de cemento y una hidratación suficiente conseguida por un cuidadoso curado.

Definiciones:

Árido: Se denomina árido al material granulado que se utiliza como materia prima en la construcción.

Álcali: Son óxidos, hidróxidos y carbonatos de los metales alcalinos. Actúan como bases fuertes y son muy hidrosolubles.

Ánodo: Al electrodo positivo de una célula electrolítica hacia el que se dirigen los iones negativos dentro del electrolito.

Cátodo: Al electrodo negativo de una célula electrolítica hacia el que se dirigen los iones positivos.

Permeabilidad: Es la capacidad de un material para permitir que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna.

Cloruros: Son compuestos que llevan un átomo de cloro en estado de oxidación.

CAPITULO 3

EVALUACION DE DAÑOS

3.1. Clasificación de las fallas de acuerdo a su origen.

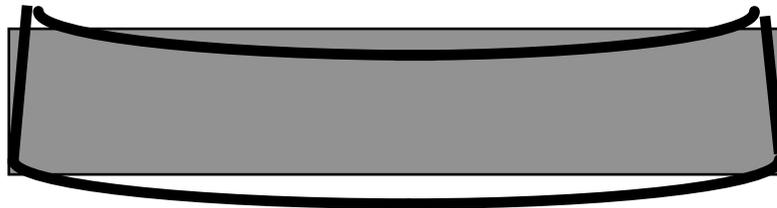
Los orígenes de las fallas pueden proceder de acciones de tipo mecánico, físico químico, electroquímico o biológico.

3.1.2.- Acciones mecánicas.-

Dentro de los factores de deterioro imputables a las acciones mecánicas están las sobrecargas, la deformación lenta (fluencia), los impactos, las vibraciones excesivas, la abrasión, la erosión y la cavitación, que están relacionados con el uso que se da a la estructura.

3.1.2.1.- Sobrecargas y deformaciones.-

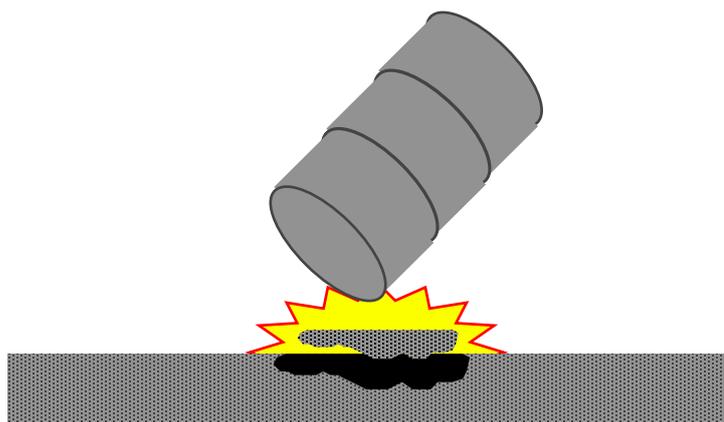
Con relación a estos dos primeros factores, es lógico que si se rebasa la capacidad resistente del material o fallan las bases de soporte, se poducira asentamientos del terreno, las consecuencias se manifiestan mediante microfisuras, fisuras y/o el colapso de la estructura, según la intensidad del mecanismo de acción.



Figura#4 Deformación de una viga

3.1.2.2.- Impactos y vibraciones.-

Estos dos factores pueden iniciar o propagar las grietas. Es raro encontrar cargas de impacto en las estructuras, pero cuando exista la probabilidad de su presencia, es recomendable utilizar un criterio de diseño conservador para que el agrietamiento sea el mínimo posible.



Figura# 5 Daños debidos a impacto

3.1.2.3.- Resistencia a la abrasión.-

La resistencia del hormigón a la abrasión se define como la habilidad de la superficie para resistir el desgaste producido por fricción, frotamiento, raspaduras o percusiones. Este fenómeno es difícil de valorar, ya que la acción perjudicial varía según la causa del daño.

Algunas pruebas y la experiencia en obras han demostrado que, por lo general, la resistencia a la compresión es el factor que individualmente controla en forma más definitiva la resistencia del hormigón a la abrasión, ya que esta aumenta al incrementar la resistencia a la compresión.

3.1.3.- Acciones físicas.-

Las acciones físicas se refieren esencialmente a los cambios volumétricos que experimenta el hormigón tanto en estado fresco como en estado endurecido. La comprensión de la naturaleza de estos cambios es útil para el análisis y prevención de agrietamientos.

Aunque el hormigón es muy resistente a la compresión, su capacidad de tolerar esfuerzos de tracción es relativamente débil, y por ello, los cambios de volumen desarrollan microfisuras, fisuras y grietas.

3.1.4.- Acciones químicas.-

Son varias las sustancias que pueden atacar al hormigón, provocando la desagregación y disgregación del mismo.

La desagregación del hormigón es un grave problema que consiste en que el cemento va perdiendo o ha perdido su cualidad de conglomerante, descomponiéndose el hormigón en sus materiales componentes. El hormigón

que padece un proceso de desagregación, ve muy reducida, cuando no anulada, su capacidad resistente.

Este fenómeno tiene una base química, y son los sulfatos los principales agentes dinamizadores de esa desagregación. El origen de los problemas puede estar en las características de los materiales con los que se ha efectuado el hormigón (cemento, agua, áridos y aditivos), así como a las deficiencias en su conservación.

3.1.4.1- Formación de sales expansivas (Ataque de sulfatos)

Algunos sulfatos de sodio, potasio, calcio y magnesio que están naturalmente en el suelo o disueltos en el agua freática o en la atmósfera pueden acumularse sobre la superficie del hormigón incrementando su concentración y por lo tanto el riesgo de deterioro.

Primero, combinación de los sulfatos con hidróxido de calcio (cal libre), que forman sulfato de calcio (yeso) y segundo, combinación de yeso con aluminato hidratado de calcio para formar sulfo-aluminato de calcio (etringita). Estas dos reacciones tienen como resultado un aumento del volumen sólido y a la segunda se le atribuyen la mayoría de las expansiones y rupturas del hormigón causadas por soluciones de sulfatos.



Figura# 6 Deterioro por causas de aguas agresivas (mar)



Figura# 7 Columna afectada por causas de aguas agresivas (mar)

3.1.4.2- Ataque de ácidos.

El mecanismo de deterioro del hormigón causado por ácidos generalmente es el resultado de una reacción entre estas sustancias y el hidróxido de calcio del cemento portland hidratado. Por tal razón no existen los hormigones resistentes a los ácidos y por ello, deben protegerse de su acción mediante barreras impermeables y resistentes que los protejan del contacto directo.



Figura# 8 Pisos atacados por ácidos lácteos

3.1.4.3- Carbonatación.

Es un tipo particular de reacción ácida, se debe a la penetración del dióxido de carbono (CO_2) del aire atmosférico en la estructura porosa de la superficie del hormigón. Este gas carbónico se disuelve en algunos de los poros y reacciona

con el hidróxido de calcio liberado durante la hidratación del cemento (conocido como la cal libre del cemento). El proceso origina un descenso del pH en la capa superficial del hormigón, de su valor usual de 13 hasta valores del orden de 9 y al perder su basicidad deja de ser un elemento protector de la corrosión del acero de refuerzo.

El proceso es más intenso cuanto más importantes son los cambios de humedad y más elevada la temperatura. Este fenómeno también se presenta de manera significativa en ambientes cuya humedad relativa se encuentra entre 60% y 98%. Si el hormigón permanece saturado, no hay carbonatación. De otra parte, el proceso también es más intenso en la medida en que sea mayor la permeabilidad del hormigón. De ahí la importancia de trabajar con mezclas cuya relación agua-cemento está por debajo de 0,5 y además bien curadas.

3.1.4.4- Expansión destructiva de las reacciones álcali-agregado.

Algunos tipos de agregados contienen formas reactivas de sílice, que pueden reaccionar con los álcalis del cemento (óxidos de sodio y óxidos de potasio). Esta reacción, se conoce como álcali-sílice y forma silicatos alcalinos en el gel de cemento, que son capaces de absorber agua en grandes cantidades y a través de procesos de osmosis ejercen grandes presiones en los poros del hormigón causando fisuras. El proceso suele manifestarse entre dos y cinco años de edad del hormigón.



Figura# 9 Muestras de hormigón

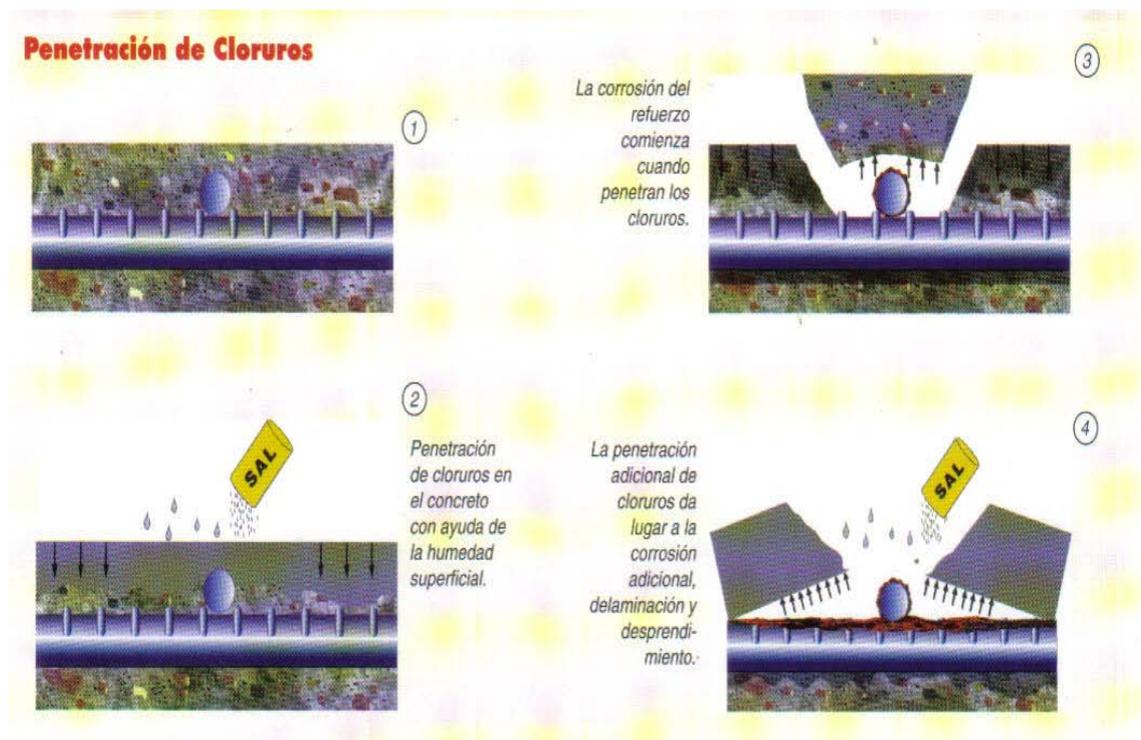
3.1.4.5- Corrosión del acero de refuerzo.

En condiciones normales el hormigón proporciona a los materiales metálicos embebidos en él, una protección adecuada contra la corrosión, que es un fenómeno electroquímico, por dos motivos. En primera instancia, porque el

oxígeno presente en el hormigón reacciona con el acero formando una fina capa de óxido sobre la armadura, que es conocido como el proceso de "pasivación" y que la protege de cualquier corrosión posterior.

En segundo lugar, si la calidad, espesor y densidad del recubrimiento son apropiados, se mantendrá el carácter básico del hormigón y no habrá carbonatación o penetración de agentes agresivos. Es decir, que el acero de refuerzo no se oxida en el hormigón debido a la alta alcalinidad de la pasta de cemento (pH de 13) y a su resistencia eléctrica específica que es relativamente alta en condiciones de exposición atmosférica.

Pero si por alguna razón se reduce la alcalinidad del hormigón a aproximadamente un pH de 10, es probable que se presente corrosión en el acero de refuerzo. Para que haya corrosión se requiere de humedad para la formación de un electrolito, la existencia de una diferencia de potencial y la presencia de oxígeno.



Figura# 10 Detalle de Penetración de Cloruros

Los efectos de la corrosión se manifiestan de tres diferentes formas que pueden o no ser simultáneas:

- Fisuración interna del hormigón.
- Disminución de la capacidad mecánica del hormigón.
- Baja adherencia entre el hormigón y el acero de refuerzo.

Pero el mecanismo de falla puede acentuarse por la presencia de un agente agresivo que acelera el fenómeno como los cloruros u otros iones despasivantes, aún si el pH del hormigón está por encima de 9. En este caso, el ataque por cloruros produce picaduras locales que rompen la capa pasiva del acero de refuerzo, iniciando el proceso anódico y reduciendo la sección de la barra.



Figura# 11 Acción de la corrosión en armaduras de columnas

3.1.5.- Acciones biológicas.-

La principal forma de ataque biológico y una de las más graves, se presenta en los elementos de hormigón que están en contacto habitual con aguas residuales. El daño, es debido a la acción del ácido sulfúrico.

En las aguas residuales existen habitualmente derivados orgánicos e inorgánicos del azufre, especialmente sulfitos (aguas industriales) y sulfatos (aguas domésticas). Los fenómenos biológicos son causados por microorganismos animales o vegetales (bacterias, hongos, algas, líquenes, etc).

Si el ataque es bacteriológico, este puede ser anaeróbico (con concentraciones de oxígeno inferiores a 0,1 mg/l); o aeróbico (con concentraciones de oxígeno superiores a 1 g/l). En el primer caso, la acción bacteriana puede reducir los sulfatos presentes a sulfitos y hay difusión de H_2S , generando la probable formación de ácido sulfúrico con grave agresión para la pasta de cemento. En el segundo caso, no existe riesgo. Si los microorganismos son de origen vegetal, el deterioro por descomposición orgánica (formación de ácido tánico o húmico) es a largo plazo y tienen el grave inconveniente de evitar la adherencia de otros materiales sobre la superficie del hormigón.

En la formación de este tipo de colonias, también juega un papel importante la presencia de humedad o el ambiente marino cargado de sales, sulfatos y otras sustancias que pueden facilitar el desarrollo de microorganismos.

3.2 Métodos de ensayo para determinar la agresividad de aguas y suelos.-

<p>Métodos de ensayo para determinar la agresividad de las aguas al hormigón.</p> <ul style="list-style-type: none">• Valor de pH• Residuo seco a 110°C• Contenido en sulfatos.• Contenido de magnesio (valoración complexométrica)• Dióxido de carbono libre CO₂• Contenido de Amonio NH₄
<p>Métodos de ensayo para determinar la agresividad de los suelos al hormigón</p> <ul style="list-style-type: none">• Preparación de la muestra• Contenido de sulfatos• Acidez Bauman-Gully

a.- Determinación del pH:

Objetivo: El objetivo de este análisis es determinar el pH de las aguas de entrada y de salida y observar cómo varía.

El pH se mide en una escala que va del 0 al 14. La proximidad del pH al 0 indica su grado de acidez, mientras que la proximidad al 14 indica el grado de basicidad. Este último viene determinado por la concentración de iones OH⁻.

El pH del agua pura es de 7. En las aguas naturales está entre 4 y 9.

b.- Determinación del residuo seco del agua

La determinación del residuo seco del agua permite estimar la cantidad de materias disueltas y en suspensión que contiene el agua. Nos da una idea de las sales que están disueltas.

El residuo seco también nos permite establecer la mineralización de un agua. Según el Real decreto 1074/2002, del 18 de octubre, hemos de considerar:

MINERALIZACIÓN	MG/L
Aguas de mineralización muy débil	Hasta 50 mg/l de residuo seco
Aguas oligometálicas o de mineralización débil	Hasta 500 mg/l de residuo seco
Aguas de mineralización fuerte	Hasta 1500 mg/l de residuo

C.-Determinación de la cantidad de sulfatos:

Objetivo: Reconocer la importancia de la presencia de los sulfatos en aguas, Emplear el método turbidimétrico para su determinación.

Procedimiento Experimental del método turbidimétrico.-

El ión sulfato precipita con cloruro de bario ($BaCl_2$), en un medio ácido (HCl), formando cristales de sulfato de bario de tamaño uniforme. La absorción espectral de la suspensión del sulfato de bario se mide con un nefelómetro o fotómetro de transmisión. La concentración de ión sulfato se determina por comparación de la lectura con una curva patrón, en la cual, se ha medido previamente la absorbancia en concentraciones conocidas de sulfatos.

En este método, interfieren la materia en suspensión en grandes cantidades y el color. La materia suspendida puede eliminarse parcialmente por filtración. Si ambos interferentes producen lecturas pequeñas en comparación con la de la concentración del ión sulfato, la interferencia se corrige por color y turbiedad presentes en la muestra original, corriendo blancos sin cloruros de bario.

3.3 Levantamiento y clasificación de daños.-

3.3.1 Generalidades.

Una de los perfiles del ingeniero es proyectar y construir estructuras para que cumplan una determinada función, durante la vida útil de una estructura y con el menor costo posible.

3.3.2.- Diagnostico.

Es necesario para permitir conocer las fallas, determinar el estado en que se encuentra la estructura, y realizar un pronóstico en donde la estructura podrá

recuperar sus características resistentes mediante una reparación o cuando la estructura tendrá que sufrir modificaciones o su demolición.

Las causas que pueden provocar lesiones en una estructura de hormigo armado pueden ser muchas y muy variadas, estas pueden estar relacionadas con fallas de origen mecánico, físico, químico, electroquímico o biológico.

Por supuesto que los daños producidos a edades cortas suelen tener su origen en acciones de tipo mecánico y físico. Las de origen químico precisan del paso del tiempo para que sus efectos se manifiesten, aunque una vez que han aparecido, es mucho más difícil encontrar soluciones de reparación.

Uno de los síntomas más elocuentes en cualquier estructura dañada son las fisuras.

Otros síntomas muy frecuentes en zonas costeras y en zonas con atmósferas industriales son los desprendimientos de esquinas e incluso del recubrimiento de las armaduras como consecuencia del ambiente corrosivo, en el que puede haber existencia de aniones, tales como cloruros, y la aportación de agua y oxígeno, que van a facilitar la aparición de corrientes de intensidad adecuada para que se establezca una pila galvánica entre la armadura y su entorno.

