

FALLAS EN CIMIENTOS Y MUROS DE CONTENCIÓN DE DERRAMES DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE ACIDO SULFÚRICO. PROPUESTA DE INTERVENCION

Dikdan Jaua, María Ysabel; Avon, Denis; Malave de Corrales, Rosa
mydikdan@ucla.edu.ve; avondenis@gmail.com; rmalave@ucla.edu.ve

RESUMEN

Mediante diagnóstico patológico realizado a las estructuras de apoyo y muros de contención de dos tanques contenedores de ácido sulfúrico para uso Industrial, se observó desagregación y pérdida de material cementante en las bases de los tanques y en la losa de piso, en la parte inferior del muro se evidenció pérdida de conexión con la losa de piso. Mediante ensayos al concreto se determinó: carbonatación, porosidad penetración de sulfatos y resistencia a compresión y al acero de refuerzo se le midió: espesor de recubrimiento, diámetro, medición de potenciales (Cu/SO₄Cu) y velocidad de corrosión. Se determinó la capacidad remanente del muro mediante cálculo estructural. Como conclusión la estructura se apreció muy afectada por el ácido. Se sugieren dos acciones, una provisional mediante la construcción de tacos que garanticen apoyo y estabilidad a los tanques y otra definitiva, reubicación del sistema de los tanques y la piscina, debido a la posible infiltración del ácido al suelo ubicado debajo. El diseño de la nueva estructura exige consideraciones especiales relativas al concreto y al uso de revestimientos.

PALABRAS CLAVES: *Tanques, Ácido sulfúrico, Desagregación, Corrosión, Muros.*

Recibido: Junio 2013 - Aceptado: Septiembre 2013

FOUNDATIONS AND CONTAINMENT WALLS FAILURES IN STORAGE TANKS OF SULPHURIC ACID SPILLAGES. INTERVENTION OFFER

Dikdan Jaua, María Ysabel¹; Avon, Denis²; Malave de Corrales, Rosa³

1,2 y 3: Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Decanato de Ingeniería Civil, Prolongación

Av. La Salle con Av. Las Industrias. Barquisimeto, Estado Lara.

mydikdan@ucla.edu.ve; avondenis@gmail.com; rmalave@ucla.edu.ve.

Artículo de Investigación

ABSTRACT

A Pathological diagnosis was made by supporting structures and retaining walls of tanks containing sulfuric acid for Industrial use, a breakdown and loss of cement material were observed in the bases of the tanks and the floor slab at the bottom of the wall loss was evident. An assessment of concrete determined: carbonation penetration sulfate porosity and compressive strength. Coating thickness, diameter measuring potential (Cu/ SO₄Cu) and corrosion rate were measured for reinforcing steel. The remaining capacity of the wall is determined by structural calculations. In conclusion, the structure was greatly affected by the acid. Two actions were suggested: a temporary action by building blocks to ensure support and stability of the tanks and by relocating system tanks and pool, due to possible acid infiltration of soil located below. The design of the new structure requires special considerations concerning the use of concrete and coatings.

KEY WORDS: *Tanks, Sulfur acid, desagregation, corrosion, walls*

INTRODUCCIÓN

La instalación Industrial objeto de estudio, tiene un área de tratamiento con ácidos, la cual cuenta con dos tanques metálicos uno de ácido sulfúrico diluido al 11% y otro al 98%, ubicados en una piscina de contención de derrames de concreto armado. Los muros, la losa de piso y las bases de apoyo de los dos tanques evidenciaron sintomatologías de fallas, que indujeron a la evaluación y propuesta de intervención de las mismas.

Al momento del estudio, la estructura tenía 15 años de uso. Los muros de contención de la piscina contenedora han sido intervenidos en años anteriores, se desconoce fecha exacta pero se estima que fue hace aproximadamente 6 años, la intervención contempló el aumento del alto de los muros de 65,3 cm a 157 cm, además del revestimiento interior con un Epoxi (se desconocen datos del mismo), no se cuenta con información técnica acerca del armado e interconexión entre el muro existente y el nuevo colocado para aumentar el alto, ni características de diseño del concreto colocado.

A pesar del mantenimiento correctivo mencionado, se comenzó a evidenciar sintomatologías de fallas que requirieron la realización de un estudio diagnóstico y el proyecto de intervención a la brevedad, del cual se derivó este trabajo, a fin de evitar condición de vulnerabilidad para los trabajadores de la planta.

