

TC-12

IMPACTO DE LA CALIDAD DEL PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL FUNCIONAMIENTO DE UNA OBRA PARA EL ALMACENAMIENTO DE AGUA

Bolognini, Humberto / Dikdan, María / Yopez, José
Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado", Barquisimeto, Venezuela.
Hbolognini@gmail.com

INTRODUCCIÓN

La obra denominada "Estanque de Concreto Armado para Abastecimiento de Agua Potable", forma parte de una de las obras que conforman el sistema de abastecimiento de agua de cierta localidad en Venezuela. Dadas las características del estanque y la respuesta en el funcionamiento del mismo desde su construcción, se considero pertinente la evaluación de este a fin de mantenerlo como parte del sistema de abastecimiento de agua, las condiciones e importancia de la obra ameritan su adecuado funcionamiento, es por ello que se establecieron los siguientes objetivos:

Objetivo General:

Evaluar la posibilidad y conveniencia de la rehabilitación estructural del estanque de concreto armado para almacenamiento de agua.

DIAGNOSTICO

Para alcanzar los objetivos propuestos se desarrolló la metodología propia de un estudio diagnóstico que requirió la ejecución de las siguientes actividades:

Recopilación de Información General de la Estructura:

Caracterización del Estanque:

Los datos que se mencionan a continuación sobre el histórico y características técnicas del estanque, corresponden a la información suministrada por personas interesadas en la

reparación del tanque, la fecha de construcción data del año 1999 y la puesta en funcionamiento no fue posible ya que se intento llenarlo una vez concluida la construcción, detectándose filtraciones inmediatamente, en tal sentido se dejo sin uso hasta hace aproximadamente 18 meses cuando se decidió llenarlo hasta la mitad de su altura.

Se trata de un Estanque de Concreto Armado cuyas dimensiones externas (desde superficie de piso hasta lado superior de la losa de techo), son: Largo: 20,3 mts, Ancho: 8,15 mts, Alto: 3,8 mts. Las características teóricas del proyecto son: espesor de paredes: 25 cms, espesor de losa de piso: 20 cms, espesor de losa de techo: 10 cms, concreto con resistencia a la compresión de Rcc: 210 Kg/cm², armado con cabilla $\varnothing=1/2''$, con separación de 15 cms en ambos sentidos, con doble malla. Se desconoce la empresa que lo construyo, quien lo calculo y quien lo inspeccionó ya que no se encontraron cálculos, planos, ni informes de inspección del proceso constructivo

Caracterización del Medio:

Según los registros de la estación El Tigre-CIA-Guanipa, la humedad relativa media para el periodo 1988/1992 es del 78% con humedades relativas máximas del 92% y mínima del 52%.

Levantamiento de Daños y Registro Gráfico de las Fallas:

Se realizo un levantamiento de los síntomas patológicos los cuales se registran en esquemas y se ilustran con fotografías, a fin de dejar evidencia de los mismos y del grado de deterioro, para el momento de la inspección, los síntomas observados son: humedad en los muros, eflorescencia, formación de moho y hongos, agrietamiento en muros y losa de techo.

Elaboración del Plan de Muestreo.

En el caso del estanque se clasificaron los elementos componentes de la estructura como: Muro A, Muro B, Muro 1, Muro 2 y Losa Techo y se establecieron los criterios para la realización de los ensayos.

Selección de las Técnicas de Ensayo, Medición y Análisis:

Dadas las características de la obra, la información existente sobre su histórico constructivo, la condición medioambiental y la tipología de la sintomatología de fallas, se seleccionaron los siguientes ensayos:

Ensayos No Destructivos

Pachometría: para ubicar el acero de refuerzo y comparar con la separación teórica de diseño.

Ultrasonido: Este es un ensayo predominantemente cualitativo que sirve para determinar características de calidad del concreto, en virtud de haber identificado una posible junta constructiva a una distancia de aprox. 1.9 mts del piso a todo lo largo del estanque, se consideró pertinente realizar el ultrasonido en los concretos vaciados a distintos tiempos.

Ensayos Químicos (Determinación de Cloruros y Sulfatos): para determinar presencia de elementos desencadenantes de corrosión

Ensayos Electroquímicos (Potencial Eléctrico, Velocidad de Corrosión y Resistividad Eléctrica): para determinar el comportamiento electroquímico del concreto y predecir el comportamiento de este en el tiempo.