3.3.3.- Evaluación.

Hay daños que no afectan a la integridad de la estructura y cuya reparación puede realizarse sin entrar en un análisis estructural. Estos casos suelen producirse con algún tipo de fisuras estabilizadas provocadas por retracción de secado o cuando existen zonas en las que el hormigón deja oquedades.

Sin embargo, hay otros casos mucho más complejos en los que hay que realizar una evaluación de la capacidad mecánica resistente de la estructura, o más frecuentemente de elementos de la misma, a fin de conocer la importancia y el tipo de reparación a realizar y las medidas de seguridad que habrá que tomar durante la misma.

3.3.4.- Tipos de evaluación.

La evaluación de la estructura puede llevarse a efecto mediante: métodos empíricos, métodos analíticos o, mediante pruebas de carga.

Los métodos empíricos están basados en observaciones directas y conllevan un número de ensayos mínimo. El nivel de información obtenido, en muchos casos, suele ser suficiente, especialmente si no es necesaria una intervención importante. El nivel de precisión obtenido es escaso como también lo es el costo de su aplicación.

3.3.5.- Desarrollo de sistema de evaluación.

Nuestro sistema de evaluación esta basado en una metodología empírica, es decir, en observaciones visuales.

El inicio del proceso de la investigación técnica consiste en resumir los datos históricos más relevantes de la estructura en estudio y la inspección visual indicará las diferentes anomalías que pudieran existir en la estructura.

La necesidad de una inspección con exploración dependerá del grado de daño observado en la estructura.

Luego si las condiciones ameritan se deberá realizar las respectivas tomas de muestras para así poder determinar el daño de la zona afectada. Una vez completado este proceso y obtenido el resultado de las diversas pruebas se evaluará y clasificará a la estructura de acuerdo a sus daños y grado de peligrosidad.

Evaluación:

- 1) Antecedentes
- 2) Inspección Visual
- 3) Inspección con exploración
- 4) Toma de muestras
- 5) Calificación

3.3.5.1- Antecedentes.-

Este paso consiste en recabar información general sobre la estructura analizada como: el nombre de la edificación, la fecha de construcción, la ubicación y uso del mismo. Estos datos se anotarán en la ficha de evaluación.

Ejemplo:

MUESTRA	UBICACIÓN	DAÑO	DIMENSION DE DAÑO	AREA AFECTADA	OBSERVACIONES
1	FILTRO #3	FISURAMIENTO PAREDES	3MM	1 M2	SE ENCONTRO FISURAMIENTO DE PAREDES LATERALES Y DESGASTE DEL MATERIAL

3.3.5.2 Inspección visual.-

Este paso consiste en analizar los elementos estructurales y no estructurales como vigas, columnas, nervios, losas, dinteles, viguetas, muros, paredes, etc.; buscando todas las anomalías que pueden tener, como manchas o eflorescencia en el hormigón, oquedades, fisuras, descascaramientos, falta de recubrimiento, corrosión, etc.

También se procederá a realizar un dibujo del elemento analizado, identificándolo con una simbología.

En las estructuras de hormigón armado uno de los síntomas más frecuentes son las fisuras. Es necesario conocer el tipo de fisura, ya que esta nos indica su posible causa, y así podremos proceder evaluar y calificar el daño en la estructura.

A continuación detallaremos la fisura de acuerdo a su tipo:

- Fisuras por asentamiento plástico:

Esta clase de fisura se debe principalmente al exceso de exudación. También se pueden desarrollar por condiciones de secado rápido a corta edad. Estas fisuras se encuentran por lo general sobre las barras y su tiempo de aparición puede variar entre 10 minutos y tres horas después del colado. Existen también fisuras arqueadas que se localizan en la parte superior de pilares.

- Fisuras por Retracción térmica

Esta clase de fisuras se deben a un secado rápido del agua de mezcla en el hormigón, debido a altas temperaturas. Estas fisuras por lo general son diagonales y se pueden ubicar en pavimentos y losas. También existen fisuras con distribución arbitraria que se presentan en losas de hormigón armado.

- Fisuras en losas muy armadas

Esta clase de fisuras se deben a que en las losas de hormigón tienen excesiva cantidad de acero y están muy próximas a la superficie, debido a que al existir un secado rápido en el hormigón, aparecen fisuras sobre las armaduras.

- Fisuras por contracción térmica

Esta clase de fisura está localizada generalmente en muros gruesos y su presencia se debe al exceso calor de hidratación en el hormigón. Otra de las causas de la presencia de estas fisuras es su enfriamiento rápido. Estas fisuras aparecen a las 24 horas o hasta las 3 primeras semanas. También

existen fisuras que pueden aparecer en losas muy gruesas debido a su excesivo gradiente térmico.

- Fisuras por retracción de secado

Esta clase de fisura pueden localizarse por lo general en losas delgadas y paredes y se deben a un exceso de retracción por curado ineficaz. Su aparición en losas se debe a juntas ineficaces. Su tiempo de aparición pueden ser varias semanas.

- Fisuras por corrosión de armaduras

Estas fisuras tienen una forma natural y su existencia se debe a recubrimientos deficientes o también a una pobre calidad del hormigón. Estas fisuras se pueden localizar en vigas y pilares, y siguen por lo general la dirección de las varillas de acero. El tiempo de aparición de la corrosión en el hormigón es de más de 2 años.

- Fisuras por reacción árido-álcali

Esta clase de fisuras tienen una distribución arbitraria y se pueden encontrar en cualquier elemento de hormigón. Estas fisuras se deben a la presencia de áridos reactivos que se mezclan con cementos ricos en álcalis los cuales generan reacciones que generan dichas fisuras.

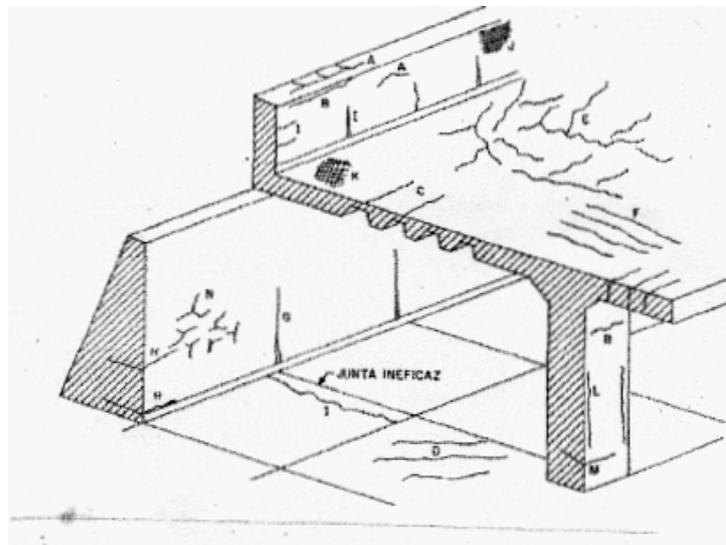


Figura # 12 Clases de Fisuras

3.3.5.3 Inspección con exploración.-

Este paso consiste en definir mejor los daños, los cuales se pueden realizar a través de escarificaciones. Podemos analizar a través del picado (cincel, martillo y brocha) la profundidad de las fisuras. También se realiza el análisis de la

textura del hormigón. En casos en que se requiera saber la buena ubicación de las armaduras se utilizan aparatos detectores de acero de refuerzo.

Este paso ayudará mucho para aclarar las causas de las anomalías y su grado de afectación.

3.3.5.4 Toma de muestras.-

Cuando ya se han realizado los tres pasos anteriores y si las condiciones de daño (gravedad) lo ameritan, se realizarán pruebas destructivas con el fin de definir la magnitud del daño. En el caso del hormigón se realizarán pruebas de corazón para comprobar su resistencia.

En el caso de corrosión en el hormigón armado, se realizaran pruebas para saber el grado de presencia de ácido o sulfatos que puedan provocar el colapso total del hormigón y por ende de la estructura. Una vez completado este proceso y obtenido el resultado de las diversas pruebas se procede a evaluar y a clasificar a la estructura de acuerdo a sus daños.

3.3.5.5 Calificación de estructuras.-

El método de calificación, considera entre todas las clases de daños, los más importantes la corrosión en el hormigón y en las armaduras, las oquedades, falta de recubrimientos, la carbonatación en los elementos de hormigón armado.

Clasificaremos a las estructuras en 5 niveles:

- Primer Nivel

Los elementos en la estructura presente microfisuras que no rebasan los 0.5 mm de espesor debido a asentamientos plásticos o retracción térmica. No presenta descascaramiento. Leve presencia de oquedades producto de la segregación.

- Segundo Nivel

Los elementos de la estructura presentan fisuras mayores a los 0.5mm y menores a 1mm. Se identifica fisuras siguiendo la longitud de las barras provocando la entrada de oxígeno y dióxido de carbono del ambiente. Presencia de carbonatación que excede los límites admisibles (1mm por año de antigüedad). Presencia de Corrosión en las armaduras. Pérdida de sección en las varillas entre 1 y 5 % de la sección. Descascaramiento inicial en los elementos debido a la corrosión. El acero pierde adherencia con el hormigón.

- Tercer Nivel

Presencia de grietas (>1 mm) Aparecen fisuras muy grandes en el plano de los estribos. Corrosión en las barras principales con pérdida de sección del 25%. La calidad del hormigón ha disminuido considerablemente. Pérdida del anclaje frente a pandeo.

- Cuarto Nivel

Pérdida total del recubrimiento del elemento de la estructura. Se producen daños graves, roturas y desprendimiento del hormigón dejando al aire libre las barras de acero.

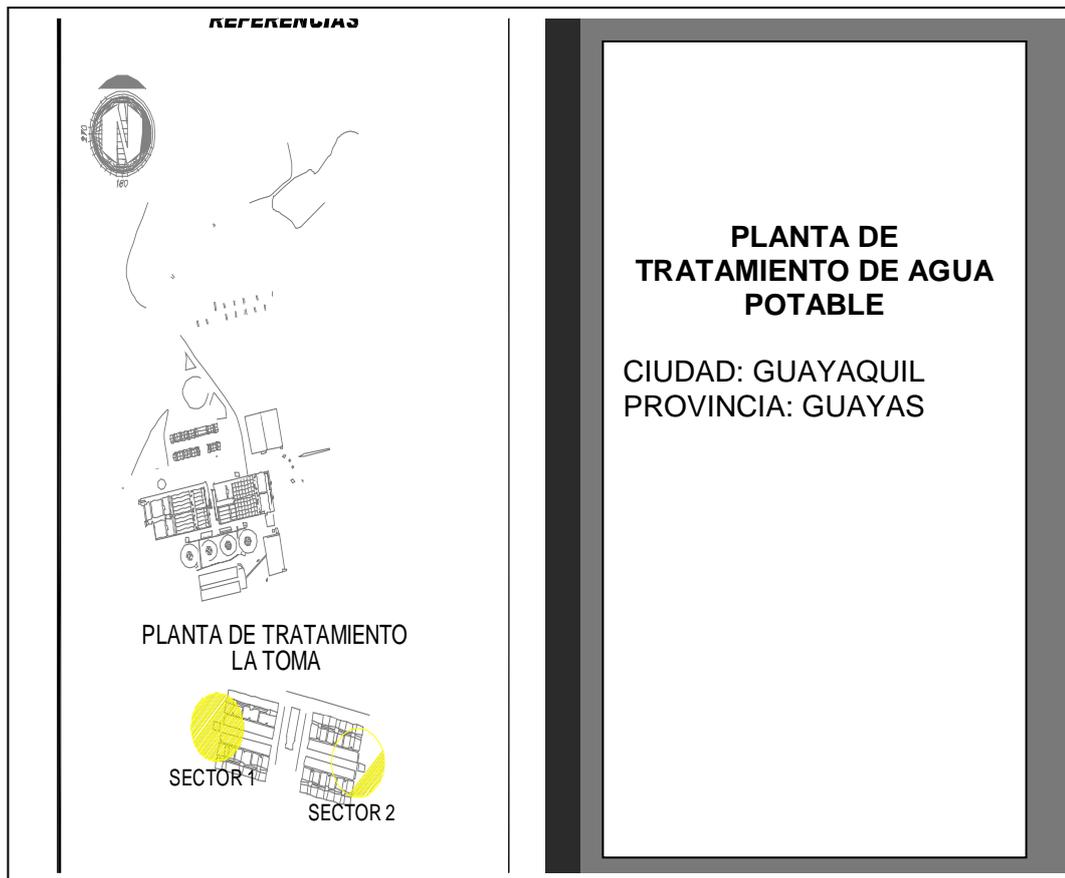
- Quinto Nivel

Las barras principales de los elementos estructurales se pandean. Hormigón casi inexistente. Colapso parcial de elementos verticales. Alto rango de peligrosidad.

El éxito de la reparación y protección de las estructuras de hormigón que están dañadas o deterioradas, en primer lugar requiere la valoración profesional en una inspección apropiada. En segundo lugar, el diseño, ejecución y una supervisión técnica correcta de los Principios y Métodos para el uso de los productos y sistemas de acuerdo con la Norma establecida.

3.4 Caso de estudio.-

El presente trabajo se fundamenta en un problema de desgaste del hormigón existente en la planta de tratamientos de agua potable (La Toma) de la ciudad de Guayaquil, que iniciara al poco tiempo de finalizada la construcción e iniciadas las operaciones de potabilización.



Planta Nueva

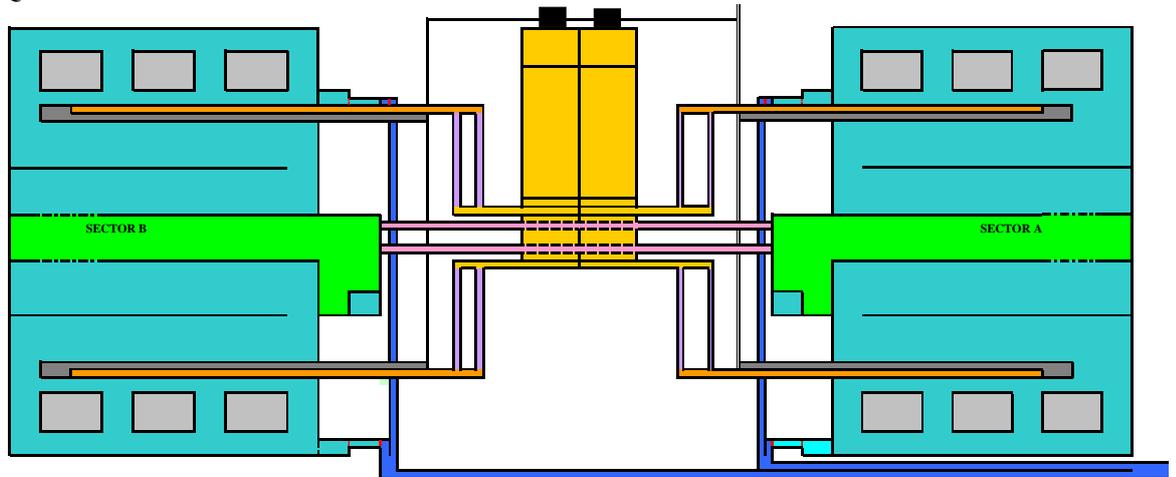
- Construida en el año 1994. Es del tipo contacto-recirculación de lodos y sedimentación, constituida de 2 sectores iguales ("Sector A" y "Sector B"), con capacidad de 432.000 m³/d.

Descripción de elementos afectados:

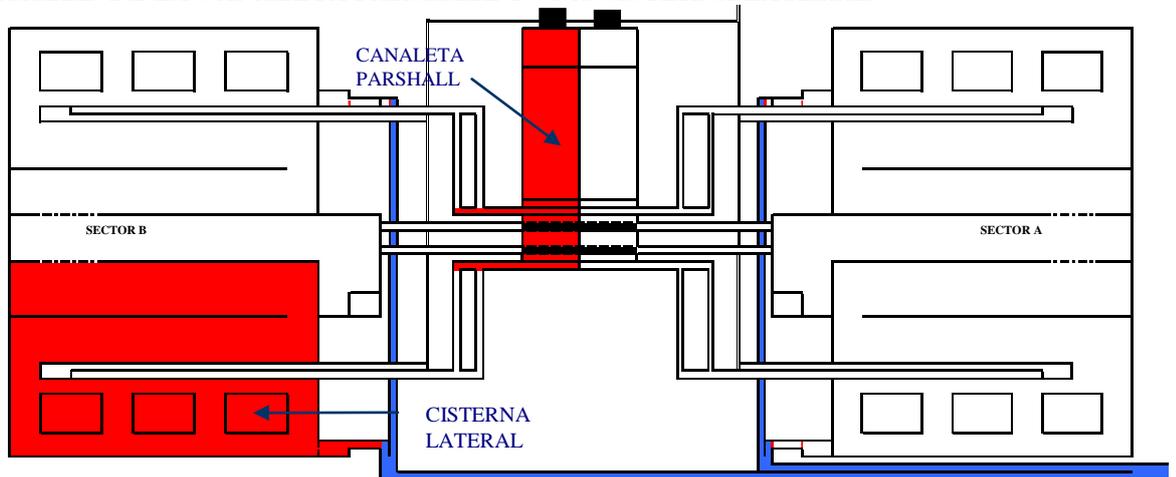
ELEMENTO	AMBIENTE	ACCESO	OBSERVACIONES
CANALETAS PARSHALL	Abierto	Relativamente fácil con escalera de mas de 5 m. sacada de las tuberías de los productos químicos.	Uso de carpas en invierno, andamios.
CANALES DE INGRESO DE AGUA COAGULADA	Cerrado	Por los codos de ingreso de agua a los clarificadores, día. 900 mm.	Uso de iluminación permanente y Ventilación
CLARIFICADORES	Semi Abierto	Relativamente complicado, andamios para superficies inclinadas, uso de arnés para los canales de recolección de agua sedimentada.	Iluminación en la cámara primaria, ventilación para sacado del epóxico de los elementos metálicos, uso de carpas para el clarificador en invierno y carpas permanente para la protección de los seditubos
CANALES DE AGUA SEDIMENTADA	Abierto	Fácil.	Uso de carpas en invierno, compuertas de separación con sello contra el agua. Perforaciones para drenaje del material de limpieza.
FILTROS	Abierto	Relativamente fácil con una escalera de 5 m.	Uso de carpas en invierno, iluminación en el canal central, andamios.
CISTERNAS CENTRALES	Cerrado	Fácil., sacada de las flautas de inyección de cloro.	Uso de Iluminación permanente, ventilación.
CISTERNAS LATERALES	Cerrado	Relativamente fácil, acceso largo, pequeño. Espacio de 1m de ancho por 1m de altura.	Uso de Iluminación permanente, ventilación. Andamios especiales.
TANQUES DE SULFATO DE ALUMINIO LIQUIDO	Cerrado	Fácil.	Uso de Iluminación permanente, ventilación.
TOLVAS DE QUIMICOS	Abierto	Fácil. Escalera de 3 m.	