Es importante entonces destacar que el concreto armado por su característica alcalina, es un material muy inestable frente al ataque por ácidos, en especial al ácido sulfúrico. Hay dos reacciones importantes con la pasta de cemento y los sulfatos, que se deben mencionar con prioridad en razón de los daños que provocan:

El ataque por ácido sulfúrico, se pone de manifiesto por una destrucción superficial, en general uniforme del concreto. La destrucción es tanto más rápida cuanto más alta es la relación agua – cemento considerada, sea que ella haya sido elegida, sea que ella alcanza ese valor por una razón cualquiera. La pasta de cemento así como la mayor parte de los

agregados son atacados por los ácidos.

El ataque por los sulfatos se basa en la formación de estringita: $(3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O)$, luego de la reacción del aluminato tricálcico del cemento $(3CaO \cdot Al_2O_3)$ con el agua cargada de iones sulfato $(SO_4=)$. Los daños se manifiestan por un hinchamiento y una destrucción lenta de la superficie del concreto o bien, si la reacción se produce en profundidad, por una verdadera ruptura del concreto. Una vez realizada la inspección de reconocimiento y conocidos algunos datos generales de la obra y los requerimientos de la empresa contratante, el alcance del trabajo se estableció según el criterio del equipo técnico a cargo, en tal sentido se indica a continuación las actividades realizadas y los resultados obtenidos, según las 2 etapas del proceso: Diagnóstico patológico y Propuesta de Intervención.

DESARROLLO

Diagnóstico Patológico

El Diagnóstico Patológico permitió identificar las condiciones de los elementos estructurales y con base a ello determinar la propuesta de intervención con fines de rehabilitación, para ello se realizaron las siguientes actividades:

Para conocer las características de calidad de los materiales de los muros de contención y de las bases de los tanques se realizó inicialmente una inspección visual: en los elementos de concreto se detectó la presencia de irregularidades y desagregaciones que dejan al descubierto la armadura, de lo cual se puede inferir la condición de vulnerabilidad del concreto lo que facilitó el deterioro prematuro del material compuesto como consecuencia del desprendimiento del revestimiento epóxico colocado hace 6 años. La pérdida de material cementante en el concreto de la base de los 2 tanques de ácido sulfúrico, de la losa de piso y de la parte inferior de los muros, evidencia el deterioro acelerado de concreto, se ha perdido cohesión de los agregados.

Se determinaron las propiedades físico, químico y mecánico del concreto armado de los muros. Se hicieron ensayos destructivos y no destructivos, la metodología de los ensayos es la establecida en el Manual DURAR (1998), ⁽¹⁾. Mediante la extracción de núcleos al concreto se determinó: carbonatación, porosidad, penetración de sulfatos y resistencia a compresión. Para la extracción de los núcleos, se consideró una separación del acero de los muros de 20 cm, por lo tanto se extrajeron 3 núcleos de 4 pulgadas de diámetro, ya que todos los muros son del mismo tipo de concreto.

Al acero se le realizaron ensayos de: localización y profundidad de la armadura, caracterización visual (espesor de recubrimiento, diámetro). Medición de potenciales (Cu/SO₄Cu) mediante la utilización de electrodos de referencia y voltímetros de alta impedancia y velocidad de corrosión, mediante la utilización de corrosímetro digital, para medir la resistencia a la polarización (equipo: Gecor 8). Finalmente, se determinó la capacidad remanente del muro mediante cálculo estructural.

RESULTADOS DEL DIAGNOSTICO

Análisis químico y correlación con ensayos físico mecánicos.

En la inspección visual se observó desagregación y pérdida de material cementante en el concreto base de los dos tanques de ácido sulfúrico, y en la losa de piso de la piscina contenedora de derrames, esta condición imposibilitó la extracción de núcleos en la base de los tanques y losa, y hace suponer la penetración del ácido sulfúrico actuando como ácido y en forma de sulfatos. Figura 1.