Ensayos Destructivos

Pruebas Físicas: para determinar grado de alcalinidad del concreto y medir profundidad de carbonatación del concreto.

Extracción de Núcleos de Concreto (Core Drill): Consiste en extraer núcleos de concreto, que atraviesan completamente los elementos estructurales estudiados, para determinar resistencia a compresión, características visuales del concreto y espesores reales de los elementos, entre otros.

Selección de Zonas para Elaboración de Ensayos, Mediciones:

Se estudiaron los elementos: Losa de Techo, Muro A, Muro B y Muro 2, por considerar que estos brindarían información suficientes para el diagnóstico y la propuesta de rehabilitación.

RESULTADOS DEL TRABAJO

Descripción de los Síntomas Existentes:

A continuación se describe la sintomatología de fallas existentes, para ello se ha clasificado la estructura por elementos de tal manera de facilitar y organizar la descripción.

Los elementos componentes del estanque se identificaron de la siguiente manera

- Losa de Techo: ubicada en la parte superior del estanque
- Muro A: ubicado al Sur
- Muro B ubicado al Norte
- Muro 1: ubicado al Este
- Muro 2: ubicado al Oeste
- Caseta o cuarto de máquinas: adyacente al Muro 1.

En la inspección visual realizada a la losa de techo se observa la siguiente sintomatología de fallas: flexión de la losa (Pandeo) en el sentido longitudinal, formación de Moho en el área central de la misma, fisuras de retracción en el concreto del sobrepiso, fisuras longitudinales ubicadas en los bordes de la losa, tanto longitudinal como transversalmente.

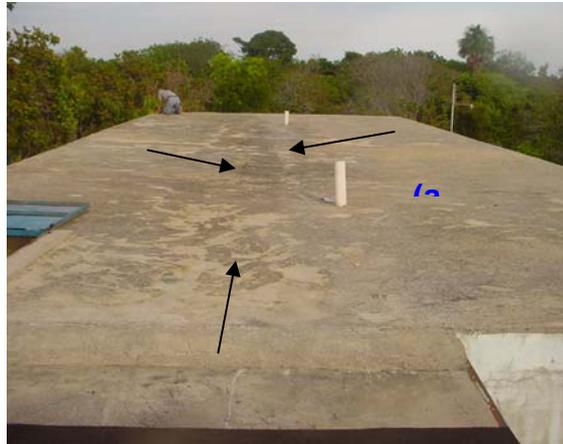


Foto N° 1: Marcas de humedad por empozamiento de las aguas de lluvia (a).



Foto N° 2: Pandeo de la losa de Techo

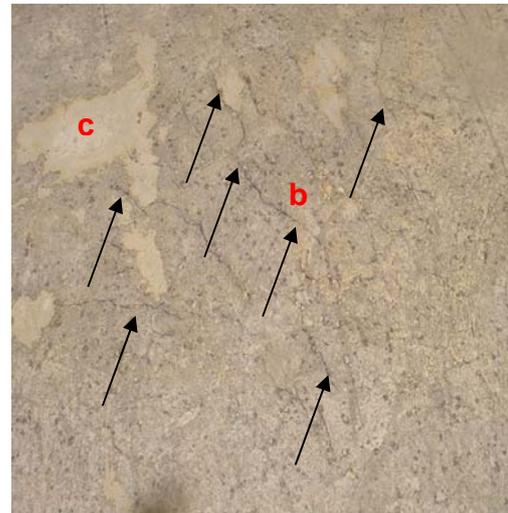
TABLA N° 1: Flecha medida en la losa de techo.

Distancia longitudinal desde el Muro 1	Flecha medida en cms
6 mts	9.2
11 mts	8.2
14 mts	7.6
17 mts	4.1

Fecha de Medición: 03/02/2005

Fotos N° 3 y 4: Agrietamiento longitudinal ubicado en los extremos de la losa a

una separación aprox. de 3 cms. de la cara exterior de la misma (a) y agrietamiento generalizado en el sobrepiso, con espesores que varían entre 0.03 mm y 0.9 mm (b), además de observa desprendimiento de la capa superficial del acabado (c).