DETALLE DE CISTERNAS, CANALES DE AGUA COAGULADA Y CANALETA PARSHALL.

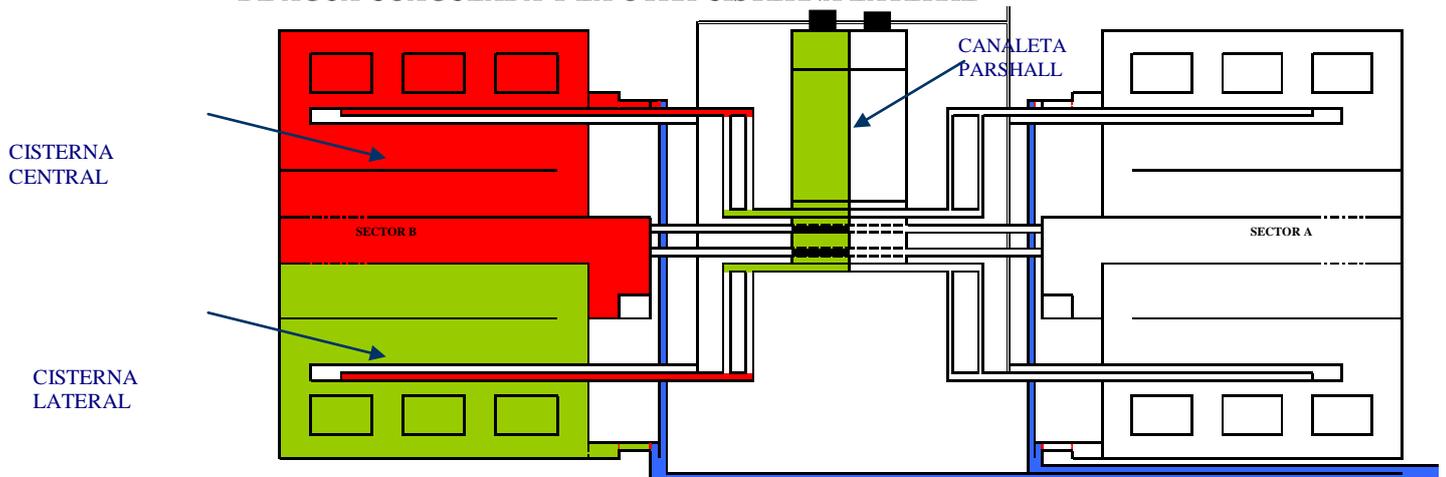
0. ESQUEMA



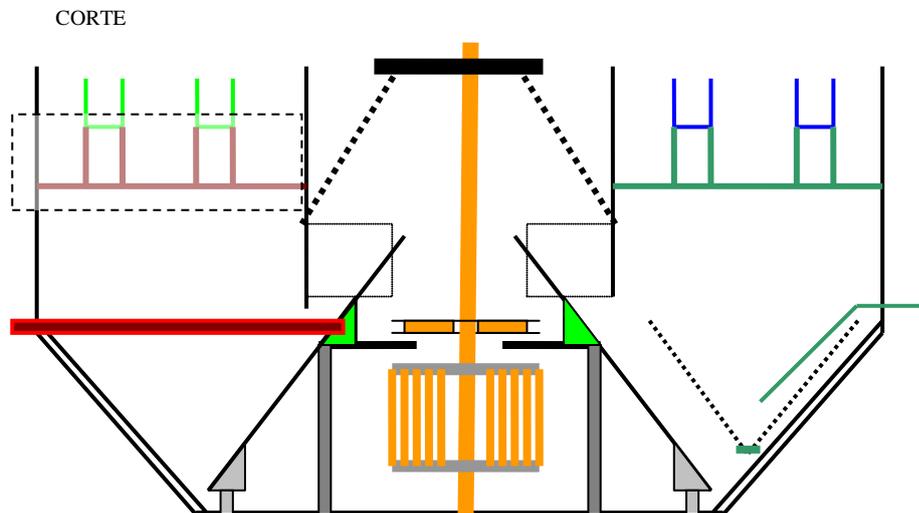
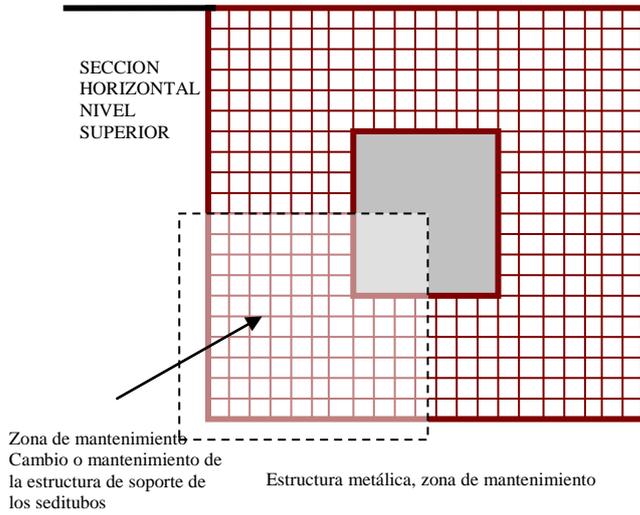
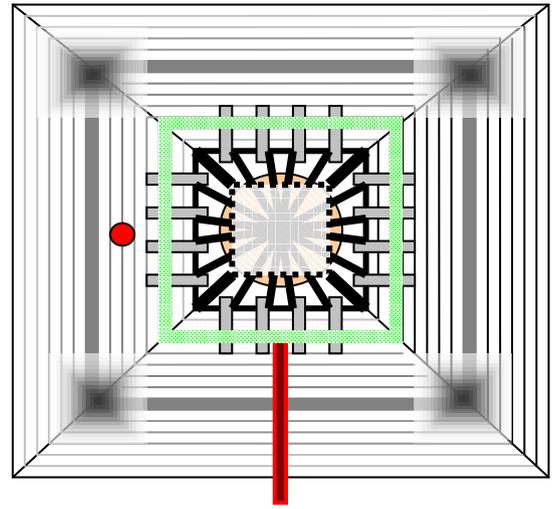
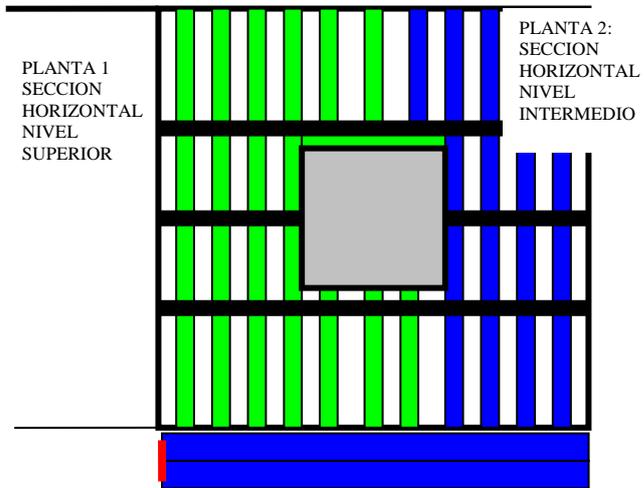
1. DETALLE DE LA CANALETA PARSHALL Y UNA CISTERNA LATERAL



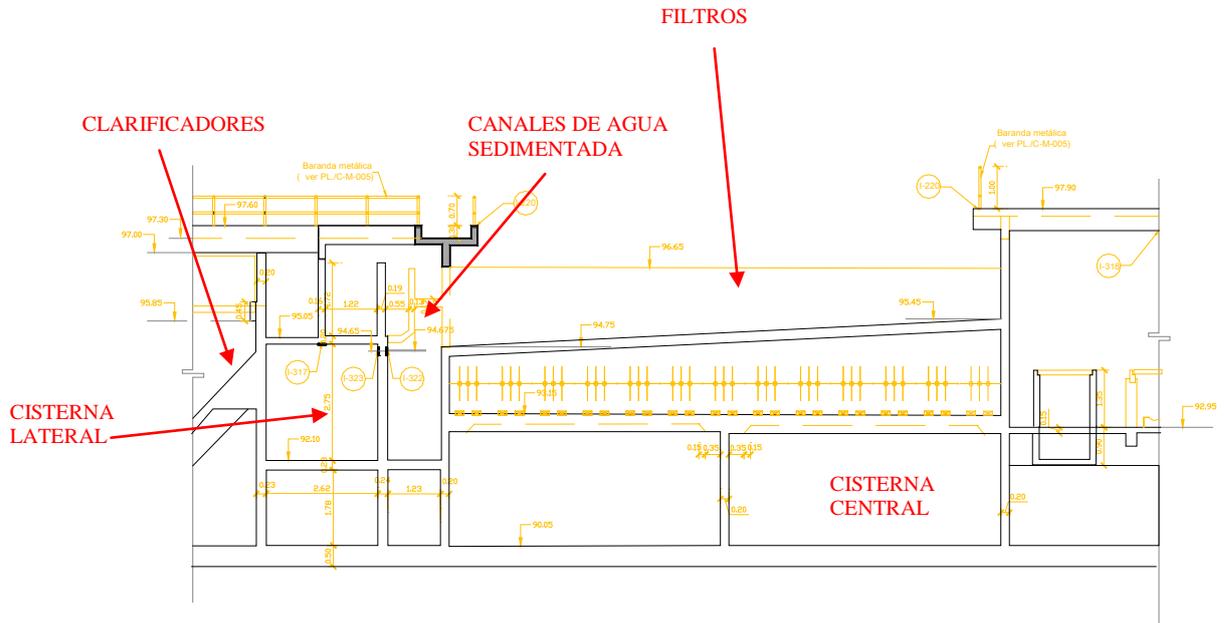
2. DETALLE DE LA CISTERNA CENTRAL, CANALES DE INGRESO DE AGUA COAGULADA Y LA OTRA CISTERNA LATERAL



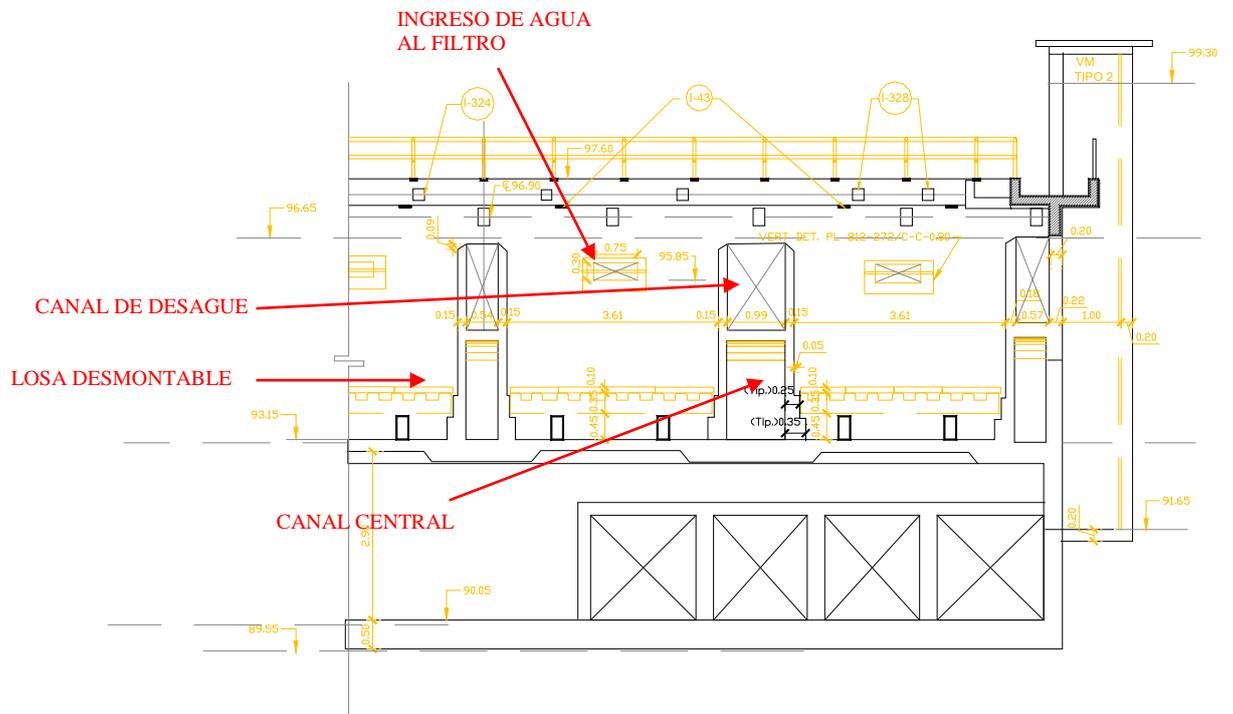
DETALLE DE CLARIFICADOR



DETALLE DE FILTROS



CORTE



Filtros: Los aceros de refuerzos están atacados por el agua.



Estos problemas generan problemas de calidad del agua filtrada y problema de seguridad de proceso y producción.

Clarificadores: Todo el hormigón en contacto con el agua esta atacado.



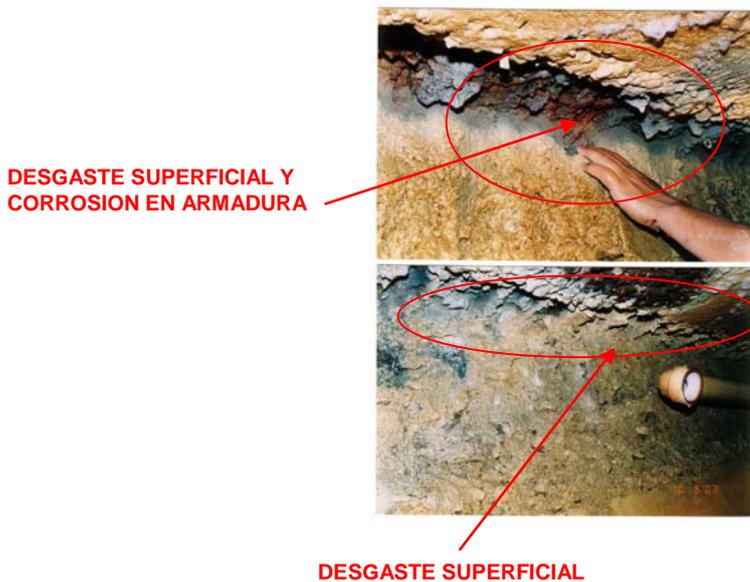
Todas las juntas de los canales de recolección de agua sedimentada tienen fugas y este mismo tipo de problema.



La estructura de soporte de los módulos lamelares colapso por falla del hormigón en las paredes. Fue reparado por emergencia en uno de los 12 clarificadores de la planta.



Cisternas Laterales: En el punto de inyección de la precloración, existe un gran daño resultado del alto residual de cloro libre. Los aceros de refuerzos están corroídos y libres por el hecho que el hormigón fue desgastado.



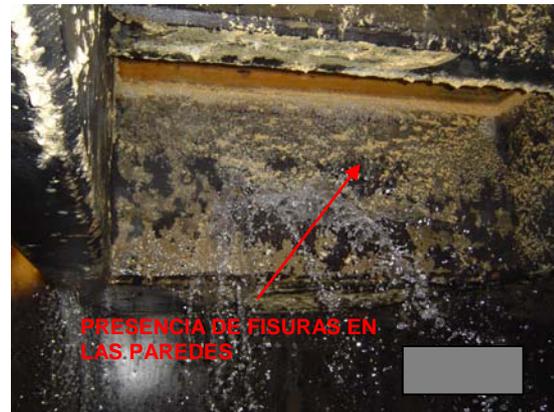
Canales de agua sedimentada: Fugas entre la pared y el canal de recolección de agua sedimentada.



Canaleta Parshall: Se puede observar el estado del hormigón después de la dosificación del coagulante, Sulfato de Aluminio. La parte de abajo de la estructura no tiene un daño significativo en el concreto. Pero, la parte de arriba tiene un gran deterioro, la cual podría ser causada por las algas e ataque del agua.



Cisterna Central: Se puede observar el desgaste del hormigón en las paredes de la cisterna



Punto de inyección de la post cloración: En este punto existe gran daño del hormigón.



La evaluación de los daños o deterioro de la estructura de hormigón armado en la fase de inspección debe ser realizado únicamente por personal calificado.

Este proceso de evaluación debe siempre incluir los siguientes aspectos:

- El estado de la estructura: defectos visibles, no visibles y potenciales.
- Estudio de la exposición a la que ha estado sometida la estructura en el pasado, en la actualidad y en el futuro.

CAPITULO 4

SISTEMAS DE REPARACION

4.1 Metodología de aplicación.-

a) Primero se realiza la inspección visual de los elementos afectados, luego se determina una matriz de daños por áreas y niveles de daños.