En los muros laterales, Figura 2, se observó el con-

creto sin desagregación y compacto en la parte superior, sin embargo en la parte inferior manifiestan pérdida de conexión con la losa de piso. El aspecto compacto del concreto en los muros que conforman la piscina contenedora de derrames permitió que se extrajeran tres núcleos, en el muro. Tanto del concreto desagregado de la losa de piso de los tanques como de los tres núcleos extraídos en el muro, se tomaron muestras para determinar el contenido de sulfatos, los resultados se sintetizan en la Tabla 1



Figura 1 Concreto base de los tanques



Figura 2 Muros y losa de piso de piscina contenedora

Muestra	Contenido de SO ₄ %	Resistencia kgf/cm ²	Porosidad Real %	Velocidad de Corrosión (μA/cm ²) promedio	Potencial Eléctrico (MV) promedio
Losa de Piso	10,63	**	**	**	**
Núcleo 1	0,81	156	21,01	0,176	-271,4
Núcleo 2	0,78	D	18,57	0,045	-205,5
Núcleo 2'	0,49	**	**	**	**
Núcleo 3	0,88	217	16,21	**	-65
Promedio 1-3	0,82	187	18,6		

Tabla 1: Resultados de los ensayos químicos, físicos y electroquímicos
 ** No Aplica D= descartado por poseer acero de refuerzo transversal

Analizando esos resultados se puede observar el alto porcentaje de sulfatos reportado en la losa de piso de los tanques: 10,63% (siendo el máximo contenido aceptado 0,46% para un concreto de densidad 2,3 g/cm³ con 350 kg de cemento/m³ y 3% de yeso, Feliu y Andrade, (1989) ⁽²⁾). De igual manera, se observa la penetración del ácido en los núcleos del muro (muestras 1, 2 y 3) en donde el porcentaje promedio de sulfatos es de 0,82%, contenido que casi duplica el máximo valor aceptado 0,46%. Es bueno destacar que por la ubicación de los núcleos extraídos (Parte superior del muro), esta zona nunca fue mojada por el ácido drenado de los tanques, por tanto los sulfatos reportados provienen de la atmósfera que rodea ese microclima. Las muestras 1, 2 y 3 fueron tomadas de la parte de los cilindros que corresponden al lado exterior del muro, la muestra 2' corresponde al cilindro 2 pero de la parte interior del Muro. Figura 3.

Los resultados químicos analizados también se corresponden con la resistencia mecánica $R_{ccmedia}=187 \text{ kgf/cm}^2$ y con la porosidad real promedio reportada en la Tabla 1 de 18,60%, lo cual se encuentra 8.6% por encima de la porosidad máxima recomendada para un concreto bueno y 3.6% por encima de un concreto durable.

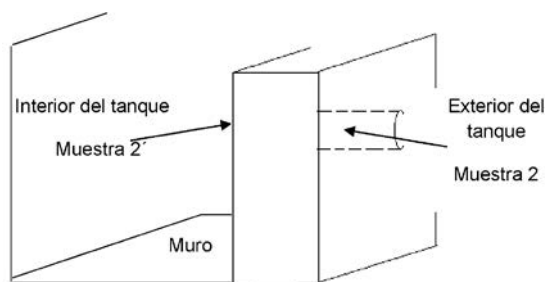


Figura 3: Zona de extracción muestras 2 y 2'

Al realizar la prueba de Carbonatación para conocer el cambio del pH del concreto y la profundidad de neutralización del mismo y correlacionar con el ingreso del ácido, se pudo observar que los muros están carbonatados en 1.5 cm en la parte exterior, sin embargo la parte superior interna no arrojó carbonatación y por ende pérdida de alcalinidad. Este resultado indica que el recubrimiento interior del muro, (epóxico), protegió del ataque del ácido y por ende de la pérdida de alcalinidad y que el ingreso del ácido se ha producido desde la parte externa del muro, como lo demuestra el valor de la muestra 2 cuyo porcentaje de sulfato es de 0,7764% (cara externa del Núcleo) en contraposición con el valor de la muestra 2' cuyo porcentaje de sulfato es de 0,4975 % (cara interna del Núcleo).

Con respecto a la velocidad de corrosión y el potencial eléctrico en los muros, resumidos en la Tabla 1, se tiene como promedio de nueve puntos medidos para cada muestra, que de acuerdo a los resultados evaluados en las muestras 1, 2 y 3, la corrosión en el acero aún no está activada. En las muestras 1 y 2 la velocidad está por debajo de $0,1\mu\text{A}/\text{cm}^2$, que de acuerdo al Manual DURAR (1998)⁽¹⁾, indica corrosión despreciable. Tan solo el punto 1 de potencial da resultados de incertidumbre -274 mV , que indica una corrosión en el acero de 50%, pero este valor no se corresponde con el de velocidad. Sin embargo hay que recordar que el ataque de ácidos y de sulfatos, como es este ambiente específico, produce una acción directa a la matriz de concreto, como se observó en la inspección visual de las bases de los tanques y en la losa de piso.