Fotos N° 5y 6 : La vista interna al tanque de este muro, nos muestra irregularidades en el friso interior (a), manchas de moho (b) y formación de eflorescencia (c), por otra parte se observa falta de tratamiento en la junta losa de techo – muro, en todo el perímetro del mismo (d), dejando al descubierto al acero de refuerzo. En la carta externa muestra fisuras, manchas de humedad y la parte inferior del muro sin frisar

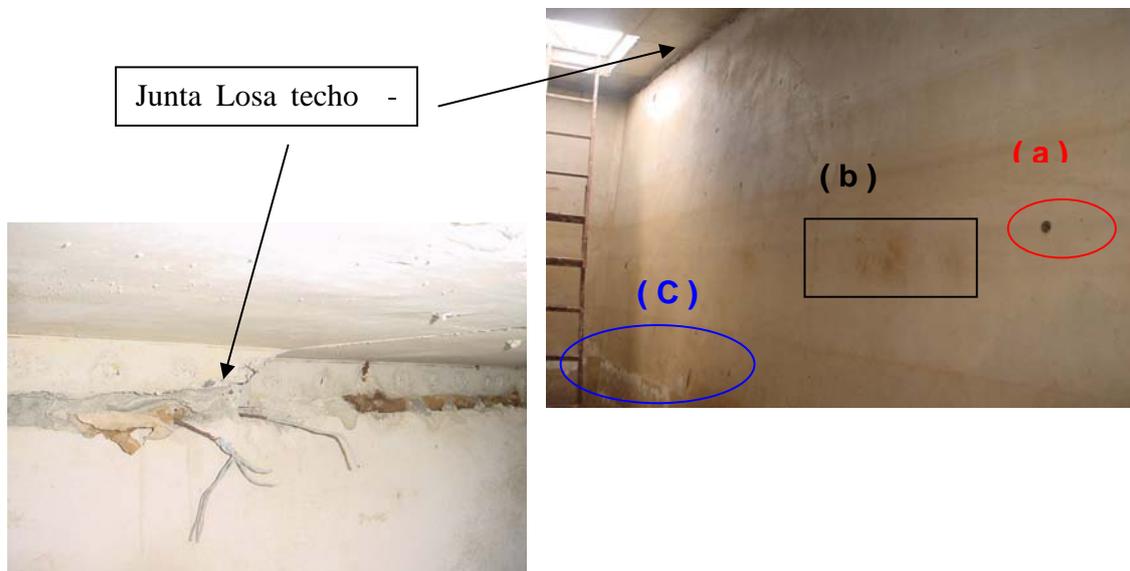


Foto N° 7: Se observa manchas de humedad a todo lo largo del muro, siguiendo una franja ubicada a una distancia vertical de aprox. 2 mts desde el nivel de piso (a), formación de moho (b) y pequeñas fisuras horizontales ubicadas a lo largo el eje, delineando la ubicación del acero de refuerzo, aproximadamente a 20 cms de separación entre ellas. (c)



Fotos N° 8, 9 y 10: Se observa en este muro, en la parte interior del tanque, agrietamiento del friso (a), formación de moho (b), lagrimeo de la pared (manchas de óxido) (c) y eflorescencia (d). Nótese la pintura colocada solo a ese muro, en la parte inferior del mismo, en un 50 % aproximadamente del área (e).

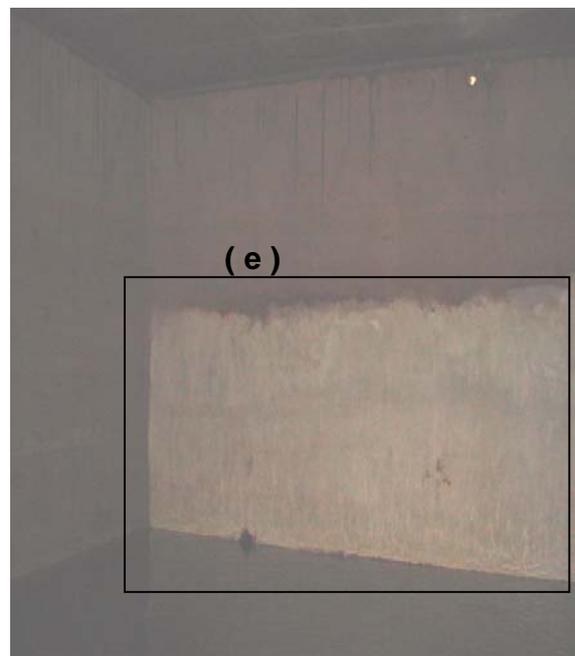
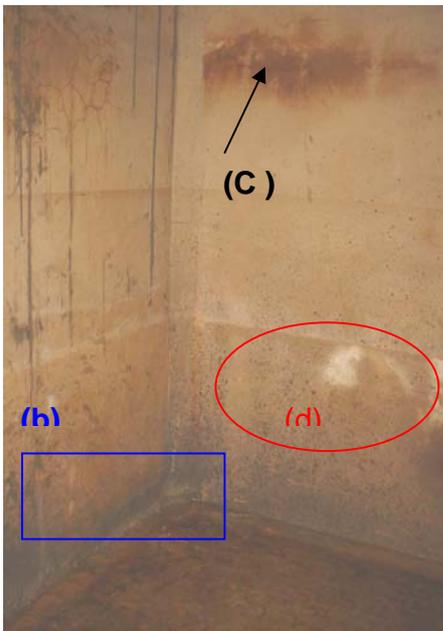