Nivel I: Cuando existiera presencia de fisuras con espesor menor a 0,5mm

Nivel II: Cuando existiera presencia de fisuras de $0,5\text{mm} \geq e \leq 1\text{mm}$

Nivel III: Cuando existiera presencia de fisuras con espesor mayor a 1mm

Nivel IV: Cuando existiera pérdida total de recubrimiento

Nivel V: Hormigón inexistente

Matriz de daños:

ELEMENTO	AREAS POR NIVELES DE DAÑOS				AREA GLOBAL
	NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	NIVEL IV	
FILTROS	184,43 m ²	139,16 m ²	196,33 m ²	336,94 m ²	856,85 m ²
CLARIFICADORES	1027,25 m ²	1274,70 m ²	1088,12 m ²	0,00 m ²	3390,06 m ²
CISTERNAS LATERALES	1386,30 m ²	90,31 m ²	0,00 m ²	4535,35 m ²	6011,96 m ²
CANALES DE AGUA SEDIMENTADA	373,02 m ²	683,97 m ²	0,00 m ²	27,06 m ²	1084,05 m ²
CANALETA PARSHALL	303,35 m ²	615,13 m ²	125,00 m ²	0,00 m ²	1043,47 m ²
CISTERNA CENTRAL	631,39 m ²	605,44 m ²	1226,18 m ²	0,00 m ²	2463,01 m ²
CANALES DE AGUA COAGULADA	0,00 m ²	0,00 m ²	0,00 m ²	751,33 m ²	751,33 m ²
TANQUES DE SULFATO DE ALUMINIO	0,00 m ²	315,14 m ²	0,00 m ²	0,00 m ²	315,14 m ²
TOLVAS DE PREPARACIÓN DE QUÍMICOS	0,00 m ²	403,00 m ²	0,00 m ²	0,00 m ²	403,00 m ²

b) Luego analizaremos las reparaciones planteadas de acuerdo a los niveles de afectación:

- Reparación Tipo I: Presencia de nivel I y II.
- Reparación Tipo II: Presencia de nivel III.
- Reparación Tipo III: Presencia de nivel IV.
- Reparación Tipo IV: Presencia de nivel V.

ELEMENTO	AREAS POR TIPO DE REPARACION			AREA GLOBAL
	TIPO 1	TIPO 2	TIPO 3	
FILTROS	323,59 m ²	196,33 m ²	336,94 m ²	856,86 m ²
CLARIFICADORES	2301,94 m ²	1088,12 m ²	0,00 m ²	3390,06 m ²
CISTERNAS LATERALES	1476,61 m ²	0,00 m ²	4535,35 m ²	6011,96 m ²
CANALES DE AGUA SEDIMENTADA	1056,99 m ²	0,00 m ²	27,06 m ²	1084,05 m ²
CANALETA PARSHALL	918,47 m ²	125,00 m ²	0,00 m ²	1043,47 m ²
CISTERNA CENTRAL	1236,83 m ²	1226,18 m ²	0,00 m ²	2463,01 m ²
CANALES DE AGUA COAGULADA	0,00 m ²	0,00 m ²	751,33 m ²	751,33 m ²
TANQUES DE SULFATO DE ALUMINIO	315,14 m ²	0,00 m ²	0,00 m ²	315,14 m ²
TOLVAS DE PREPARACIÓN DE QUÍMICOS	403,00 m ²	0,00 m ²	0,00 m ²	403,00 m ²

c) Continuamos con el procedimiento de reparaciones a seguir por tipo:

- Reparación Tipo I: Se lo realizara mediante el siguiente método.
 - Escarificar hasta 5mm de profundidad o hasta encontrar hormigón sano.
 - Limpieza de la superficie mediante un hidrolavado.
 - Nivelación de superficie E= 5mm con material que sea de baja porosidad y baja permeabilidad.
 - Aplicación de protección epóxica.

- Reparación Tipo II: Se lo realizara mediante el siguiente método.
 - Escarificar de 30mm a 50mm de profundidad o hasta encontrar hormigón sano.
 - Limpieza de la superficie mediante un hidrolavado.
 - Limpieza del acero de refuerzo si estuviera visto, mediante un cepillado.
 - Nivelación de superficie E= 30mm a 50mm con material que sea de baja porosidad y baja permeabilidad.
 - Aplicación de protección epóxica.

- Reparación Tipo III:
 - Limpieza de la superficie mediante un hidrolavado.
 - Limpieza del acero de refuerzo, mediante un cepillado.
 - Restitución de acero si fuera el caso con un traslape según el diámetro de la varilla.
 - Aplicación de un inhibidor de corrosión

- Nivelación de superficie, el espesor depende de la afectación, el material a utilizar deberá ser hermético, de baja porosidad y baja permeabilidad.
- Aplicación de protección epóxica.
- Reparación Tipo IV:
 - Restitución de la sección con un material que sea de baja porosidad y baja permeabilidad.
 - Protección epóxica.

4.2 Modelo de reparación.-

Analizaremos la reparación efectuada en los filtros de la planta de tratamiento de agua potable de Guayaquil.

4.2.1 Detalle del elemento:



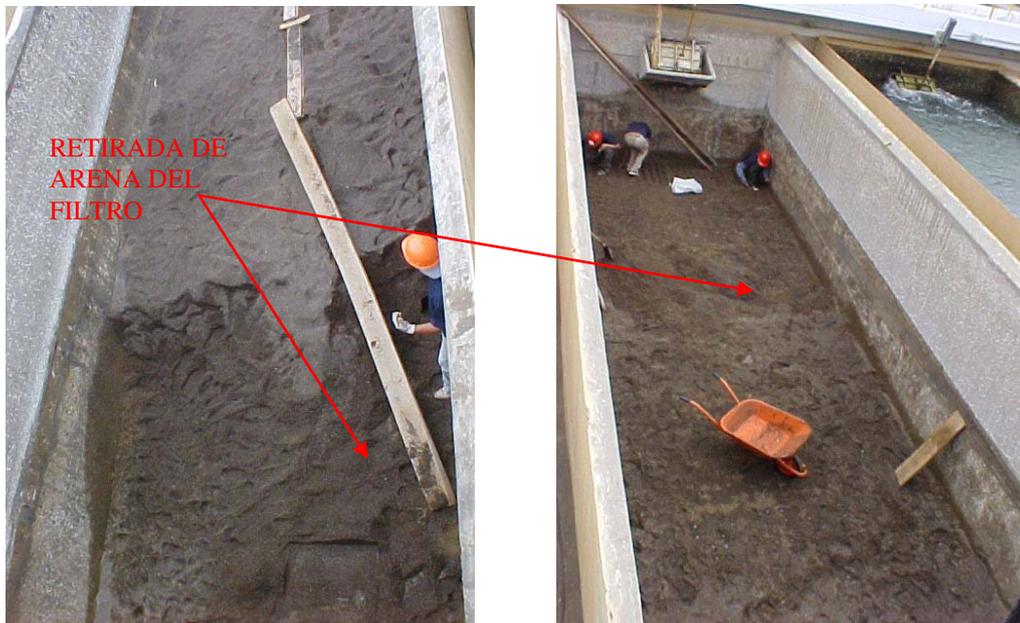
Cada filtro comprende dos áreas de piscinas, en la parte central esta ubicado un canal de desagüe el mismo sirve para la eliminación del excedente de flóculos en el momento del retrolavado.

Los filtros están conformados también por capas de lechos filtrantes, por debajo de estos existen las toberas y losas de falso fondo aquí es donde es receptada el agua filtrada hacia el canal central y luego trasladada a la cisternas laterales.

4.2.2 Proceso de reparación.-

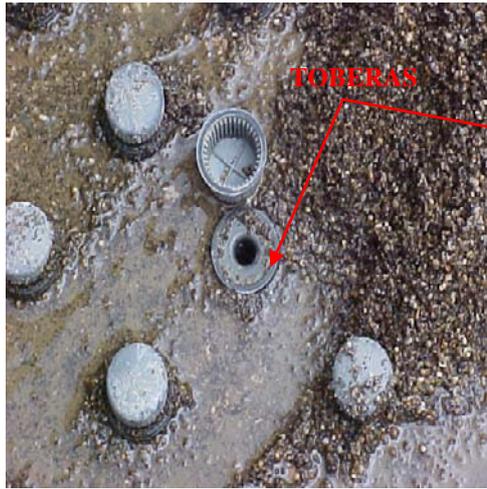
A) Desarmada de filtro:

1. Retiro de lecho filtrante



Para cada uno de los filtros se procedió a retirar todo el material filtrante que existía en cada uno. Se retiro primero la arena y luego la gravilla.

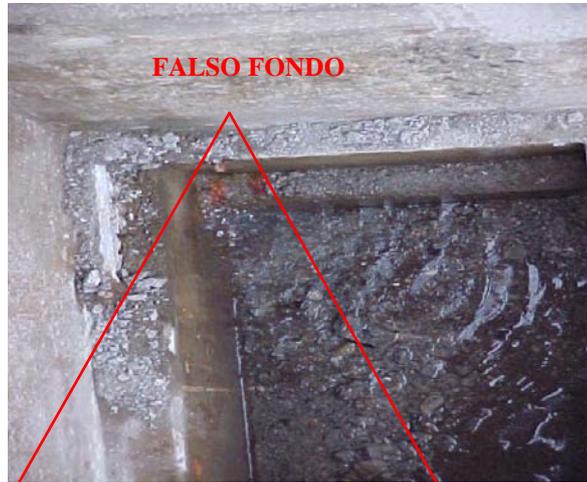
2. Retiro y vericacion de toberas en la losa de falso fondo: Una vez finalizado el retiro del material filtrante se puede observar el estado de toberas, juntas, losetas y paredes.



Se procede a retirar y enumerar las losetas para luego de la reparación ser colocadas en su misma posición.



3. Limpieza de falso fondo: Una vez retiradas las losetas se puede tener acceso al falso fondo, este comúnmente se encuentra con bastante material filtrante (arena y Gravilla) y con filtraciones.



4. Tamizada de lecho filtrante: Una vez retirada la arena y la grava se procede a separarlas para luego colocar las capas correspondientes de acuerdo al diseño



B) Inspección:

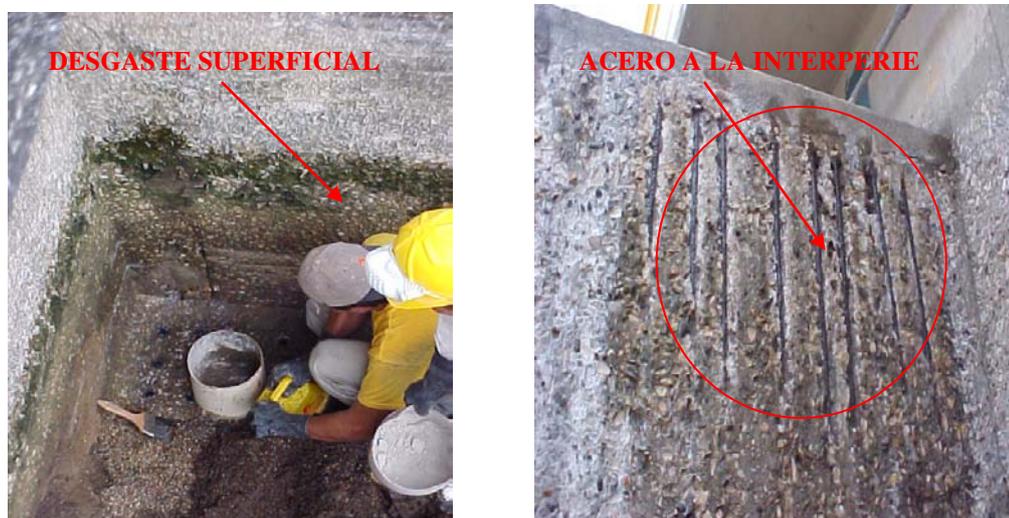
1. Canal Central: Se ingresa al canal central para su rehabilitación encontrando que existen una serie de placas que al parecer sirvieron de encofrado para la placa del canal superior. Estas placas tiene fisuras longitudinales que deben ser reparadas.



Las fisuras encontradas tienen longitud de hasta 1mt de largo y ancho de hasta 3 cm.

Adicional las paredes del canal central se encontró con gras desgaste superficial, el agregado estaba visto y en algunos casos se observo presencia del acero de refuerzo.

2. Paredes Laterales: Se observa desgaste superficial, presencia de corrosión en las armaduras y en ciertos casos oquedades.





Se encontró áreas donde había una pérdida considerable de hormigón dejando descubierta la varilla existente, se procedió a descubrir el área afectada encontrando que la corrosión a la armadura había producido una disminución del diámetro del acero de refuerzo.

C) Reparación:

1. Preparación de la superficie:



Para poder realizar la reparación de las estructuras de hormigón se deberá realizar un correcto tratamiento en preparación de superficie por lo que a

continuación se describen algunos procesos de limpieza y demás novedades que se podrían encontrar en los elementos que conforman la planta. Los mecanismos de limpieza que se implementaran sin descartar otro propuesto, se detallan a continuación en orden de preferencia:

A. Hidro-Demolición

El hormigón, como un material de construcción es un producto relativamente poroso. La hidro-demolición utiliza los poros, propiedad del hormigón, como una ventaja para removerlo durante la operación. Las altas presiones de estas maquinas remueven el hormigón por dos mecanismos separados: Impacto directo a la superficie y la Presión interna de rotura.

La hidro-demolición permite demoler toda la profundidad afectada con la total seguridad que se logra hacerlo y a diferencia de otros métodos no produce otros daños (micro fisuras) además deja la superficie tratada con la rugosidad y limpieza requerida para garantizar una buena adherencia del nuevo mortero o recubrimiento que se vaya a utilizar.

Los equipos de hidro-demolición trabajan con presiones mayores a 500 bar (7250 Psi). Por las diversas ventajas de la utilización de altas presiones, se recomienda este método para la limpieza de los elementos que se encuentran en el nivel III, IV y V de daños, controlando los niveles de presión, tiempo durante el cual el hormigón está expuesto al chorro de agua, ángulo de ataque y distancia de la boquilla a la pared, para que no se exceda en la demolición se deberá establecer en conjunto con la fiscalización, el espesor de rotura de acuerdo al tipo de daño del elemento

En caso de no contar con estos equipos se podrán utilizar métodos alternos similares a la hidro-demolición.

Nota:

Según la publicación, "Concrete Repair Manual" de la ACI / BRE / ICRI / Concrete Society en el volumen 2, en la ICRI Guideline No. 03732 Selecting and Specifying Concrete Surface Preparation for Sealers, Coatings and Polymer Overlays y la USACE TN CS MR 4.4 Cleaning Concrete Surfaces, la hidro-demolición es la única técnica recomendada para la fase de preparación de superficie.

B. Hidro-Lavado

Este método es una buena alternativa debido a los altos costos de las máquinas de hidro-demolición. El proceso de hidro-lavado consiste en la aplicación de un chorro de agua contra la estructura de concreto a reparar a una presión mínima de 2800 psi, sacando las partículas sueltas de la superficie a tratar.

En este método se utiliza también un martillo de agujas de acero para poder remover el concreto que se encuentra a lado de las varillas expuestas para poder ser tratadas de la mejor forma.

Además se tendrá que picar en las oquedades que se encuentren en los diversos elementos.

Este método se lo podrá utilizar en cualquier nivel de daño de la estructura.



C. Hidro-Sandblasting

Consiste en alcanzar una limpieza de la superficie a rehabilitar a través del lanzamiento de un chorro de agua y arena con presión de aire, contra el hormigón haciendo que el choque contra la estructura ocasione el desprendimiento de las partículas sueltas dando como resultado una superficie limpia sin material suelto.

Para este método se tendrá que tener el equipo de hidro sandblasting y un compresor de aire.

Este método puede ser utilizado para los elementos que su nivel de deterioro sea de baja magnitud o elementos metálicos que se tengan que limpiar para luego proteger contra la corrosión.

Debido a la extensa superficie que se tiene que preparar, la cantidad de arena para realizar la limpieza por este método sería muy considerable, debido que la reutilización de la misma se vería complicada por la contaminación con el

material suelto de la superficie de limpiada; además se tardaría mucho tiempo en recogerla, secarla y tamizarla.



2. Retiro del hormigón en mal estado:

Se utiliza herramientas especiales y en puntos muy atacados con cincel y martillo. Podemos observar como existen partes de las estructuras donde el hormigón está totalmente deteriorado y atraviesa la totalidad de las paredes. Esto es lo que permite el paso de agua desde los filtros vecinos.



- Reparación de oquedades o filtraciones:

Por la diversidad de procedimientos existentes en recuperación de superficies, se tendrá que considerar dentro de la preparación de la misma, la reparación de oquedades o filtraciones que existen en los elementos a rehabilitar.

Los tipos más frecuentes de filtraciones se encuentran en las juntas de construcción, debido al manejo de criterios en la etapa constructiva.

Los materiales que se utilizarán para reparar las oquedades o ratoneras puntuales encontradas, dependerá del método de reparación propuesto. En todo caso es recomendable utilización un grouting, cemento tipo pórtland con acelerantes, u otros.

- Reparación de fisuras en juntas de construcción

Las fisuras que se encuentran en los elementos que forman la Planta tienen mucha importancia en su reparación y sellado debido que a través de ellas hay considerables filtraciones que pueden ocasionar el deterioro de la armadura de refuerzo y a su vez provocar la falla en la estructura.

Los elementos que se han considerado como los más deteriorados en este aspecto son: los canales de recolección de agua sedimentada que se encuentran dentro de los clarificadores y la parte superior del canal central interior de los filtros. El material a utilizar deberá ser elástico para que cumpla el principio de una junta estructural.

En casos especiales algunos elementos necesitarán una protección final con epóxico por razones químicas o de abrasión fuerte.

3. Limpieza de varillas:



Debido al poco recubrimiento de hormigón al acero de refuerzo en algunas paredes de la estructura, se puede notar que las varillas se encuentran descubiertas y oxidadas. Por esto, deberán considerar una limpieza completa para verificar si ha sufrido algún desgaste en su diámetro.

- Limpieza de los elementos:

Para poder realizar la limpieza de estos elementos, tienen que estar descubiertos libres de hormigón, para lo cual se utilizara la hidro-demolición o un martillo de agujas de acero, para picar alrededor de la varilla eliminando la parte de hormigón que se encuentre afectado, retirando solo lo necesario sin que se tenga que destruir el resto de la superficie. La limpieza de las varillas de acero se la realizará a través del Hidro-sandblasting o por medio de la aplicación de algún

químico desoxidante (sin que genera algún deterioro del hormigón cercano a la varilla) eliminando todo el óxido acumulado en las mismas.

- Protección del acero de refuerzo

De acuerdo al método de reparación que se vaya a utilizar, de ser necesario, el acero de refuerzo deberá ser protegido con algún producto de recubrimiento anticorrosivo. Adicionalmente se podrá aplicar un inhibidor de corrosión del hormigón reforzado, aplicado en forma acuosa que penetre en el hormigón por difusión líquida y de vapor hasta formar una capa de protección sobre el acero de refuerzo en el interior de la estructura. Es necesario e importante que el valor del potencial de corrosión de las armaduras, llegue a un valor similar al que presentan los aceros que están protegidos sin haber sido afectados por la corrosión.