Condición del acero de refuerzo

Se pudo determinar que el diámetro del acero de refuerzo de la parte superior del muro es de $\varnothing 5/8''$ y el espesor de recubrimiento del acero es de 2.5 cm. La condición del acero de refuerzo de la losa de piso, base de los tanques y el ubicado en la parte inferior de los muro, evidencia corrosión y rotura al perder la sección por efecto del ácido al que ha estado expuesto durante meses, Figura 4 y Figura 5. La condición del acero de refuerzo en la parte superior del muro esta conservado.



Figura 4 (a) y (b): Acero de refuerzo expuesto en bases de tanques de Ácido Sulfúrico



Figura 5 (a) y (b): Pérdida de sección y rotura del acero de refuerzo en base de los muros de contención

Verificación de la Resistencia Estructural Remanente de los muros de la piscina contenedora

Con base a las condiciones críticas de desconexión de los aceros de la cara interior del muro, se determina la capacidad remanente considerando que el acero de la otra cara del muro actúa a tracción, mientras que en el extremo externo se concentra la compresión en el concreto. Dado que el recubrimiento es de 2,5cm, y el acero de refuerzo es de 5/8", resulta una altura útil disponible de 3,3 cm. Parece obvio que se trata de una sección sobrerreforzada por lo que se espera que la falla ocurra por aplastamiento del concreto antes de que ocurra la fluencia en el acero, ergo, se realiza un análisis de compatibilidad de deformaciones considerando un $\epsilon_c = 0.003$ como se observa en la Figura 6 y un análisis de equilibrio de fuerzas en la sección considerando los siguientes parámetros:

$$f_c = 187 \text{ kgf/cm}^2 \quad (1)$$

$$A_s = 9.9 \text{ cm}^2 \quad (\text{se considera } \epsilon = 5/8" \text{ c}/20\text{cm}) \quad (2)$$

$$b = 100 \text{ cm} \quad (\text{anchura unitaria del muro}) \quad (3)$$

$$E_s = 2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2 \quad (\text{Módulo elástico del acero}) \quad (4)$$

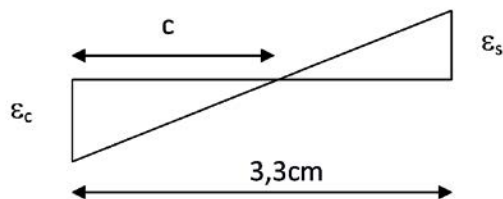


Figura 6: Diagrama de deformaciones de la sección.

Del sistema de ecuaciones consiguiente se obtuvieron los siguientes resultados:

$$c = 2.36 \text{ cm}, \quad f_s = 3220 \text{ kgf/cm}^2 \quad \text{y} \quad M_R = 675 \text{ kgfcm}$$

El momento actuante debido a la presión hidrostática del ácido sulfúrico, considerando un peso específico medio $\gamma_{ac} = 1840 \text{ kgf/m}^3$ es el siguiente:

$$M_{act} = \frac{1}{2} \times 1840 \times h^2, \quad \text{en la que } h \text{ es la altura del líquido.}$$

Al igualar el momento actuante con el resistente, podemos determinar la altura máxima del líquido antes de que ocurra un colapso, resultando dicho valor en $h = 0,85 \text{ cm}$.

En las condiciones actuales, bajo el escenario de la ocurrencia de un derrame del tanque R3305 cuyas características son: $\varnothing = 4.3 \text{ m}$, $h = 5.1 \text{ m}$, $h_{llenado} = 4.7 \text{ m}$ y capacidad: 140 Ton, (aproximadamente 75.640 litros), la altura del líquido necesitaría llegar a una altura de 1,30m, lo cual excede el máximo valor tolerable, ergo, ocurriría el colapso de los muros y el consecuente derrame del ácido sulfúrico hacia las áreas circunvecinas. Cabe recordar que el ácido sulfúrico concentrado puede atacar las paredes de fibra de vidrio de los otros tanques, lo cual agravaría la situación. Es necesario aclarar que se estimó el valor del empuje del ácido considerando un derrame lento (condiciones cuasiestáticas) por lo que de ocurrir un derrame súbito, las condiciones podrían ser más desfavorables.