Foto N° 11: Se observa internamente al cuarto de maquinas, filtración por la junta entre las losas de techo del estaque y el cuarto de máquinas



Foto N° 12: El manto impermeabilizante de la losa de techo del cuarto de maquinas no fue colocado en toda el área dejando sin protección parte de la misma y de la junta entre esta y la losa de techo del Estanque



RESULTADOS DE ENSAYOS Y CÁLCULOS REALIZADOS.

Se presentan a continuación los resultados de los ensayos y cálculos realizados.

Pachometria: En los puntos seleccionados de manera aleatoria, se pudo determinar que la separación real del acero de refuerzo es variable y además la distancia promedio es mayor a los 15 cms de separación teórica, de los mismos. Se encontraron separaciones desde 8 cms hasta 64 cms, con lo cual se estima menor cantidad de área de acero existente, para un promedio general de 20.6 cms de separación, encontrada. Se usará para el modelaje estructural una separación de 20 cms

Ultrasonido: Los resultados de este ensayo, nos permiten conocer cualitativamente la calidad del concreto y concluir que existe heterogeneidad de materiales conformados por concreto y mortero de friso tanto en muros como en losa de techo, los cuales tienen características diferentes de resistencia y calidad, arrojando resultados de un material compuesto, de calidad mala a aceptable, según la tabla de comparación de Calidad del Hormigón Vs. Velocidad de Propagación Lineal (m/s) del libro Patología y Terapéutica del Hormigón Armado de Manuel Fernández Canovas.

Extracción de Núcleos de Concreto (Core Drill): Los resultados de este ensayo, permitieron identificar que el espesor real de los muros A, B, y 2, es menor al teórico, ya que los 25 cms incluyen a los frisos interno y externo; por otra parte el espesor real de la losa de techo, por su parte, es mayor ya que al restar el espesor del sobrepiso de concreto colocado de 2,5 cms, para dar una pendiente mínima para el drenaje de agua de lluvia, se encontró que el espesor de la losa sería de 14 cms, aproximadamente.

Por otra parte los ensayos realizados a los Core Drill nos indican que los resultados a compresión cumplen con los criterios de aceptación y/o rechazo donde ningún R_i es inferior a $0.75 f''c = 157.5 \text{ Kg/cm}^2$ y que el promedio de resistencia de los cilindros extraídos nos da 199.5 Kg/cm^2 , lo cual es superior a $0.85 f''c = 178.5 \text{ Kg/cm}^2$, no obstante dado que se obtuvieron resistencias en Muros y Losa de Techo inferiores al $f'c$ nominal de 210 Kg/cm^2 , se usara una resistencia promedio de 177 Kg/cm^2 para el modelaje estructural.

Ensayos Químicos.

Los ensayos químicos se efectuaron para determinar la presencia en la mezcla de algún elemento que pudo originar el proceso de corrosión.

Determinación de cloruros. Los criterios de valoración reportados por el manual de inspección de obras dañadas por corrosión establecen que valores entre 0.05 y 0.1 % de cloruros libres en base al peso de concreto, son suficientes para despasivar las armaduras. Este análisis fue realizado por el método de Mhor que consiste en una titulación con Nitrato de Plata con el fin de precipitar los cloruros libres en la muestra de concreto extraída, los valores obtenidos se evidencia que no existe suficiente cloruros libres en base al peso de concreto para desencadenar el proceso de corrosión, según lo establecido por la red Durar CYTED.