Cabe recordar que el cemento crea un medio alcalino que actúa como inhibidor de corrosión para el acero de refuerzo.

4. Afinación de superficie:



Los procedimientos que han sido estudiados para este tipo de reparación sin descartar otras posibles técnicas y productos, corresponden a la aplicación de:

- Morteros (arena-cemento con micro sílica y fibras de polipropileno) lanzados (Shotcrete)
- Morteros de epóxi-cemento con recubrimiento epóxico insensible a la humedad con resistencia química
- Membranas con base epóxica o cementicia.

Sea cual sea el método a emplear la superficie deberá estar completamente limpia libre de material suelto y polvo para lo cual se podrá utilizar cepillos y una aspiradora que recogerá estos escombros.

- Morteros lanzados (Shotcrete)

Para realizar este método se tendrá que clasificar el agregado fino del mortero dejándolo libre de impurezas o cualquier otro elemento extraño, se tendrá que utilizar cemento Tipo II (bajo calor de hidratación) el cual es fabricado en Ecuador bajo pedido. Se mezclan de acuerdo a la dosificación dada por un laboratorio para resistencias de 345 Kg./cm², también se les agregará un aditivo acelerante, micro sílica y fibra de polipropileno. Se deberá añadir un impermeabilizante que reaccione con el agua formando cristales no solubles de fibras dendríticas que selle los poros, capilares y micro fisuras del mortero.

También puede preverse un puente epoxi-cemento con recubrimiento epóxico.

Los agregados para el mortero no deberán ser de material calcáreos y deberán ser resistentes al medio agresivo en los que estarán sometidos.

Para la aplicación de este mortero, el área a reparar deberá estar superficialmente saturada con agua.

Se pueden utilizar dos mecanismos para el lanzamiento, el primero corresponde al lanzamiento en seco, en el cual se coloca los componentes del mortero en una maquina mezcladora y es conducido por mangueras con presión de aire, usando un compresor; antes de la salida del mortero, se le adhiere el agua de mezclado, dando como resultado el mortero impregnado en la superficie a reparar. El segundo método de lanzamiento del mortero premezclado con agua consiste en la colocación del mortero preparado en una bomba de hormigón, el cual es conducido a través de mangueras inyectándose presión de aire con un compresor justo antes de la salida del mortero, el cual tendrá mayor coacción impregnándolo en la superficie a reparar.

Se deberá realizar un correcto curado para que la contracción no fisure el mortero colocado.

- Morteros de epóxi-cemento con recubrimiento epóxico

Para la preparación de este mortero se debe utilizar una mezcladora de bajas revoluciones (40 r.p.m.) hasta obtener un producto uniforme libre de grumos. Una de las recomendaciones que podrían servir es la de mezclar únicamente el producto que pueda aplicar durante el tiempo de vida útil del producto.

Para la aplicación de este mortero, el área de reparación deberá estar superficialmente seca, se coloca un primer con la ayuda de una bomba manual, que servirá como ligante entre el mortero y el hormigón, para luego después aplicar el producto previamente mezclado, este procedimiento se lo puede realizar mediante el uso de espátulas o llanas.

Debido a la tendencia de un rápido fraguado por las altas temperaturas de Guayaquil, se deberá cargar una sola vez la superficie para que solo exista la adherencia entre el mortero y el sustrato del hormigón y no entre capas de aplicación.

Se tendrán que realizar pruebas de adherencia para verificar que se cumpla con lo establecido en los datos técnicos de este tipo de producto.

El producto a utilizar como recubrimiento será de resinas epóxicas sin solventes, impermeable, de rápido secado por lo menos de tres días para poner en funcionamiento el elemento reparado. La preparación del producto se la realiza mediante el uso de un mezclador de bajas revoluciones (40 a 60 r.p.m.) durante tres minutos, hasta obtener un color uniforme.

5. Protección epoxica:

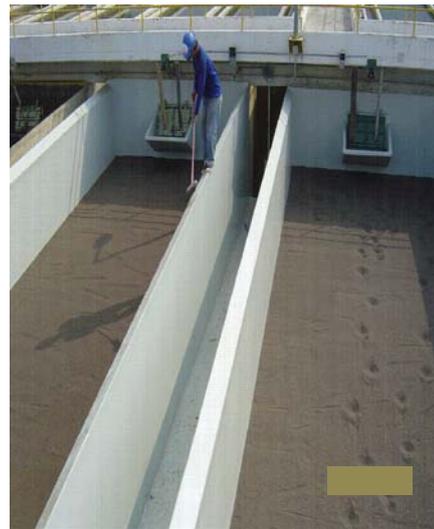
Para la aplicación del recubrimiento epóxico se esperará por lo menos 24 horas desde la aplicación del mortero epóxi-cemento, para lo cual se deberá lijar la superficie aspirando el polvo, para luego colocar la primera capa del producto, la segunda mano se la podrá aplicar cuando la primera se encuentre superficialmente seca al tacto. En todo caso se especificará los tiempos de aplicación para cada producto.

Se aplicara los epoxicos de protección en dos capas una azul y otra gris para en un futuro poder determinar el desgaste que cada uno de ellos va teniendo y así definir el momento de recuperación de la ultima capa



Una vez finalizada la aplicación de la pintura epoxica se deberá esperar mínimo 24 horas para que pueda efectuarse completamente el secado del mismo.

6. Rehabilitación finalizada:



Una vez verificado que el producto este completamente seco, se procederá a la colocación del material filtrante por capas de acuerdo al diseño.

Es necesario se realice pruebas de estanqueidad y filtración e infiltración al filtro reparado, verificando así la correcta ejecución.

RECOMENDACIÓN:

Factores que causan el deterioro del hormigón:

A) Congelamiento y deshielo. Los poros del concreto absorben agua, la que al congelarse crea una presión expansiva. Esta expansión produce resquebrajamiento, descascaramiento o despostillamiento y astillamiento.

B) Acción de la sal. El uso de la sal o de otros descongelantes contribuye a la intemperización del concreto a través de la recristalización.

C) Deformaciones térmicas diferenciales. Grandes variaciones de temperatura pueden provocar una deformación diferencial excesiva entre la superficie y el interior del concreto, lo que provoca ocasionalmente un deterioro. Agregados con bajo coeficiente de dilatación térmico respecto a la pasta de cemento provocan altos esfuerzos de tensión, con el consiguiente deterioro.

D) Defecto de los agregados. Aquellos agregados de estructura débil y/o hendida, son materiales vulnerables a los efectos del intemperismo, la humedad atmosférica y el frío intenso.

E) Agregados reactivos y alta alcalinidad en la pasta del cemento. El resquebrajamiento y debilidad del concreto en la estructura resulta de estas combinaciones, especialmente cuando se encuentra expuesto a los elementos intemperantes.

F) Filtraciones. La filtración de agua a través de grietas o fisuras en el interior de la masa de concreto, provoca escurrimiento de hidróxido de calcio disuelto y otros componentes.

G) Corrosión en el acero de refuerzo. El incremento en el volumen del acero expuesto corroído ocasiona un aumento en la presión interna de la masa del concreto, dando por resultado desprendimiento de los recubrimientos.

Que observar durante la inspección:

Desconchamientos o descascaramiento: La gradual y pérdida continua del mortero y agregados superficiales sobre un área de concreto expuesta. El inspector debe describir el carácter del desconchamiento o descascaramiento, el área aproximada observada y la localización de la misma.

Agrietamiento: Una grieta es una línea que muestra una fractura en el concreto. La grieta se puede extender parcial o completamente a lo largo y a través del

miembro de concreto. Cuando se reporten grietas deben describirse su tipo, dimensiones de abertura y longitud, dirección y localización. Hay que comparar los resultados de la inspección generada con los de una inspección previa para determinar si el agrietamiento continuara o se detendrá.

Factores que causan el deterioro del acero.

A) Aire y humedad. El aire y la humedad son causantes primariamente de oxidación y posteriormente de corrosión en el acero, especialmente en climas marinos.

B) Gases industriales y de vehículos. Los gases dispersos en la atmósfera, producto de la combustión de diesel particularmente producen el ácido sulfúrico, causando severo deterioro en el acero.

C) Agua marina y fango. Sin protección de los miembros de acero, cada uno de los elementos sumergidos en agua marina y cubiertos de fango, corren el gran riesgo de sufrir serios daños que pueden provocar fallas de la sección de acero.

D) Esfuerzos térmicos o sobrecargas. Cuando el movimiento por dilatación térmica de los miembros, es restringido, o alguno de los miembros es sometido a un sobreesfuerzo, se pueden producir deformaciones o fracturas o el desprendimiento de remaches y pernos.

E) Fatiga y concentración de fuerzas. La mayoría de las fracturas son producto de fatiga o deficiencia de detalles constructivos que se producen de una gran concentración de esfuerzos. Ejemplos de estos son: esquinas agudas, cambios bruscos de espesor y/o ancho de placas, pesadas concentraciones de soldadura, una insuficiente área de soporte en los apoyos, etc.

F) Colisiones. Camiones, cargas excedidas descarrilamiento de autos, etc. , Cuando golpean las trabes o columnas, producen daños considerables al puente.

G) Deshechos animales. Esta es una causa de corrosión y es considerada como un tipo especial de ataque químico que puede llegar a ser muy severo.

Que observar durante la inspección.

Herrumbre: La herrumbre en el acero presenta varias coloraciones que van desde el rojo intenso hasta el café rojizo. Inicialmente la herrumbre es un fino granulado, pero a medida que transcurre el tiempo se convierte en pequeñas escamas. Eventualmente la herrumbre se disemina a los largo de toso el

miembro. El inspector debe anotar su localización, características y área de extensión.

Grietas: Las grietas en el acero se diversifican en formas muy finas pero suficientes para debilitar al miembro afectado. Todos los tipos de grietas son obviamente serios, y deben ser reportados de inmediato y especificar cuando se trata de grietas que se cierran y se abren.

Pandeo y torsión: Estas condiciones se desarrollan a causa de los esfuerzos térmicos, sobrecargas o algunas otras circunstancias de carga como la reversible, que aun sin llegar a producir los esfuerzos de trabajo ocasionan fatiga en el acero.

Los daños por colisión son una causa más que provocan el pandeo, torsión y cortes.

Concentración de esfuerzos: Debe observarse la pintura que se encuentra alrededor de las juntas ya que la existencia de finas grietas indican altas concentraciones de esfuerzos. Hay que ponerse alerta con cualquier tipo de deformación tanto en los pernos como en los remaches y de las placas o cartabones que sujetan.

CAPITULO 5

PRUEBAS DE LABORATORIO

CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO EN OBRA

Para que tanto las construcciones en que se emplea concreto como su posterior comportamiento resulten satisfactorios, se requiere que el concreto tenga ciertas propiedades dentro de parámetros adecuados. El control de calidad y las pruebas son parte indispensable del proceso constructivo porque confirman que se están obteniendo buenos resultados.

CLASES DE PRUEBAS

En general, las especificaciones para el concreto y para los materiales que lo componen dan requisitos detallados en cuanto a los límites de su aceptabilidad. Estos requisitos pueden afectar las características de la mezcla, tales como el tamaño máximo de agregado o el contenido mínimo de cemento; las características del cemento, agua, agregados, y aditivos; y las características del concreto fresco y del concreto endurecido, como la temperatura, el revenimiento, el contenido de aire o la resistencia a la compresión.

Las pruebas para concreto se hacen con la finalidad de evaluar el comportamiento de los materiales disponibles, establecer las propiedades de las mezclas, y controlar la calidad del concreto en el campo. Las pruebas de revenimiento, contenido de aire y resistencia se exigen normalmente en las especificaciones de proyecto para el control de calidad del concreto, en tanto que la prueba para determinar el peso volumétrico se usa más para el proporcionamiento de mezclas.

FRECUENCIA DE LAS PRUEBAS

La frecuencia de las pruebas es un factor importante en la efectividad del control de calidad del concreto.

La frecuencia de las pruebas de los agregados y del concreto en las instalaciones típicas que trabajan con mezclas dependerá en gran medida de la uniformidad de los agregados, incluyendo su contenido de humedad.

5.1 Ensayos de control de calidad.-

5.1.1 Objeto:

El objeto de ésta evaluación es cualificar las técnicas y los productos para la reparación, en cuanto a los materiales que los componen o por las propiedades físicas o mecánicas que posean de acuerdo a sus especificaciones.

5.1.2 Productos para la reparación:

Con el afán de conocer las características de los productos a emplearse en la reparación, se deberá proporcionar los siguientes datos:

- a) Curvas de incremento de resistencia a la penetración del ión cloruro respecto al tiempo.
- b) Curvas de incremento de la resistencia a la tensión directa respecto al tiempo.
- c) Materiales que componen los productos propuestos.
- d) Composición Química/ pH de cada producto / contenido en Cloruros en % m/m.
- e) Compatibilidad con otros productos.
- f) Tratamiento de varios tipos de juntas y oquedades.
- g) Tiempo de trabajabilidad del producto.
- h) Tiempo y técnica de curado.
- i) Tiempo de secado.
- j) Tiempo y condiciones de almacenamiento.
- k) Curvas de incremento de resistencia a la compresión respecto al tiempo.
- l) Conforme a la norma para reparación de hormigones BS DD 1503 parte 9 y para el caso de productos cementosos deberán ser conformes a la norma ASTM C 150 (clase de cemento). Ver anexos.
- m) Certificados para uso en estructuras de contención de agua potable (Norma NSF Internacional o INEN Nacional).
- n) Procedimiento de aplicación y condiciones de aplicación.

- o) Factibilidad de reparación en esquinas y sitios estrechos y de poca curvatura
- p) Hoja técnica de cada producto.

La importancia del conocimiento de estos parámetros ayudará en varios aspectos tales como la aplicación de un determinado producto sobre otro, la programación de la obra y la frecuencia de control a emplearse.

5.1.3 Características mecánicas y químicas del recubrimiento protector para el hormigón:

El recubrimiento de protección deberá garantizar su adherencia al sub estrato, impermeabilidad, resistencia química/mecánica, al medio ambiente y al agua en tratamiento como una protección de la infraestructura existente durante un periodo no menor a 10 años.

La protección del hormigón sano existente deberá ser contra el ataque químico del agua ($\text{pH} \approx 6.0$) o más específicamente contra la acidez ($\text{pH} \approx 3.0$) de los productos químicos usados en el tratamiento de agua.

Por cuestiones de protección e inhibición de la corrosión y por razones de trabajo mecánico y estructural de las paredes, se debe colocar un espesor mínimo de recubrimiento de protección que variará según el recubrimiento e impermeabilidad del producto.

El espesor de recuperación de sección del recubrimiento deberá adaptarse según el estado de daño del hormigón encontrado y la complejidad o accesibilidad de la superficie a reparar. Se deberá considerar un espesor mínimo de recubrimiento según su opción de producto de protección del hormigón (especialmente los aceros de refuerzo) pero deberá responder a los requisitos de resistencia mecánica y química posteriormente descritos.

Nota: Se estima conveniente colocar un espesor de recubrimiento de 2.5 cm. a partir de los aceros de refuerzos que están descubiertos, por el hecho que el hormigón esta en contacto con un medio agresivo.

El recubrimiento de protección del hormigón deberá cumplir todos los requisitos generales y mecánicos siguientes,

Para las especificaciones de los productos:

- ❑ Adherencia mínima de 1.20 MPa. (según la norma del ensayo a la tracción directa, ACI 503R apéndice A) a los 28 días de curado, de la capa o sistema al estrato subyacente.
- ❑ Compresión mínima de 35.0 MPa. (según la norma del ensayo de la resistencia a la compresión, ASTM C 109) a los 28 días de curado,
- ❑ Permeabilidad menor a 1000 Coulombs (según la norma de Indicación Eléctrica de la resistencia a la penetración a los iones Cloruros en el concreto, ASTM C 1202 o AASTHO T 277) a los 90 días de curado,
- ❑ Aprobado por una norma nacional (INEN) o internacional (NSF 61) para uso en plantas de producción o contención de agua potable con fin para el consumo humano.

Especificaciones de la aplicación:

- ❑ Temperatura del ambiente: 20 - 40° C.
- ❑ Humedad del ambiente: 100%.
- ❑ Curado: No hay especificaciones de tiempo mínimo o máximo,

Los aceros de refuerzos deberán tener un potencial de corrosión, según la norma ASTM C 876-91 "Standard Test Method for Half Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete", con un valor superior > -200 mv.

Los productos y técnicas de rehabilitación del hormigón de la Planta de Agua Potable deben ser conformes a la norma BS DD ENV 1504-9 (British Standard) y mas especialmente para los productos cementosos conforme a la norma ASTM C 150. Los productos propuestos (en particular los productos cementosos) deberán contener un máximo de 0.5% de cloruros presentes por masa de producto.

Se deberá detallar claramente las especificaciones mecánicas, físicas y resistencia química de cada producto (o de la protección final) de la reparación del hormigón con su recomendación de aplicación (condiciones ambientales, curado....), según el estado del hormigón encontrado, como:

- ❑ Resistencia al agrietamiento bajo tensión (según la ASTM C 496),
- ❑ Resistencia a la flexión (según la ASTM C 348),

- ❑ Resistencia al esfuerzo cortante inclinado (según la ASTM C 882),
- ❑ Modulo de elasticidad (según la ASTM C 469), Coeficiente de expansión térmica lineal (según la ASTM C 531, en mm / mm / °C)
- ❑ Contracción por secado (según la ASTM C 157),
- ❑ Resistencia a los sulfatos, cambio de longitud, 6 meses (según la ASTM C 1012)
- ❑ Relación agua - cemento, calidad de los agregados y aditivos,
- ❑ Resistencia a la abrasión (según la norma ASTM C 418)
- ❑ El Curado de cada capa de recubrimiento (o también de cada producto) y según las condiciones ambientales.

Para los productos de tipo epóxico o plástico, se deberá tomar en cuenta en la técnica de aplicación y en la elección de ellos, el modulo de elasticidad y el coeficiente de dilatación lineal térmica que pueden generar fisuras, daños y reducción de la adherencia.

5.1.4 Prueba de los productos

Los productos estarán sometidos a pruebas, que serán tomadas de la aplicación que se realizará en un área determinada.