CONDICIONES ESTRUCTURALES DE LAS BASES DE LOS TANQUES

Como se pudo observar en sitio, las condiciones de la losa de fundación de los tanques que se encuentra a la vista, presenta un grave deterioro, siendo prácticamente imposible observar su estado bajo los muretes-pedestales. Bajo este escenario, se presenta un análisis de cota superior de presión sobre la fundación bajo condiciones estáticas suponiendo que sólo apoyan sobre el suelo los muretes/pedestal.

Para el tanque de ácido concentrado se tienen los siguientes datos:

- Peso propio del tanque de acero al carbono: $W_{tan} = 38000 \text{ kgf}$ (estimado con base a un espesor de 1" en las láminas de acero que forman las paredes, piso y techo del mismo)

• Peso del ácido sulfúrico: $W_{acido} = 140000kgf$

• Área de los muretes - pedestales:

$$A_{ped} = 3 * 1.4834m^2 = 4.75m^2$$

• Peso de los muretes-pedestales:

$$W_{ped} = 4.75 * 0.6 * 2400kgf = 6840kgf$$

• Peso total del sistema:

$$W_{tot} = 38000 + 140000 + 6840 = 184840kgf$$

• Presión de contacto:

$$q_s = \frac{184840kgf}{4.75m^2} = 38913kgf / m^2 = 3.89kgf / cm^2$$

Se desconoce las características de fundación, pero de ser cierta la hipótesis planteada, el suelo podría estar trabajando con un factor de seguridad muy bajo ante cargas estáticas.

Se desconoce las características de fundación, pero de ser cierta la hipótesis planteada, el suelo podría estar trabajando con un factor de seguridad muy bajo ante cargas estáticas.

Por otra parte, cabe recordar que la ciudad en donde se ubican los tanques (Barquisimeto), se encuentra en la zona sísmica 5, con peligro sísmico elevado y una aceleración máxima del terreno de 0.3g, según la Norma COVENIN 1756-2001⁽³⁾. Se pueden esperar cortes basales del orden de los 55000 kgf, produciendo momentos volcantes del orden de 168000kgfxm. La excentricidad producida sería de 0,91m. El factor de seguridad al volcamiento es de aproximadamente $FS_{volc}=1.65$, el cual resulta satisfactorio, sin embargo, las presiones de contacto pueden llegar a 7.66 kgf/cm², lo cual resultaría excesivo, produciéndose un hundimiento parcial del tanque por sobrecarga.

Para los tanques de ácido diluido se tienen los siguientes datos:

• Peso propio del tanque de fibra de vidrio: $W_{tan} = 5000kgf$ (estimado con base a un espesor de 5cm de fibra y resina con un peso específico de 1.6 ton/m³).

• Peso del ácido sulfúrico: $W_{acido} = 40000kgf$

• Área de los muretes-pedestales:

$$A_{ped} = 3 * 1.1814m^2 = 3.54m^2$$

• Peso de los muretes-pedestales:

$$W_{ped} = 3.54 * 0.6 * 2400kgf = 5098kgf$$

• Peso total del sistema:

$$W_{tot} = 5000 + 40000 + 5098 = 50098kgf$$

• Presión de contacto:

$$q_s = \frac{5098kgf}{3.54m^2} = 1440kgf / m^2 = 0.15kgf / cm^2$$

Las presiones de contacto en los tanques de fibra de vidrio son considerablemente bajas, por lo que su grado de peligrosidad actual es mucho menor que la que presenta el tanque de ácido concentrado.

En cualquier caso, las bases de los tanques presentan un deterioro progresivo que de un corto a mediano plazo, pueden presentar fallas graves que pongan en peligro las instalaciones y por ende la paralización de la producción en la fábrica.

PROPUESTA DE INTERVENCIÓN:

Debido a la precaria condición del concreto armado de la losa de piso, bases de los tanques de ácido sulfúrico y área inferior de los muros de la piscina contenedora de derrames, para una zona sísmica, se presentan las recomendaciones de diseño y protección de un concreto expuesto a ácido sulfúrico y se propone la atención al caso mediante dos acciones a emprender, una de carácter provisional y otra definitiva.

Recomendaciones generales de protección del concreto al ataque del ácido sulfúrico.