Determinación de Sulfatos. El Ion Sulfato causa deterioro en el concreto aumentando su volumen y como consecuencia generando delaminación del concreto. Los sulfatos fueron determinados por análisis gravimétrico según lo descrito por el Manual de Inspección de Obras Dañadas por Corrosión de Armaduras los resultados obtenidos muestran valores inferiores al 0.46% en base al peso de concreto los cual es aceptable para una mezcla proveniente del cemento.

Pruebas Físicas:

Profundidad de Carbonatación. El ensayo se realiza con fenolftaleína como indicador de medios básicos, se escarifica el concreto a varias profundidades hasta llegar al nivel de la cabilla, al agregar la Fenolftaleína, si se colorea de púrpura indica que el concreto conserva su PH original altamente alcalino, al no colorearse indica que está acidificado por acción del medio circundante. En la prueba realizada al Core Drill extraído en el muro 2 se observo una profundidad incolora de 9 mm en el interior del tanque y de 11 mm en el exterior, resultados muy similares se encontraron en Core Drill extraído en el muro B de 5 mm en el interior y de 11 mm en el exterior, lo que indica la progresiva acidificación de los elementos debido a las condiciones ambientales y a la calidad del concreto. Por otro lado, en Core Drill extraído en el techo se observaron profundidades de carbonatación de 5 mm interior y de 23 mm en el

exterior, lo que indica, tomando en cuenta el espesor de recubrimiento de este elemento, el riesgo de ataque por corrosión, debido a la acidificación del concreto.

La información documental indica, según la clasificación del medio, que la humedad relativa media de la zona, para el periodo 1988/1992 es del 78% con humedades relativas máximas del 92% y mínima del 52%, los cuales resultan ser valores muy altos que demandan controles de proyecto y constructivos que garanticen criterios de durabilidad además de criterios de resistencia, en tal sentido el espesor de recubrimiento del acero y la homogeneidad del concreto son factores muy determinantes en el comportamiento del concreto armado durante su vida útil.

Ensayos Electroquímicos:

Se realiza con la finalidad de observar el comportamiento electroquímico del acero de refuerzo y poder predecir el comportamiento del elemento.

Ensayos de potencial. Este ensayo mide el grado de deterioro que puede presentar el acero, consiste en medir el potencial del acero de refuerzo en los elementos, para ello se empleo el Corrosímetro Digital Gecor 8, descubriendo parte del acero mediante escarificación del recubrimiento hasta descubrir el acero para así poder medir su potencial respecto al concreto en el cual estaban embebidos. Los resultados para los elementos presentan valores superiores a -200 mV lo que indica un comportamiento pasivo del acero, no obstante, los valores reportados en el muro B indican una ligera disminución de potencial cercano a los -200 mV indicando posible actividad del acero y riesgo moderado de corrosión del concreto, 50% de probabilidad según la norma ASTM C-876-87: "Standars test method for half - cell potential of uncoated reinforcing steel in concrete

Velocidad de Corrosión. El método utilizado para su determinación se basa en la técnica de resistencia a la polarización a través del Corrosímetro Gecor 8. Los criterios de valoración utilizados según DURAR son los siguientes para valores de i_{corr} ($\mu A/cm^2$) < 0.1 el nivel de corrosión es Despreciable, entre valores de 0.1 y 0.5 $\mu A/cm^2$ se considera corrosión Moderada, para valores entre 0.5 y 1 $\mu A/cm^2$ el nivel de corrosión se considera Elevado y para valores de 1 $\mu A/cm^2$ el nivel de corrosión es Muy Elevado.

Los resultados obtenidos en el muestreo de muros y techo, permitieron determinar que en el muro A y techo valores despreciables de corrosión, no obstante los muros 2 y B presentan valores que reflejan un moderado nivel de corrosión como se pudo evidenciar en algunos puntos de corrosión visibles donde se observaba pérdida de sección del acero de carácter puntal, esto se confirma debido a las condiciones de los muros en cuanto a potencial eléctrico, humedad y espesor de recubrimiento el cual se evidencio irregular en los diferentes puntos, generando un ambiente que desencadene o propicie el fenómeno.

Resistividad Eléctrica.