5.1.5 Prueba en campo

Se realizara ensayos referentes a medición de humedad, temperatura ambiental, medición del pH de la superficie preparada, etc.

El procedimiento básico deberá siempre seguir los requisitos de las diferentes publicaciones adjuntadas, sacadas de “Concrete Repair Manual” de la ACI / BRE / ICRI / Concrete Society, Volumen 1 & 2 y de “Concrete Repair and Maintenance Illustrated” de Peter H. Emmons:

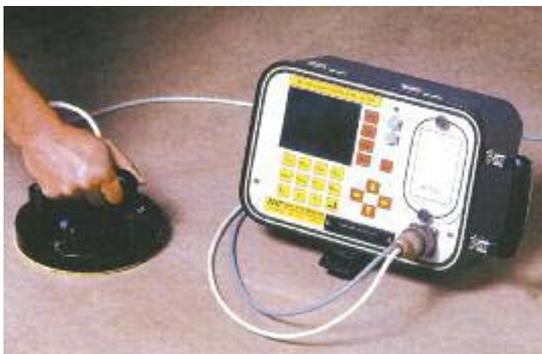
Detallamos a continuación los diferentes equipos que se utilizan para el control de calidad de la reparación.

a.- Equipos utilizados para identificación de daños

- Detección de corrosión en el hormigón: Ejemplo. El Gecor 8



Mediante la técnica de resistencia de polarización, es posible realizar una medición verdadera de la velocidad de corrosión.



Adicional detalla un trazado de mapas que permite al ingeniero clasificar rápidamente las áreas de una estructura. Es posible medir tanto el potencial de corrosión clásico como también la resistividad del hormigón. Cada parámetro individual puede trazarse en un gráfico de contorno de múltiples colores. Además, la programación incorporada analiza los datos de los tintes y entonces se pueden combinar los dos parámetros para determinar con seguridad las zonas de mayor corrosión.

- Prueba de resistencia al hormigón: Ejemplo. Esclerómetros digitales y manuales para la determinación de la resistencia en el hormigón de un modo fácil y rápido



El Esclerómetro Manual es el instrumento tradicional usado para pruebas no destructivas del hormigón endurecido.

Este sencillo instrumento hace una prueba rápida y simple para obtener una indicación inmediata de la fuerza del hormigón en varias partes de la estructura. La resistencia mínima verificable es de 1400 PSI (10 MPa).

El sistema de sondas Windsor de alto rendimiento.-



Mide la resistencia a la compresión del concreto de modo preciso y eficaz en el campo.

El sistema de sonda Windsor HP determina la resistencia a la compresión de una estructura de modo rápido y preciso por medio de introducir una sonda en el concreto con una fuerza conocida. Este sistema moderno ha sido mejorado y realizado por más de treinta años, y es capaz de medir valores de resistencia a la compresión del concreto de hasta 17.000 psi (110 MPa). Su diseño es robusto para permitir el uso en los entornos de construcción, pero también es refinado para proporcionar al usuario un sistema de uso más sencillo. Se ha añadido una unidad electrónica de medición para ayudar a obtener resultados adecuados en las pruebas, los cuales pueden registrarse para examinarlos posteriormente, o cargarse a una computadora personal.

Se ofrecen dos estilos de sonda: una para concreto liviano y de baja densidad, con agregados llenos con aire, y la otra sonda para mezclas de tipo más normal. Además, los dos niveles de potencia seleccionables facilitan la prueba del hormigón fresco, al igual que de mezclas ya fraguadas. Este sistema ha sido aprobado por varios municipios en los Estados Unidos, Asia, y Europa, y satisface la norma C-803 de la ASTM, BS 1881 y otras normas de prueba.

- Localizadores de armadura: Ejemplo. Medidor R-Meter MK II™



El medidor R-Meter MK III de James Instruments constituye el renacimiento de un localizador clásico de barras de armadura. Utiliza lo último en cuanto a tecnología de detección de corriente parásita y de microprocesadores para localizar, determinar la profundidad y calcular el diámetro con exactitud de objetos de metal en hormigón.

El sensor de corriente parásita fue diseñado específicamente para reaccionar a la superficie exterior de los objetos metálicos. Las pequeñas partículas de metal en el hormigón, ya sea fresco o endurecido, húmedo o seco, no ejercen ningún tipo de influencia sobre este equipo. El sensor de corriente parásita también permite a la unidad localizar metales tanto ferrosos como no ferrosos en el hormigón para encontrar con exactitud no sólo las barras de armadura de acero sino tendones, caños de cobre, conductos y muchos otros objetos más.

Lo más novedoso en cuanto a tecnología de microprocesadores no sólo prepara la señal del sensor para transmitir resultados más exactos y confiables sino que brinda al usuario la información que necesita. Es posible calcular el diámetro de las barras de armadura utilizando un sistema simple de comparación completamente automático para obtener resultados uniformes y repetibles de mayor resolución con respecto a modelos anteriores.

- Determinación de las características básicas de materiales: Ejemplo. El V-Meter Mark III de James.

Es el sistema más avanzado de ultrasonido para la rápida determinación de las características básicas de materiales de grano grueso.



El V-Meter Mk III es ampliamente utilizado y aceptado para control de calidad e inspección de estructuras de hormigón. Puede medir la velocidad de ultrasonido y correlacionar la resistencia del hormigón con parámetros convencionales, permitiendo la completa evaluación no destructiva de estructuras.

Permite la fácil identificación de nidos de abeja, vacíos, hormigón congelado, grietas y fisuras y otras zonas con falta de homogeneidad en el hormigón. Ensayos de ultrasonido, pueden ser aplicados a estructuras existentes como así también a estructuras nuevas, losas, vigas y pilares pueden ser ensayados, también áreas afectadas por el fuego.

b.- Equipos utilizados para el control durante la reparación.

- Medición de contenido de humedad: Trident™:

Es un Medidor de Microondas para la Determinación Rápida del Contenido de Humedad en Arena y Otros Agregados de Granos Finos y Gruesos.



El Trident™ T-T-90 utiliza la tecnología mas reciente de microondas y microprocesadores para medir el contenido de humedad en varios materiales de granos finos y gruesos. Las puntas de la sonda se insertan en el material sometido a prueba y el porcentaje de contenido de humedad se despliega instantáneamente en la pantalla de lectura fácil.

Normalmente se usa el promedio de cinco a diez mediciones para asegurar una medición valida. Esta respuesta es convertida por el microprocesador incorporado y el contenido de humedad se despliega directamente como un porcentaje del peso seco.

Higrómetro de puntas.- Se utiliza para determinar la humedad "in situ" de materiales de obra incluso madera.



Cementómetro.- Medidor de microondas para determinar con rapidez la relación agua/cemento en el hormigón fresco.



Cementometer Type R



Cementometer Type L

El cementómetro James constituye un gran avance de la tecnología moderna para medir la humedad. Puede determinar la relación de agua/cemento en hormigón y mortero frescos.

Simplemente introduzca el sensor con las sondas completamente sumergidas en el material a analizar e inmediatamente podrá ver en un visor de lectura sencilla la relación agua/cemento del hormigón fresco.

- Medición de aire en el hormigón: Ejemplo.



El contenido de aire del hormigón desempeña una importante función en factores tales como la resistencia a congelación y descongelación, la permeabilidad y la trabajabilidad del hormigón fresco. Resulta esencial analizar cada lote de hormigón a fin de asegurar uniformidad, especialmente cuando se emplean aditivos incorporadores de aire.

- Prueba para identificar la reacción de sílice de álcali (ASR) : Ejemplo.
ASR Detect™



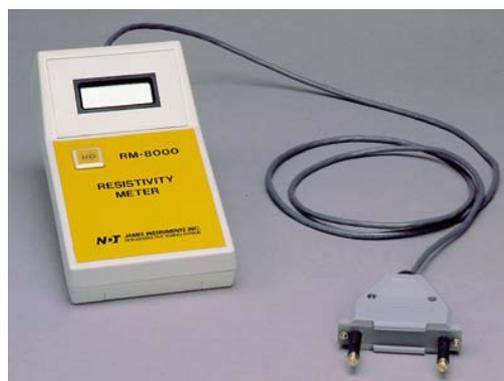
Es una Prueba en Campo para identificar la reacción de álcali de sílice (ASR) en el hormigón. Se aplican dos reactivos a la superficie rota de un trozo de hormigón, y el exceso se quita por enjuague. En hormigón contaminado, las manchas resultantes revelan la presencia de ASR. Las manchas también revelan el avance de la ASR en el hormigón y su etapa de progreso. El color amarillo indica que se ha iniciado la degradación; el color rosado indica que la degradación esta avanzado.

- Prueba para comprobar la carbonatación: Ejemplo. El Carbo Detect™ –



El reactivo único se rocía sobre la superficie sometida a prueba. El reactivo cambia a color rosado en hormigón sin carbonación y permanece incoloro cuando se rocía sobre hormigón carbonatado.

- Evaluación de la resistividad del hormigón: Ejemplo. OhmCorr™ Meter



Tiene dos sondas separadas 5 cm (1,97 pulg) entre si, las cuales se colocan en agujeros taladrados con una profundidad de 8 mm (3/8 pulg) y llenos con gel conductor. La indicación digital directa de la resistividad aparece en la pantalla LCD cuando se activa el interruptor de control.

- Prueba de cloruros: Ejemplo. C-CL-2000



Mide la cantidad de cloruro presente en hormigón seco o húmedo, produce resultados en el sitio, en cuestión de minutos, que son precisos y comparables con las costosas pruebas en laboratorio. Mide la reacción electroquímica de una muestra ponderada que se coloca en un líquido de extracción. Ofrece automáticamente una indicación con compensación de temperatura del porcentaje de cloruros en su pantalla digital. Cubre una gama amplia: de 0,002 a 2% de cloruro por peso.

- Prueba de permeabilidad del hormigón: Ejemplo. Poroscope-Plus™



El Poroscopio Pluricapaz mide el tiempo que toma el aire en fluir hacia un volumen conocido de una cámara sellada y evacuada en el hormigón. Cuando el vacío se reduce de -55 kPa a -50 kPa, se determina la medida de la permeabilidad al aire. Para medir la permeabilidad al agua, el Poroscopio Pluricapaz utiliza la misma cámara llena con agua y mide el tiempo en segundos que requiere un volumen de 0,01 ml para fugarse. La porosidad de la superficie

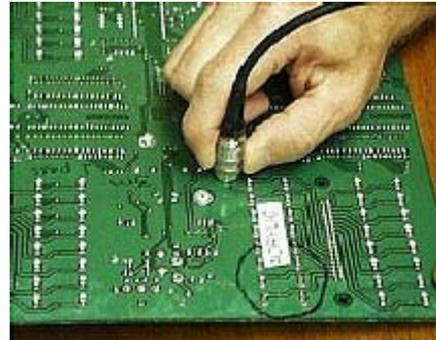
se determina de modo similar utilizando una cámara superficial de diseño especial.



- Medidor de recubrimientos: Ejemplo. Medidor de recubrimientos de capas PT-200

El medidor de recubrimientos de capas ha sido concebido para determinar el espesor de la capa en sustratos no metálicos como madera, plástico, hormigón y otras bases. Este medidor de recubrimientos de capas opera sin producir daños en el material. El aparato mide por medio de ultrasonido todo tipo de recubrimientos sobre madera y materiales de construcción como hormigón, ladrillos y enlucido además de plásticos. Además del espesor de capas se pueden determinar capas de resina de epóxico y de gel fuerte sobre GFK y otros materiales de fibra de carbono o materiales de unión.





El medidor de recubrimientos de capas tiene múltiples aplicaciones. Se puede utilizar sobre casi todo tipo de bases para medir el espesor de las capas. A continuación mostramos imágenes de su uso.

DETERMINACIÓN DEL PH DEL SUELO

Métodos colorimétricos: se utilizan en el campo y se basan en el principio de las sustancias indicadoras.

Método de Hellige-Truog: pH entre 4 y 8.5

- Se coloca una muestra de suelo en una de las copitas del soporte de plástico.
- Se adicionan gotas del reactivo triple (líquido) de manera que pueda formarse una pasta saturada con el suelo. Se revuelve la mezcla 1 ó 2 minutos y al cabo de este tiempo se deja una superficie pulida en el suelo de la copa.
- Sobre la superficie pulida se espolvorea el otro reactivo (polvo blanco) y se deja reaccionar 2 minutos; transcurrido este tiempo, se compara el color desarrollado

con la tabla de colores que trae el equipo y se determina el pH que le corresponde a ese color

DETERMINACIÓN DEL pH

TRUOG SOIL RE...
Use two or more equal parts of soil and clay; one-half of each for ground limestone.

Color	pH	Re...
8.5	8.5	Ca...
8.0	8.0	Ca...
7.0	7.0	N...
6.5	6.5	V...
6.0	6.0	S...
5.5	5.5	M...
5.0	5.0	S...
4.5	4.5	S...
4.0	4.0	Ex...

LIME CHART
ft. For heavy soils per million parts indicated

Soil Type	Tons Per Acre Ground Lime
Clays	3
Sils	3
Clays	5
Sils	4
Clays	7
Sils	5
Clays	8
Sils	6
Clays	11

CALIFICACIÓN DEL pH DEL SUELO

pH DETERMINADO EN AGUA 1:1		pH DETERMINADO EN KCl 1:1, P:V	
VALOR	CALIFICACIÓN *	VALOR	CALIFICACIÓN **
< 3.5	Ultra ácido	< 4.0	Extremadamente ácido
3.5 - 4.4	Extremadamente ácido	4.0 - 4.9	Fuertemente ácido
4.5 - 5.0	Muy fuertemente ácido	5.0 - 5.9	Moderadamente ácido
5.1 - 5.5	Fuertemente ácido	6.0 - 6.9	Ligeramente ácido
5.6 - 6.0	Moderadamente ácido	7.0	Neutro
6.1 - 6.5	Ligeramente ácido	7.1 - 8.0	Ligeramente alcalino
6.6 - 7.3	Neutro	8.1 - 9.0	Moderadamente alcalino
7.4 - 7.8	Ligeramente alcalino	9.1 - 10.0	Fuertemente alcalino
7.9 - 8.4	Moderadamente alcalino	> 10.1	Extremadamente alcalino
8.5 - 9.0	Fuertemente alcalino		
> 9.0	Muy fuertemente alcalino		

* Según Soil Survey Division Staff (SSDS, 1993). ** Según Fassbender (1982).

CAPITULO 6

ANALISIS ECONOMICO

6.1 Análisis de precios según metodología:

El objeto de este capítulo, es determinar mediante el análisis económico los diferentes tipos de metodología de reparación analizados.

Matriz de daños:

ELEMENTO	AREAS POR NIVELES DE DAÑOS				AREA GLOBAL
	NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	NIVEL IV	
FILTROS	184,43 m ²	139,16 m ²	196,33 m ²	336,94 m ²	856,85 m ²
CLARIFICADORES	1027,25 m ²	1274,70 m ²	1088,12 m ²	0,00 m ²	3390,06 m ²
CISTERNAS LATERALES	1386,30 m ²	90,31 m ²	0,00 m ²	4535,35 m ²	6011,96 m ²
CANALES DE AGUA SEDIMENTADA	373,02 m ²	683,97 m ²	0,00 m ²	27,06 m ²	1084,05 m ²
CANALETA PARSHALL	303,35 m ²	615,13 m ²	125,00 m ²	0,00 m ²	1043,47 m ²
CISTERNA CENTRAL	631,39 m ²	605,44 m ²	1226,18 m ²	0,00 m ²	2463,01 m ²
CANALES DE AGUA COAGULADA	0,00 m ²	0,00 m ²	0,00 m ²	751,33 m ²	751,33 m ²
TANQUES DE SULFATO DE ALUMINIO	0,00 m ²	315,14 m ²	0,00 m ²	0,00 m ²	315,14 m ²
TOLVAS DE PREPARACIÓN DE QUÍMICOS	0,00 m ²	403,00 m ²	0,00 m ²	0,00 m ²	403,00 m ²

- Reparación Tipo I: Presencia de nivel I y II.
- Reparación Tipo II: Presencia de nivel III.
- Reparación Tipo III: Presencia de nivel IV.

Nivel I: Los elementos en la estructura presentan fisuras que no rebasen los 0.5mm de espesor.

Nivel II: Los elementos en la estructura presentan fisuras mayores a los 0.5mm y menores a 1mm de espesor.

Nivel III: Los elementos en la estructura presentan fisuras mayores a los 1mm y corrosión en los aceros de refuerzos.

Nivel IV: Perdida total del recubrimiento del elemento de la estructura..

- Reparación Tipo I:
 - Escarificar hasta 5mm de profundidad o hasta encontrar hormigón sano.
 - Limpieza de la superficie mediante un hidrolavado.
 - Nivelación de superficie E= 5mm con material que sea de baja porosidad y baja permeabilidad.
 - Aplicación de protección epóxica.

CAPITULO 6

ANALISIS ECONOMICO

6.1 ANALISIS DE PRECIOS SEGÚN METODOLOGIA

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

FORM. # 15

HOJA.1.DE.3

NOMBRE PROPONENTE= ING. JAVIER ARCE C.

OBRA: "SISTEMAS DE PROTECCION PARA TANQUES DE ALMACENAMIENTO"

UBICACIÓN: PLANTA DE TRATAMIENTO

RUBRO: 1,00 UNIDAD: M2

DESCRIPCION: REPARACIÓN TIPO I

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Andamios	1,00	5,54	5,54	0,10	0,55
hidrolavadora (2800 psi)	1,00	3,50	3,50	0,10	0,35
Herramientas menores (5% M/O)					0,03

SUBTOTAL M = 0,93

MANO DE OBRA					
DESCRIPCION (CATEGORIAS)	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Peon - Cat. I	3,00	1,51	4,53	0,10	0,45
Albañil - Cat. III	1,00	1,51	1,51	0,10	0,15
Maestro - Cat. IV	0,10	1,51	0,15	0,10	0,02

SUBTOTAL N = 0,62

MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Inhibidor de corrosion (SIKAFERROGARD 903)	Kg	0,50	4,42	2,21	
Mortero epoxi-cemento (SIKAGUARD 720 EPOCEM)	Kg	2,00	3,85	7,70	
Pintura epoxica (SIKAGUARD 62 GRIS)	Kg	0,35	22,04	7,71	
Pintura epoxica (SIKAGUARD 62 AZUL)	Kg	0,35	24,24	8,49	

SUBTOTAL O = 26,11

TRANSPORTE				
DESCRIPCION	DISTANCIA	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
	A	B	C	D=A*B*C

SUBTOTAL P = 0,00

TOTAL COSTO DIRECTOS X=(M+N+O+P) 27,66
 INDIRECTOS Y UTILIDAD 0,00% 0,00
 OTROS INDIRECTOS %
COSTO TOTAL DEL RUBRO 27,66

- Reparación Tipo II:
 - Escarificar de 30mm a 50mm de profundidad o hasta encontrar hormigón sano.
 - Limpieza de la superficie mediante un hidrolavado.
 - Limpieza del acero de refuerzo si estuviera visto, mediante un cepillado.
 - Nivelación de superficie E= 30mm a 50mm con material que sea de baja porosidad y baja permeabilidad.
 - Aplicación de protección epóxica.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

NOMBRE PROPONENTE= ING. JAVIER ARCE C.