Como se mencionó en el diagnóstico, todo concreto expuesto a la acción de ácidos es susceptible a la degradación por lo tanto se le presentaron las especificaciones de diseño de mezcla del concreto y

los posibles revestimientos a utilizar en los nuevos concretos, Pinto y colaboradores (2008)⁽⁴⁾ y Eurocode (2000)⁽⁵⁾.

En consecuencia para resistir a estos ataques, el concreto debe ser duro y compacto, de forma simple y de superficie lisa, cerrada y sin fisuras. De este modo se puede reducir la superficie sometida al ataque. El recubrimiento del concreto sobre la armadura debe tener también el mayor espesor posible. Es recomendable el uso de un concreto con baja permeabilidad y utilizar áridos calizos para neutralizar el ácido. También es deseable aumentar el recubrimiento de concreto como concreto de sacrificio. Cuando el ataque es exterior es necesario el uso de recubrimientos protectores. Las especificaciones recomendadas se resumen en:

- El cemento deberá ser resistente a los sulfatos. (Se recomienda el uso de cemento SR y una dosis de ≥ 300 kg/m³),
- El árido empleado será como mínimo de un 80% calizo.
- El contenido de sulfatos de los áridos, expresado en SO₃, se limita al cuatro por mil del peso total del árido.
- La relación agua/cemento será como máximo de 0,45.
- Se podrá añadir aditivos que mejoren la trabajabilidad del concreto con el objeto de reducir la relación agua/cemento. La resistencia a compresión del concreto deberá ser como mínimo de 40 MPa.
- Aunque no está recogido en la Norma UNE 127.010 (6), actualmente se está extendiendo el uso de aditivos poliméricos que, incorporados al hormigón, mejoran su comportamiento ante el ataque de ácidos.
- La presencia de condiciones de acidez en el caso del ácido sulfúrico puede requerir que se tomen medidas de seguridad adicionales, tales como la provisión de membranas y barreras protectoras, dependiendo de la concentración y la temperatura de la solución agresiva.

Las recomendaciones de protección adicionales son necesarias, algunas de ellas son:

- Impregnaciones o Revestimientos de: Polivinilo, Polietileno polisulfónico, Caucho al cloro.
- Morteros ligantes: Azufre, Silicatos Resina Fenólica, resina furánica.

Los revestimientos minerales y resinas orgánicas. Se distinguen dos sistemas: los orgánicos y los inorgánicos. Los primeros están constituidos principalmente por resinas epóxicas, poliuretano, furánicas, fenólicas o de poliéster. Los inorgánicos son a base de cemento u otros sistemas generales.

Los sistemas de cristalización o impregnaciones, son conocidos y se vienen aplicando mundialmente con éxito durante las últimas décadas; hacen al concreto menos permeable debido a reacciones mediante las cuales ocurre la formación de cristales en los poros y capilares del concreto. Hay diversos sistemas disponibles: los mono componentes se aplican como pintura sobre el concreto en no más que dos capas. Su resistencia química está en una tasa de pH entre 3 y 11. Debe tenerse cuidado pues estos sistemas no poseen resistencia a la abrasión. También existen sistemas que se adicionan al concreto durante su mezcla, lo cual resulta adecuado para concretos nuevos.

Revestimientos de alta resistencia química a base de cemento muy gruesos (> 5 mm). Los revestimientos minerales de alta resistencia a base de cemento usan cementos exentos de C₃A en función de la necesaria resistencia a los sulfatos. Pueden ser aplicados manualmente o lanzados y tienen gran resistencia química (pH 3 a 14).

Revestimientos minerales de alta resistencia química exentos de cemento

El sistema de revestimiento de alta resistencia química tiene como base un silicato Polimérico. Consiste de gel de silicatos amorfos (SiO₂.nH₂O) dentro de la matriz endurecida de esta sustancia mineral pura, cuya adherencia, durabilidad y estabilidad dimensional lo hacen ideal para la protección de

superficies de concreto y acero en estaciones de efluentes, industrias químicas e instalaciones de energía eléctrica.

Los revestimientos minerales a base de silicatos poliméricos están abiertos a la difusión de vapores de agua y son resistentes a los ácidos orgánicos e inorgánicos con pH próximos a CERO (excepto al ácido fluorhídrico) y resistente a temperaturas de hasta 580 °C.