Los valores de resistividad eléctrica registrados, se clasificaron siguiendo el criterio de evaluación descrito en el manual de inspección de obras dañadas por corrosión, el cual indica que para valores mayores de 200 K Ω -cm el Riesgo de corrosión es Bajo, para valores en un rango entre 10 y 200 K Ω -cm el Riesgo es Moderado y para valores inferiores a 10 K Ω -cm el Riesgo es Alto. Por lo tanto existe un Riesgo Moderado que se produzca el proceso de corrosión de la armadura, cuya vulnerabilidad se complementa con la baja calidad del concreto, determinada a través de los ensayos de ultrasonido y de los Core Drill, creando las condiciones para desencadenar el proceso de corrosión de la armadura.

EVALUACIÓN ESTRUCTURAL

Objetivo:

Se procedió a evaluar el comportamiento estructural de los elementos componentes del estanque de concreto armado el cual actualmente presenta grandes deflexiones en la losa de techo debido a la poca rigidez de esta (14 cm. de espesor en una luz de 8 mts), por lo cual se realizara el modelaje matemático con la finalidad de proponer la rehabilitación estructural.

Normas Aplicadas:

El análisis se realizó siguiendo los lineamientos de la norma COVENIN-MINDUR 2002-88 (CRITERIOS Y ACCIONES MINIMAS PARA EL PROYECTO DE EDIFICACIONES), COVENIN-MINDUR 1753-2001 (ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO PARA EDIFICACIONES ANÁLISIS Y DISEÑO).

Criterios Utilizados:

Para el modelaje matemático en elementos finitos la estructura se discretizo en elementos tipo Shell tanto para los muros de las paredes como las losas de piso y techo, y elementos tipo vigas para las columnas que se van a añadir, el análisis se realizó por medio del programa de elementos finitos RAM ADVANSE. Para el análisis además del peso propio de la estructura, se considero una carga muerta de 140 Kg/m² para el mortero de nivelación de techo y una carga viva de 100 kg/m², y la presión hidrostática actuando sobre las paredes del tanque considerándolo lleno.

Calidad de los Materiales:

Para el análisis se considero una resistencia a la compresión del concreto a los 28 días de $f'c=177$ kg/cm² según los resultados de los ensayos realizados y una resistencia a la fluencia del acero $f_y=4200$ Kg/cm²

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

Los resultados de los análisis para la estructura original, permitieron determinar que el acero de flexión requerido es mayor que el existente, se requieren hasta 8.40 cm², disponiéndose de una doble malla de cabillas de ½" cada 20 cms en promedio, da un total de 6.25 cm², además la deflexión elástica nos da para el caso carga viva + carga muerta 1.47cm; tomando en cuenta que la deflexión diferida para la cantidad de acero que tiene la losa es aproximadamente 1.6 veces la deflexión elástica, nos da como resultado una deflexión total de 3.82 cms que en 8 mts de luz resultaría en una relación flecha/luz de 1/200, si bien esta relación flecha luz no es tan grande, en campo se verificaron flechas mucho mayores (hasta 9.2 cms) lo que induce a pensar que hubo problemas durante el proceso constructivo que produjeron valores de la relación flecha/luz mayores de 1/100, los cuales son inaceptables.

PROPUESTA DE REHABILITACIÓN

A fin de dar respuesta a los daños presentes en la estructura se propuso las siguientes actividades a desarrollar para el proceso de rehabilitación estructural del estanque evaluado.

Se planteo el reforzamiento con tres columnas intermedias de 25x25 cm. las cuales se unen a las losas inferior y superior a través de capiteles para evitar el efecto de punzonado en ambas. El capitel superior debe tener un ancho total de 1,5 mts, construidos en dos escalones y el capitel inferior de 65 cms en un solo escalón. El armado de estos capiteles se realiza con acero de $D = \frac{1}{2}$ " en forma de U colocados a cada 20cms en ambos sentidos), manteniendo el acero de refuerzo de las losas de techo y piso existente, la demolición se realiza con mucho cuidado para no cortarlo.

En la junta entre concreto viejo y concreto nuevo se deberá colocar una capa de material Epoxico, antes del vaciado del concreto nuevo de $R_{cc} = 250 \text{ Kg/cm}^2$, para garantizar la unión entre ellos. En la junta de la losa de piso se recomienda un recrecido de concreto, adhiriéndolo con el epoxi, en la cara horizontal de la losa, a fin de generar doble barrera de protección en las juntas de mayor presión de agua.