OBRA: *SISTEMAS DE PROTECCION PARA TANQUES DE ALMACENAMIENTO*

UBICACIÓN: PLANTA DE TRATAMIENTO

RUBRO: 2,00 UNIDAD: M2

DESCRIPCION: REPARACIÓN TIPO II

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Andamios	1,00	5,54	5,54	0,10	0,55
Cepillo electrico	1,00	1,88	1,88	0,10	0,19
hidrolavadora (2800 psi)	1,00	3,50	3,50	0,10	0,35
Sand-blastin	1,00	20,00	20,00	0,10	2,00
Herramientas menores (5% M/O)					0,03

SUBTOTAL M = 3,12

MANO DE OBRA					
DESCRIPCION (CATEGORIAS)	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Peon - Cat. I	3,00	1,51	4,53	0,10	0,45
Albañil - Cat. III	1,00	1,51	1,51	0,10	0,15
Maestro - Cat. IV	0,10	1,51	0,15	0,10	0,02

SUBTOTAL N = 0,62

MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Pintura anticorrosiva , proteccion para armadura (SIKATOP ARMATEC 108)	Kg	2,40	3,15	7,56	
Mortero de reparación (SIKAREP)	Kg	40,00	0,56	22,40	
Inhibidor de corrosion (SIKAFERROGARD 903)	Kg	0,50	4,42	2,21	
Mortero epoxi-cemento (SIKAGUARD 720 EPOCEM)	Kg	2,00	3,85	7,70	
Pintura epoxica (SIKAGUARD 62 GRIS)	Kg	0,35	22,04	7,71	
Pintura epoxica (SIKAGUARD 62 AZUL)	Kg	0,35	24,24	8,49	

SUBTOTAL O = 56,07

TRANSPORTE				
DESCRIPCION	DISTANCIA	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
	A	B	C	D=A*B*C

SUBTOTAL P = 0,00

TOTAL COSTO DIRECTOS X=(M+N+O+P) 59,81

INDIRECTOS Y UTILIDAD 0,00% 0,00

OTROS INDIRECTOS %

COSTO TOTAL DEL RUBRO 59,81

- Reparación Tipo III:
 - Limpieza de la superficie mediante un hidrolavado.
 - Limpieza del acero de refuerzo, mediante un cepillado.
 - Restitución de acero si fuera el caso con un traslape según el diámetro de la varilla.
 - Aplicación de un inhibidor de corrosión
 - Nivelación de superficie, el espesor depende de la afectación, el material a utilizar deberá ser de baja porosidad y baja permeabilidad.
 - Aplicación de protección epóxica.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

NOMBRE PROPONENTE= ING. JAVIER ARCE C.

OBRA: "SISTEMAS DE PROTECCION PARA TANQUES DE ALMACENAMIENTO"

UBICACIÓN: PLANTA DE TRATAMIENTO

RUBRO: 3,00 UNIDAD: M2

DESCRIPCION: REPARACIÓN TIPO III

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD		TARIFA		COSTO
	A	B	C=A*B	R	
Andamios	1,00	5,54	5,54	0,10	0,55
Cepillo electrico	1,00	1,88	1,88	0,10	0,19
hidrolavadora (2800 psi)	1,00	3,50	3,50	0,10	0,35
Sand-blastin	1,00	20,00	20,00	0,10	2,00
Herramientas menores (5% M/O)					0,03

SUBTOTAL M = 3,12

MANO DE OBRA					
DESCRIPCION (CATEGORIAS)	CANTIDAD		JORNAL /HR		COSTO
	A	B	C=A*B	R	
Peon - Cat. I	3,00	1,51	4,53	0,10	0,45
Albañil - Cat. III	1,00	1,51	1,51	0,10	0,15
Maestro - Cat. IV	0,10	1,51	0,15	0,10	0,02

SUBTOTAL N = 0,62

MATERIALES						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD		PRECIO UNIT.		COSTO
		A	B	C=A*B	R	
Pintura anticorrosiva , proteccion para armadura (SIKATOP ARMATEC 108)	Kg	2,40	3,15	7,56		
Cemento tipo I(50 Kg)	sc	0,29	5,86	1,70		
Piedra # 1/4	m3	0,05	7,37	0,37		
Arena gruesa rio	m3	0,03	6,30	0,19		
Agua(100 m3)	m3	0,06	1,08	0,06		
Inhibidor de corrosion (SIKAFERROGARD 903)	Kg	0,50	4,42	2,21		
Mortero epoxi-cemento (SIKAGUARD 720 EPOCEM)	Kg	2,00	3,85	7,70		
Pintura epoxica (SIKAGUARD 62 GRIS)	Kg	0,35	22,04	7,71		
Pintura epoxica (SIKAGUARD 62 AZUL)	Kg	0,35	24,24	8,49		

SUBTOTAL O = 35,99

TRANSPORTE				
DESCRIPCION	DISTANCIA	CANTIDAD	TARIFA	COSTO

SUBTOTAL P = 0,00

TOTAL COSTO DIRECTOS X=(M+N+O+P)	39,73
INDIRECTOS Y UTILIDAD	0,00%
OTROS INDIRECTOS	%
COSTO TOTAL DEL RUBRO	39,73

Resultado:

- **ANALISIS DE PRECIOS SEGÚN METODOLOGIA**



De acuerdo a los precios unitarios analizados podemos determinar lo siguiente:

ANALISIS POR TIPO	COSTO UNITARIO \$
TIPO I	\$ 27.66
TIPO II	\$ 59.81
TIPO III	\$ 39.73

CAPITULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES:

- Los daños constructivos de las diferentes estructuras de la Planta de Tratamiento de Agua Potable “La Toma”, dificulta el buen desempeño de la misma y minimiza la productividad del volumen de agua tratado hacia las zonas necesitadas.
- En la protección del hormigón frente a los agentes físicos y químicos agresivos, las medidas preventivas suelen ser las más eficaces y menos costosas. Por ello, la durabilidad es una cualidad que debe tenerse en cuenta durante la realización del proyecto, estudiando la naturaleza e intensidad potencial previsible del medio agresivo y eligiendo los materiales, dosificaciones y procedimientos de puesta en obra más adecuados en cada caso.

7.2 RECOMENDACIONES:

- Realizar trabajos de mantenimiento y reparación a las estructuras de la planta de Tratamiento de Agua Potable “La Toma”,
- Ejecutar un análisis minucioso y detallado para el diseño y construcción de cualquier estructura, tomando en cuenta los agentes agresores tratados en este documento.
- Se deben definir las instrucciones para los futuros trabajos de mantenimiento e inspección necesarios durante la vida en servicio de la estructura.
- Tener los registros completos de todos los materiales utilizados, para posibles trabajos de reparación o mantenimiento de obra.
- Realizar un análisis previo la construcción de una obra del suelo en que va hacer cimentado, mediante ensayos simples y rápidos en campo, esto brindara una evaluación preliminar del carácter de un suelo dispersivo o no dispersivo. Sin embargo, se debe reconocer que la confiabilidad de

estos ensayos es limitada y los ensayos de laboratorio son los que determinan con exactitud el tipo de suelo.

IBLIOGRAFIA

- Mailvaganam “Repair and protection of concrete structures”
- Reglamento ACI-318
- Revista Técnica SIKA ,protección de cloruros
- Norma ASTM C150 (Clase de cemento)
- Norma ASTM C1202 (Indicación eléctrica de la resistencia a la penetración a los iones cloruros en el concreto)
- “Concrete Repair Manual” de la ACI / BRE / ICRI / Concrete Society, Volumen 1 & 2 y de “Concrete Repair and Maintenance Illustrated” , Peter H. Emmons
- International scientific Comitee Tex Analysis and Restoration of Structures of Architectual Heritage.
- www.vector-corrosion.com., Consulta realizada el 13-08-2012, Protección contra la corrosión, VECTOR CORROSION TECHNOLOGIES.
- www.labcyp.com/admin/05.pdf., Consulta realizada el 03-05-2012, Métodos de protección contra la corrosión, Laboratorio de protección corrosión, Universidad de Cádiz.
- www.grupouvi.com/hormigon.html ,Consulta realizada el 10-09-2012, Protección al hormigón, Grupo pintura UVI.
- www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/publicom/ACI_201_2R_01.pdf, Consulta realizada el 20-09-2012, Durabilidad del hormigón, ACI 201.2R-01
- http://www.construmatica.com/construpedia/Durabilidad_de_Estructuras_de_Hormig%C3%B3n_Armado, Consulta realizada el 25-10-2012, Durabilidad de estructuras de hormigón armado, CONSTRUMATICA.
- <http://prt2.uprm.edu/Presentations/Durabilidad%20de%20Estructuras%20de%20%20Hormigon%20Armado%20en%20Ambientes%20Marinos%20y%20el%20Calculo%20de%20la%20Vida%20Util%20en%20Obras%20Publicas.pdf>, Consulta realizada el 25-10-2012, Durabilidad de estructuras de hormigón en ambiente marino, Prof. Amparo Moragues Terrades E. T. S. I. de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid.
- <http://www3.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/submarinoT8.htm>, Consulta realizada el 26-10-2012, Tecnología del hormigón
- <http://www.saint-gobain-analizacao.com.br/manual/agua.asp?lng=esp>, Consulta realizada el 27-10-2012, Aguas agresivas. SAINT-GOBAIN
- materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/.../1211, Consulta realizada el 26-10-2012, Obtención del hormigón apropiado a terrenos y/o aguas agresivas diversas mediante la norma TGL 11357
- http://www.construmatica.com/construpedia/Suelos_Agresivos, Consulta realizada el 29-10-2012, Suelos agresivos. CONSTRUMATICA

- http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/079/htm/sec_10.htm, Consulta realizada el 29-10-2012, Suelos agresivos. Biblioteca digital.
- <http://www.aymsoluciones.com/imagesnew2/0/0/0/1/8/8/9/3/6/morteros%20de%20reparacion%20de%20concreto.pdf>, Consulta realizada el 29-10-2012, Morteros de reparaciones. MAPEI
- <http://www.revistaconstruir.com/obra-gris/aditivos/106-reparaciones-e-impermeabilizaciones-en-el-concreto>, Consulta realizada el 06-11-2012, Reparaciones e impermeabilización del concreto. Revista construir América central el Caribe.
- <http://www.centroamerica.basf-cc.com/es/productos/Reparacion/Pages/default.aspx>, Consulta realizada el 09-11-2012, Sistemas de reparación del concreto, BASF CHEMICAL COMPANY.
- <http://www.eucomex.com.mx/pdf1/Reparacion.pdf>, Consulta realizada el 11-11-2012, Productos para reparación de concreto y mampostería, EUCLID CHEMICAL COMPANY.
- <http://revitalizatemexico.wordpress.com/2011/12/12/preparacion-y-reparacion-de-estructuras-de-concreto/>, Consulta realizada el 10-11-2012, Preparación y reparación de estructuras de concreto, Revitalízate. Grupo empresarial.
- <http://www.arqhys.com/construccion/concreto-ensayos.html>, Consulta realizada el 11-11-2012, Ensayos del concreto, Arquitectura y construcción.
- http://ecu.sika.com/es/solutions_products/02/02a002/02a002sa03.html, Consulta realizada el 11-11-2012, Materiales para protección del hormigón, SIKA.
- <http://www.slideshare.net/ipcsl/presentacin-12221706>, Consulta realizada el 11-11-2012, Cátedra-empresa de protección del hormigón
- <http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt290.pdf>, Consulta realizada el 11-11-2012, Protección catódica usando ánodos de sacrificio, Secretaría de Transporte México.
- <http://renofors.com/es/savoir-faire/en-el-hormigon>, Consulta realizada el 11-11-2012, Refuerzo al hormigón. RENOFORS
- www.intromac.com/modulos/mod.../pub/descargar.php?...pdf. Consulta realizada el 11-11-2012, Ataque de sulfatos al hormigón, Congreso Ibérico sobre hormigón.
- materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/.../399. Consulta realizada el 11-11-2012, Diseño de hormigón durable, Masterconstrucc
- <http://www.websecuador.net/aplikaadmin/index.php/servicios-2/reparacion-de-plantas-de-tratamiento-de-agua-potable>, Consulta realizada el 11-11-2012, Reparación de planta de agua potable, APLIKA

ANEXOS

TABLA 1

Parametro de Dosificación	Tipo de Hormigón	CLASE DE EXPOSICION												
		I	Ila	Ilb	IIla	IIlb	IIlc	IV	Qa	Qb	Qc	H	F	E
Máxima relación a/c	Masa	0,65	-	-	-	-	-	-	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,50
	Armado	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,50	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,50
	Pretensado	0,60	0,60	0,55	0,50	0,45	0,45	0,45	0,50	0,45	0,45	0,55	0,50	0,50
Mínimo contenido de cemento (Kg/m ³)	Masa	200	-	-	-	-	-	-	275	300	325	275	300	275
	Armado	250	275	300	300	325	350	325	325	350	350	300	325	300
	Pretensado	275	300	300	300	325	350	325	325	350	350	300	325	300

* Parámetros de dosificación en relación agua/cemento de acuerdo a la clase de exposición.

TABLA 2

CLASE GENERAL DE EXPOSICION				DESCRIPCION	EJEMPLOS
Clase	Subclase	Designación	Tipo de Proceso		
No agresiva		I	Ninguno	<ul style="list-style-type: none"> - Interiores de edificios no sometidos a condensaciones. - Elementos de hormigón en masa. 	- Interiores de edificios protegidos de la intemperie.
NORMAL	Humedad alta	II a	Corrosión de origen diferente de los cloruros	<ul style="list-style-type: none"> - Interiores sometidos a humedades relativas medias altas (>65%) o a condensaciones. - Exteriores en ausencia de cloruros y expuestos a lluvia en zonas con precipitación media anual superior a 600 mm. - Elementos enterrados o sumergidos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sótanos no ventilados. - Cimentaciones. - Tableros y pilas de puentes en zonas con precipitación media anual superior a 600 mm. - Elementos de hormigón en cubiertas de edificios.
	Humedad media	II b	Corrosión de origen diferente de los cloruros	<ul style="list-style-type: none"> - Exteriores en ausencia de cloruros, sometidos a la acción del agua de lluvia, en zonas con precipitación media anual inferior a 600 mm. 	<ul style="list-style-type: none"> - Construcciones exteriores protegidas de la lluvia. - Tableros y pilas de puentes en zonas de precipitación media anual inferior a 600 mm.
MARINA	Aérea	III a	Corrosión por cloruros	<ul style="list-style-type: none"> - Elementos de estructuras marinas, por encima del nivel de pleamar. - Elementos exteriores de estructuras situadas en las proximidades de la línea costera (a menos de 5 Km). 	<ul style="list-style-type: none"> - Edificaciones en proximidad de la costa. - Puentes en proximidad de la costa. - Zonas aéreas de diques, pantalanés y otras obras de defensa litoral. - Instalaciones portuarias.
	Sumergida	III b	Corrosión por cloruros	<ul style="list-style-type: none"> - Elementos de estructuras marinas, sumergidas permanentemente, por debajo del nivel mínimo de bajamar. 	<ul style="list-style-type: none"> - Zonas sumergidas de diques, pantalanés y otras obras de defensa litoral. - Cimentaciones y zonas sumergidas de pilas de puentes en el mar.
	En zona de mareas	III c	Corrosión por cloruros	<ul style="list-style-type: none"> - Elementos de estructuras marinas, situadas en la zona de carrera de mareas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Zonas situadas en el recorrido de marea de diques, pantalanés y obras de defensa litoral. - Zonas de pilas de puentes sobre el mar, en recorrido de marea.
Con cloruros de origen diferente del medio marino.		IV	Corrosión por cloruros	<ul style="list-style-type: none"> - Instalaciones no impermeabilizadas en contacto con agua que presente un contenido elevado de cloruros; no relacionados con el ambiente marino. - Superficies expuestas a sales de deshielo no impermeabilizadas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Piscinas. - Pilas de pasos superiores o pasarelas en zonas de nieve. - Estaciones de tratamiento de agua.

- El tipo de ambiente viene definido por la combinación de una de las clases de exposición frente a la corrosión de las armaduras.
- **TABLA 3**

CLASE ESPECIFICA DE EXPOSICION				DESCRIPCION	EJEMPLOS
Clase	Subclase	Designación	Tipo de Proceso		
QUIMICA AGRESIVA	Débil	Qa	Ataque químico	- Elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar alteración del hormigón con velocidad lenta (T4).	- Instalaciones industriales con sustancias débilmente agresivas (tabla 4). - Construcciones próximas a áreas industriales. Agresividad débil (tabla 4).
	Media	Qb	Ataque químico	- Elementos en contacto con agua de mar. - Elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar alteración del hormigón con velocidad media (ver tabla 4).	- Dolos, bloques y elementos para diques. - Estructuras marinas en general. - Instalaciones industriales de agresividad media, según tabla 4. - Construcciones próximas a áreas industriales, con agresividad media, según tabla 4. - Instalaciones de conducción y tratamiento de aguas residuales con sustancias de agresividad media según tabla 4.
	Fuerte	Qc	Ataque químico	- Elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar alteración del hormigón con velocidad rápida (ver tabla 4).	- Instalaciones industriales, con sustancias de agresividad alta de acuerdo con la tabla 4. - Instalaciones de conducción y tratamiento de aguas residuales, con sustancias de agresividad alta (tabla 4).
CON HELADAS	Sin sales fundentes	H	Ataque hielo-deshielo	- Elementos situados en contacto frecuente con agua, o zonas de humedad relativa media ambiental en invierno, superior al 75%, y que tengan una probabilidad anual superior al 50% de alcanzar, al menos una vez, temperaturas por debajo de -5°C.	- Construcciones en zonas de alta montaña. - Estaciones invernales.
	Con sales fundentes	F	Ataque por sales fundentes	- Elementos destinados al tráfico de vehículos o peatones en zonas con más de 5 nevadas anuales o con valor medio de temperatura mínima en los meses invierno inferior a 0°C.	- Tableros de puentes o pasarelas en zonas de alta montaña.
EROSION		E	Abrasión cavitación	- Elementos sometidos a desgaste superficial. - Elementos de estructuras hidráulicas en las que la cota piezométrica pueda descender por debajo de la presión del vapor del agua.	- Pilas de puentes en cauces muy torrenciales. - Elementos de diques, pantalanés y obras de defensa litoral sometidos a fuertes oleajes. - Pavimentos de hormigón. - Tuberías de alta presión.