Revestimientos cerámicos, otra alternativa para proteger el concreto puede ser la colocación de un revestimiento a base de cerámica de gres antiácida,

Solución Provisional:

Esta consiste en la construcción a la brevedad posible de unos elementos de concreto armado colocados debajo de los tanques de ácido, conformando unos macro tacos de concreto que garanticen apoyo y estabilidad a los mismos. Esta solución implica la eliminación del concreto desagregado y suelto de la losa de piso, bases de los tanques y muro de la piscina contenedora de derrames. Los macro tacos de concreto deben vaciarse hasta la misma altura de las bases existentes de los tanques utilizando un concreto autonivelante con $R_{cc28} = 400 \text{ kg/cm}^2$ garantizando espesor de recubrimiento del acero de refuerzo por todas sus caras de 7 cm. Adicionar al concreto un sistema de cristalización o impregnación que hace al concreto menos permeable debido a reacciones mediante las cuales ocurre la formación de cristales en los poros y capilares del concreto. (Existen productos comerciales que responden a esas características). Paralelamente se debe incrementar la altura de las paredes de los Muros debido a la disminución del volumen útil por

la presencia de los tacos de concreto. Para evitar la retracción en el concreto se pueden agregar fibras de polipropileno. Posteriormente nivelar la losa de piso hacia un punto de descarga o tanquilla de achique para evitar empozamiento del agua de lluvia o de derrames y facilitar la extracción controlada del líquido. La superficie interior de los pisos y muros puede ser revestido con cerámica de gres antiácida con juntas antiácidas.

Solución Definitiva:

Debido a la posible infiltración del ácido al suelo ubicado debajo de la piscina contenedora de derrames, se hace necesaria la evaluación de la magnitud de esta contaminación a los fines de su mitigación. En tal sentido es posible que el tratamiento que pudiera ser requerido implique la eliminación de la estructura existente en la zona. Se sugiere la reubicación de los tanques de ácido sulfúrico y la piscina contenedora de derrames, a los fines de dar respuesta definitiva a las causas que generaron el daño en la estructura existente. Se debe ubicar el sitio, preparar el terreno y proceder a la construcción de una nueva estructura.

Para ambas alternativas se sugiere que los equipos de bombeo y de control se ubiquen fuera de la piscina contenedora de derrames, ya que dichos equipos quedarían prácticamente inoperativos en caso de un derrame masivo de ácido.

Adicionalmente a lo indicado resulta vital para el funcionamiento adecuado del área, preparar y ejecutar un plan de mantenimiento preventivo y establecer una rutina de limpieza cada vez que ocurran derrames a fin de evitar la presencia de ácidos por largos periodos de tiempo que disminuyen de manera considerable la vida útil de las obras.

CONCLUSIONES

Como conclusión del análisis químico y correlación con los ensayos físico- mecánicos se puede decir que la base de los tanques de ácido sulfúrico, y la losa de piso de la piscina contenedora están gravemente afectados por el ácido, los muros laterales aun cuando no reportan daños graves de deterioro aparente en la matriz de concreto, ni en los ace-

ros ubicados en la parte superior de los mismos, en la base han perdido continuidad y conexión con la losa lo cual hace imposible su recuperación. Se debe recordar que el contenido de sulfatos en las muestras del concreto de los muros excede el máximo valor aceptable. En conclusión es urgente la intervención provisional y definitiva.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Red DURAR CYTED (1998). Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado. España: CYTED, 2da edición. , p 117-121
- 2.- Feliu S. y Andrade, C.(1989) Manual de inspección de obras dañadas por corrosión. Madrid, España. Instituto de la Ciencia de la Construcción Eduardo Torroja CSIC. Madrid España, p. 70
- 3.- NORMA COVENIN 1756-2001. "Edificaciones Sismorresistentes". Normas Venezolana, Caracas 2001
- 4.- Pinto Jaques, Minoru Takagi Emilio, MC-Bauchemie. Protegiendo a través de la impermeabilización. Revista IMYC, México. (<http://www.imcyc.com/ct2008/mayo8/tecnologia.htm>)
- 5.- Eurocode (2000). Códigos Técnicos Europeos. El Eurocode 2 y el diseño de estructuras durables y resistentes.(http://www.imcyc.com/revista_2000/abril2000/eurocode2.htm)
- 6.- Norma UNE 127.010. Ensayos Dimensionales según Norma UNE 127.010 en Tubos de Hormigón Armado Norma española