Las juntas horizontales, tanto la de vaciado ubicada a media altura de los muros, como las ubicadas en losa de piso-muro-losa techo y las verticales ubicadas en las esquinas serán recubiertas internamente mediante una capa de concreto proyectado de $R_{cc} = 250 \text{ Kg/cm}^2$ con un espesor de 10 cms, reforzada con malla de acero de 100x100x5 mm de $F_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$, en toda el área, unidas a los muros mediante conectores de $D = \frac{1}{2}$ " en forma de "L" y de longitud 12,5 cm, colocados a una separación de 60 cms en ambos sentidos, el vaciado debe ser monolítico, no debe haber junta de vaciado, ni vacíos u oquedades, para que funcione el sellado de las juntas.

En las juntas verticales y horizontales ubicadas en la losa de piso-muro-losa techo se realizara una media caña a 45° , con el concreto proyectado $R_{cc} = 250 \text{ Kg/cm}^2$, de 15 cms por lado como mínimo.

Al techo de estanque se le deberá colocar una capa de friso en la parte interior del mismo, siguiendo el criterio de diseños por durabilidad de las obras, a fin de proteger contra la

corrosión al acero que se encuentre con poco recubrimiento, dado que se genera condensación de agua debido a la temperatura ambiente de la zona.

Dada la formación de moho y eflorescencia, en la cara externa de los muros, se deberá eliminar todo el friso exterior de los mismos, proceder a lavar la superficie con una solución a base de agua y vinagre para eliminar el moho y los hongos y secar luego con soplete, (pasando el mismo por la superficie de los muros, sin dejar fija la llama, de manera reiterada e intermitente hasta que la superficie se mantenga seca), a fin de eliminar la humedad interna de los muros y de esa forma evitar la reaparición de eflorescencia sobre la superficie reparada.

Antes de la colocación de los materiales de reparación deberá garantizarse una adecuada "Preparación y Limpieza de la Superficie".

La junta techo-cuarto de maquinas, se encuentra sin un tratamiento adecuado entre dos cuerpo que tienen movimiento diferentes, en tal sentido, se deberá colocar un tapa junta de lamina metálica galvanizada, la cual se fijara solo a la losa de techo del estanque, luego de la colocación del manto asfáltico sobre la losa de tabelones del cuarto de maquinas. Esta tapajuntas se fijara con tornillos a la losa y se le colocara un asiento de cemento plástico a todo lo largo de la misma.

Una vez eliminado todo el friso de los muros se deberá inspeccionar detenidamente el área, para ubicar irregularidades en la superficie del concreto tales como vacíos, cangrejeras u oquedades, a fin de escarificar y rellenar con un mortero de reparación predosificado, que garantice una superficie homogénea, que impida la penetración de agentes agresivos a la masa del concreto que ponga en riesgo al concreto armado.

ESTIMACIÓN DE LA INVERSIÓN

Para el análisis de la variable económica se realizaron los presupuestos estimados para la rehabilitación estructural y para la construcción de un nuevo estanque similar al existente (incorporando aquellas partidas indispensables para el adecuado funcionamiento del mismo). Los presupuestos realizados tanto de la construcción del nuevo estanque como para la rehabilitación arroja como resultado que la rehabilitación resulta aproximadamente un 60% mas económica que la inversión necesaria para construir un tanque.

REFERENCIAS

Fernández Canovas (1994) "Patología y Terapéutica del Hormigón Armado". 3ra Edición Colegio de Caminos Canales y Puertos. España.

Norma COVENIN-MINDUR 2002-88. "CRITERIOS Y ACCIONES MINIMAS PARA EL PROYECTO DE EDIFICACIONES".

Norma COVENIN-MINDUR 1753-2001. "ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO PARA EDIFICACIONES ANÁLISIS Y DISEÑO".

C. ANDRADE, Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado.(CYTED, 1998)

P. CASTRO, Corrosión en estructuras de concreto armado. (IMCYC 1998)

M. SANJUAN, P. CASTRO, Acción de los agentes químicos y físicos sobre el concreto. (IMCYC 2001)

P. HELENE, Corrosão em armaduras para concreto armado. (IPT 1986)