- Las clases específicas de exposición relativas a los otros procesos de degradación para cada caso de entre las definidas en las Tablas 3 y 4.

TABLA 4

TIPO DE MEDIO AGRESIVO	PARAMETROS	TIPO DE EXPOSICION		
		Qa	Qb	Qc
		ATAQUE DEBIL	ATAQUE MEDIO	ATAQUE FUERTE
AGUA	Valor del pH	6,5 - 5,5	5,5 - 4,5	< 4,5
	CO2 Agresivo (mg CO ₂ /l)	15 - 40	40 - 100	> 100
	ION Agresivo (mg NH ₄ ⁺ /l)	15 - 30	30 - 60	> 60
	ION Magnesio (mg Mg ²⁺ /l)	300 - 1000	1000 - 3000	> 3000
	ION Sulfato (mg SO ₄ ²⁻ /l)	200 - 600	600 - 3000	> 3000
	RESIDUO Seco (mg /l)	75 - 150	50 - 75	< 50
SUELO	Grado de acidez Baumann-Gully	> 20	(*)	(*)
	ION Sulfato (mg SO ₄ ²⁻ /Kg suelo seco)	2000 - 3000	3000 - 12000	> 12000



**ENSAYO DE AGRESIVIDAD DE UNA MUESTRA
DE SUELO, Anejo V-EHE.**

ENYPSA
ENSAYOS Y DEBATES

C/ Veracruz 35, Málaga. Tfno: 952 34 34 62, Fax: 952 33 42 48

Peticionario :	JUNTA DE ANDALUCIA. Consej. Cultura, Dcción. Gral. del Libro y Patrimonio Biblioc		
Domicilio :	C/ Levías, nº 17 SEVILLA		
Procedencia muestra :	EG. Edificio para Centro Andaluz de las Letras, C/ Alamos, nº 24, Málaga.		
S/ref.:	SRV-1, prof. 10.80 - 11.20 m.		
Trabajo :	6844/1/14	Muestra nº	706

Resultados obtenidos		Clasificación
Contenido en sulfatos (mg)	1803.8	No agresiva
Acidez Baumann-Gully	8	No agresiva

Clasificación de la agresividad química			
PARÁMETROS	TIPO DE EXPOSICIÓN		
	Qa	Qb	Qc
	ATAQUE DEBIL	ATAQUE MEDIO	ATAQUE FUERTE
IÓN SULFATO (mg SO ₄ ²⁻ /Kg. de suelo seco)	2000 - 3000	3000 - 12000	> 12000
GRADO DE ACIDEZ BAUMANN-GULLY	>20	(*)	(*)

(*) Estas condiciones no se dan en la práctica.

Observaciones:

115-EG-06

- Este Informe consta de una sola página
- Este Informe no puede ser reproducido parcialmente sin autorización por escrito de ENYPSA.
- Los resultados indicados en este informe de ensayo sólo afectan a la muestra ensayada.

EL DIRECTOR TÉCNICO

Fdo. Luis M. Rosa López

Málaga, a 27 de Abril de 2006

LA RESPONSABLE DE ENSAYOS QUÍMICOS

Fdo.: Encarnación Martín Romero
Licenciada en Ciencias Químicas

Laboratorio inscrito en el Registro de Entidades Acreditadas con el nº LE020-MA04, acreditación de orden del 29-12-04.



**ENSAYO DE AGRESIVIDAD DE UNA MUESTRA
DE AGUA, Anejo V-EHE.**

ENYPSA
ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO

C/ Veracruz 35, Málaga. Tfno: 952 34 34 62, Fax: 952 33 42 48

Peticionario :	JUNTA DE ANDALUCÍA. Consej. Cultura. Dcción. Gral. del Libro y Patrimonio Bibliográfico		
Domicilio :	C/ Levies, nº 17 SEVILLA		
Procedencia muestra :	EG. Edificio para Centro Andaluz de las Letras, C/ Alamos, nº 24, Málaga.		
S/ref.:	SRV-1, prof. 1.90 m.		
Trabajo :	6844/1/23	Muestra nº	705

	Resultados obtenidos	Clasificación
Valor del pH	7.22	No agresiva
Dióxido de carbono libre (CO ₂)	12.30 mg/l.	No agresiva
Amonio (NH ₄ ⁺)	1.20 mg/l.	No agresiva
Magnesio (Mg ²⁺)	176.10 mg/l.	No agresiva
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	1565.00 mg/l.	ATAQUE MEDIO
Residuo seco	3360.0 mg/l.	No agresiva

Clasificación de la agresividad química			
PARÁMETROS	TIPO DE EXPOSICIÓN		
	Qa ATAQUE DEBIL	Qb ATAQUE MEDIO	Qc ATAQUE FUERTE
Valor del pH	6.5 - 5.5	5.5 - 4.5	< 4.5
CO ₂ agresivo (mg. CO ₂ /l)	15 - 40	40 - 100	>100
Ión amonio (mg. NH ₄ ⁺ /l)	15 - 30	30 - 60	>60
Ión magnesio (mg. Mg ²⁺ /l)	300 - 1000	1000 - 3000	>3000
Ión sulfatos (mg. SO ₄ ²⁻ /l)	200 - 600	600 - 3000	>3000
Residuoseco(mg./l)	75 - 150	50 - 75	< 50

Observaciones: 115-EG-06

- Este Informe consta de una sola página
- Este Informe no puede ser reproducido parcialmente sin autorización por escrito de ENYPSA.
- Los resultados indicados en este informe de ensayo sólo afectan a la muestra ensayada.

EL DIRECTOR TÉCNICO

Fdo. Luis M. Rosa López

Málaga, a 27 de Abril de 2006
LA RESPONSABLE DEL AREA DE VIALES

Fdo.: Encarnación Martín Romero
Licenciada en Ciencias Químicas

Laboratorio inscrito en el Registro de Entidades Acreditadas con el nº LE020-MA04, acreditación de orden del 29-12-04.

Reinforcing Steel Protection

Reinforcing steel is naturally protected from corrosion when surrounded by an alkaline environment of newly cast, good quality concrete. In certain repair situations, additional protection for the encased reinforcement is prudent. Protection systems fall into four (4) categories:

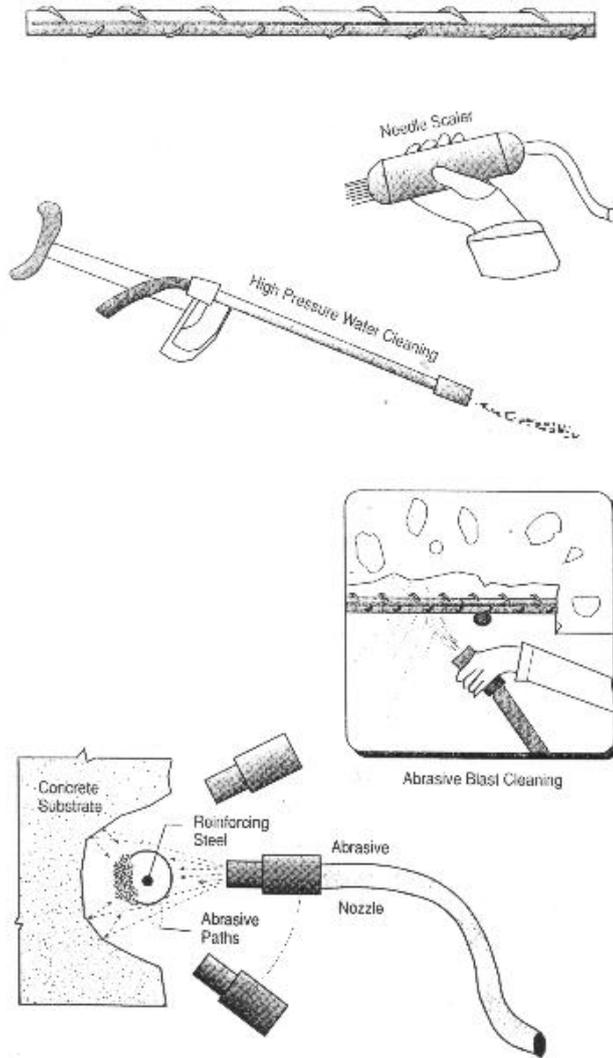
1. Encapsulation: Insulating the bar from electrical currents in the surrounding concrete can be accomplished by encapsulating the bar with epoxy. When new bars are used, fusion-bonded epoxy provides the best protection. Bars are shot-blasted and heated, and powdered epoxy is sprayed onto them under a controlled environment. In field applications where encapsulation of existing bars is necessary, epoxy resin is sprayed or, more commonly, brushed onto the bars. With field application of epoxy it is very difficult to achieve 100% coverage of the exposed bars. Intersections and back sides of bars create almost impossible access. Encapsulation works well when all bars in the affected member are protected; however, when bars are partially coated, either within the repair zone or adjacent to the repair, electrical currents can become concentrated in the unprotected bars, and accelerated corrosion may be a problem.
2. Cathodic Protection/Sacrificial Anode: Protecting bars from corrosion can be accomplished by coating them with a sacrificial metal. Zinc is the metal commonly used for this purpose. Zinc is applied to the bar with a brush. Recently, molten zinc has been used (California DOT) as a sacrificial surface-applied coating. This method is used after all surfaces are repaired. The surface-applied zinc is electrically connected to the reinforcing steel cage. Since this method is sacrificial, the service

life is dependent upon the degree of exposure to a corrosive environment and anode activity. This method of protection is used only on an experimental basis.

3. Cathodic Protection/Impressed Current: Protecting bars from corrosion can be accomplished by reversing the electrical current flow which causes the corrosion process. Anodes are installed on or near the concrete surface and are electrically connected to the reinforcing bars. Electrical current is pumped into the circuit, protecting the bars. Impressed current must be balanced with the environment on a continual basis in order to provide protection. Constant monitoring and necessary adjustments are required.
4. Alkaline Slurry Coating: Like uncarbonated concrete, alkaline slurry coating protects the reinforcing steel from corrosion. Some systems utilize non-passivating epoxies as a binder for the passivating (alkaline) fillers. Some questions exist concerning whether the epoxy insulates the alkaline fillers from direct contact with the rebars and whether the epoxy provides any benefits other than electrically insulating the bar.

There are many unanswered questions regarding reinforcement protective systems and their effect on surrounding reinforcement. By protecting reinforcing steel in a repaired area we have created an island of new material. In doing so, potentially more corrosion could occur than would have originally. Only independent research, testing and monitoring will answer these questions.

Reinforcing Steel Cleaning



Adapted from IACRS—*Surface Preparation Guideline* 3731, October 15, 1989.

Peter H. Eason/Concrete Repair and Maintenance
© B. S. Moore Company, Stuttgart, MS

General Procedure

All heavy rust and scale should be removed from the rebar to promote maximum bond with repair materials. A tightly bonded light oxide build-up may develop after cleaning. This is usually not detrimental to bond. If a protective coating is being applied to the rebar, the manufacturer's recommendations for surface preparation should be followed.

Needle Scalers

Needle scalers are pneumatic tools utilizing a group of small diameter steel rods powered by an internal piston. The steel rods hit the intended surface, causing removal of surface materials. Needle scalers are effective tools for removal of heavy oxide layers, as well as for surface cleaning of small areas of concrete.

High Pressure Water Cleaning

High pressure water (3,000 to 10,000 psi (20.7 to 69 MPa)) cleans concrete and steel surfaces, removing unsound materials. Water mixed with sand cleans faster and results in a roughened surface which will promote a better bond with coatings or with repair materials.

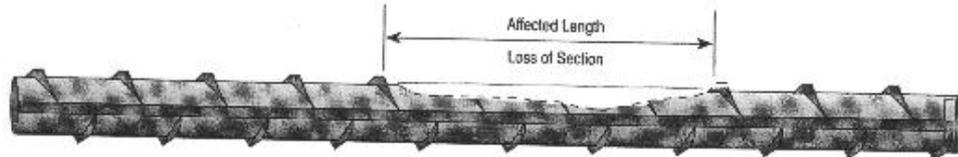
Abrasive Blast Cleaning

Abrasives mixed with pressurized air and projected through a nozzle are the best method of providing steel or concrete surfaces with a clean profiled surface. Airborne debris (dust) is an environmental concern when using this method. Water can be injected at the nozzle to reduce dust in this process.

Power Wire Brushing

A power wire brush is an effective tool for removing unwanted oxide from steel surfaces. Wire brushing is a very slow and ineffective operation when rebar has to be cleaned on the back side.

Reinforcing Steel Repair (from Section Loss)

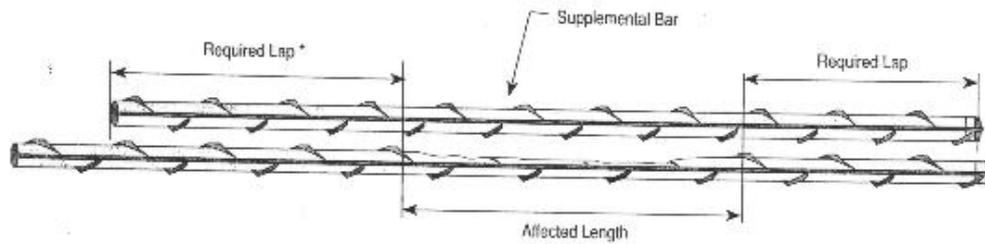


If the reinforcing steel has lost more than 25% of its cross section (or 20% if two or more adjacent bars are affected), then reinforcing steel repair is generally required.

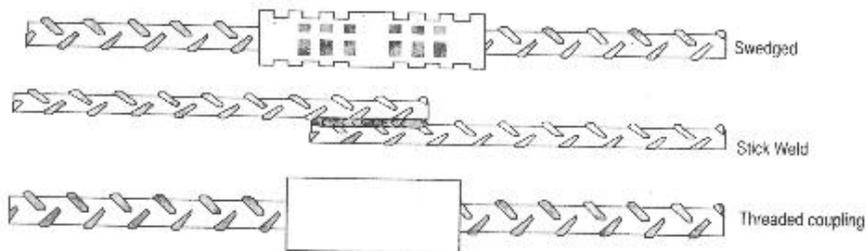
Note: When damage to reinforcing steel is uncovered, it is good practice to perform a structural review of situation.

If repairs are required for the reinforcing steel, one of the following methods should be used:

1. Supplemental bar over affected length. New bar may be mechanically spliced to affected bar or placed parallel to existing bar.
2. Complete bar replacement.



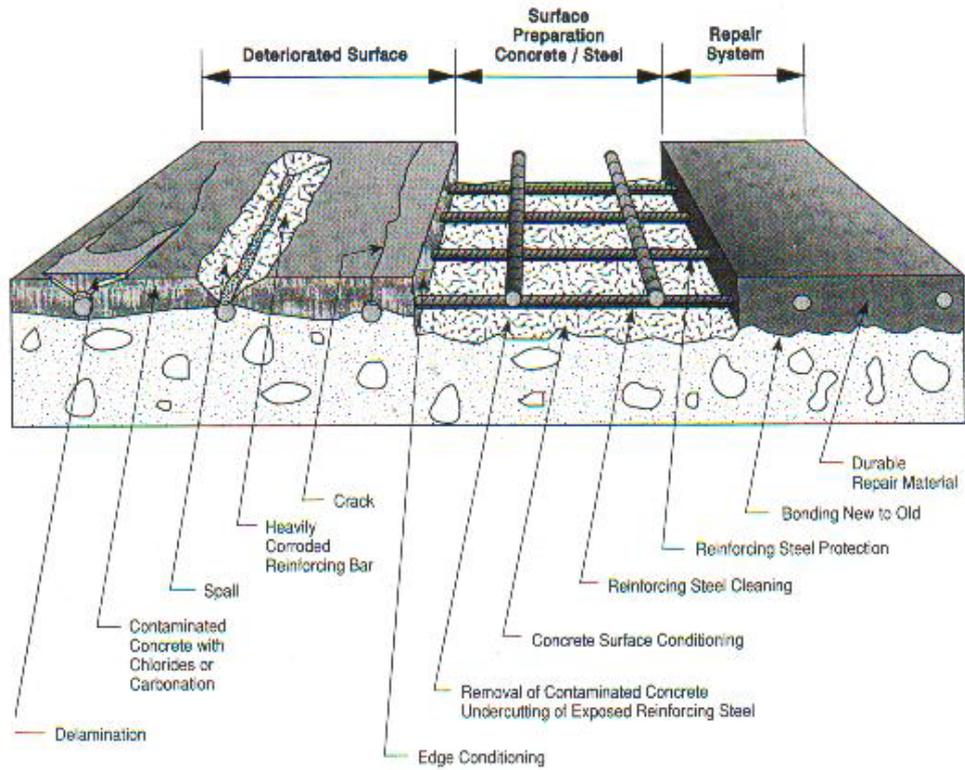
Typical Splice Methods



* Lap length shall be determined in accordance with ACI 318; also refer to AASHTO and CRSI Manuals.

Adapted from IACRS—*Surface Preparation Guideline* 3730, 31, 32, 34 dated 10/15/89.

Anatomy of Surface Repairs



Reinforcing Steel Protection

