

hierro en condición de metal blanco se oxida en muy poco tiempo, especialmente en el ambiente húmedo tropical. Como protección pueden emplearse washprimers o una pintura epóxica sin solvente (high-build) la que se espolvorea con arena --- mientras está fresca, lechadas de cemento preparadas con un latex acrílico o con una solución alcalina como aditivos. Los álcalis aceleran el fraguado y constituyen una excelente protección al acero contra la carbonatación.

La sustitución del concreto.--- El concreto nuevo puede ser concreto lanzado o Gunito o concreto vaciado de manera convencional (Fig. 13). Su composición deberá ser similar a la del concreto original, con el fin de obtener un comportamiento térmico y propiedades de transmisión de vapor que no sean muy diferentes de las del concreto base. El uso de un adhesivo entre el concreto viejo y el nuevo es altamente recomendable. Estos materiales, además de ser excelentes adhesivos protegen al acero de refuerzo contra la corrosión, en Fig. 9 -- muestra el recubrimiento que puede ser a base de epoxy o de latex acrílico. Para la reparación de concreto bajo agua, se emplea a veces concreto de agregados precompactados, especialmente cuando hay que reforzar una estructura. La Fig. 10 muestra la sustitución del concreto esquemáticamente.

Concreto lanzado.--- Puede ser Shotcrete o Gunito según sea el tamaño máximo del agregado y éste, a su vez depende del espesor que ha de aplicarse. El concreto lanzado tiene ventajas importantes: no requiere encofrados, la compactación es muy buena y la adherencia es excelente y todos los espacios pueden llenarse completamente. Entre las desventajas están: un rebote del 15 al 30% que no puede reincorporarse a la mezcla y constituye una pérdida, el sistema húmedo da menos rebote que el sistema seco, el acabado superficial de mezclas lanzadas es áspero y puede traer problemas donde haya que aplicar un tratamiento superficial, es difícil conformar el relleno a la forma del elemento original, las áreas críticas son por detrás de los aceros de refuerzo y en los bordes se requieren operadores con experiencia, el acceso es muchas veces limitado e insuficiente para el equipo. Cuando se precisan probetas para determinar la resistencia a la compresión, éstas deberán cortarse con taladro de una masa de concreto lanzada a un cajón de madera de un tamaño regular (p. ej. 1.0 x 1.0 m) y suficiente profundidad (p. ej. 40 cm) con paredes inclinadas a 45°, debidamente curada. En aplicaciones sobre cabeza es conveniente emplear aditivos acelerantes o mezclas pre-dosificadas y aceleradas.

Concreto convencional.--- Se requieren encofrados, hechos y ajustados en obra. La composición del concreto colocado es más uniforme que la de concreto lanzado y, cuando se emplea alguno de los aditivos superplastificantes modernos, la relación A/C será más baja, en el orden de 0.38 con una trabajabilidad excelente. El acabado superficial será liso, que es conveniente para la aplicación de un tratamiento posterior. Las dimensiones del elemento original pueden reconstruirse con facilidad (ver Fig. 13). La desventaja más notable del vaciado convencional es que el espacio superior si se encuentra debajo de una viga o losa, no puede llenarse totalmente por gravedad. Estos espacios deben rellenarse posteriormente al vaciado mediante inyección de resina epoxy como se muestra en las Figs. 14 y 15.

Mezclas aplicadas a mano.--- Se emplean frecuentemente en reparaciones menores donde se aplican capas delgadas. Para compensar el alto contenido de cemento de estos morteros, se suele emplear latex acrílico como aditivo que aumenta la resistencia a la flexión y a la formación de grietas, así como adhesivo. Es importante que el concreto base esté saturado de agua antes de aplicar el mortero. La saturación de un concreto viejo con agua requiere tiempo: 24 horas es normal, lo cual puede ser un problema en áreas donde escasea el agua. Sin embargo, es indispensable para lograr resultados satisfactorios. El tamaño máximo del agregado deberá ser lo que pasa por la malla No. 4. Se aplicará primero un lechada de cemento preparada con el latex diluido 1:2 en agua, como fondo sobre la superficie limpia y húmeda. La primera capa del mortero (1 parte de cemento con 2 partes de arena por volumen) tendrá un espesor de no mayor de 20-25 mm. Las capas siguientes deberán tener un contenido de cemento menor. Todo mortero deberá prepararse con la solución del latex acrílico.

La importancia del curado.--- El mortero aplicado en capas delgadas donde el volumen es pequeño en relación a la superficie expuesta, requiere un curado cuidadoso. El aditivo de latex acrílico no retiene suficiente agua por sí sólo, sino requiere la aplicación de un compuesto curador, inmediatamente después de haber acabado el mortero. Es necesario verificar la compatibilidad del curador con el tratamiento superficial que haya que aplicar después. Algunos productos utilizados como tratamiento superficial también funcionan como curadores. Recubrimientos epóxicos, insensibles al agua y soluciones de resinas de estireno-butadieno son materiales que llenan ambas funciones.

Reparaciones con mortero epóxico.--- Donde se requieren resistencias altas a temprana edad y los volúmenes son relativamente pequeños, los morteros hechos con resinas epóxicas son apropiados. Hay que tener en cuenta, sin embargo que, mientras los morteros a base de cemento "respiran", los morteros de epoxy no lo hacen. Un mortero compacto de polímeros como los epoxy tiene una alta resistencia a la transmisión de vapor de agua. Si el concreto base contiene humedad y el mortero se calienta con la luz del sol directo, se puede desprender, --- llevando consigo parte del concreto. Además, su comportamiento térmico es distinto al del concreto base, especialmente con alto contenido de resina. Con el fin de obtener un coeficiente de expansión y contracción térmicos parecido, es necesario emplear la máxima proporción de inerte, pero sin sacrificar el grado de compactación. Proporciones de 6-8 partes de arena por 1 parte de resina son normales. La granulometría del agregado deberá ser continua para máxima densidad y óptima compactación con poca resina. La arena deberá estar seca, de preferencia cuarzo secado al horno. Su tamaño máximo dependerá del espesor que se tenga que aplicar. La reducción del espesor a cero deberá evitarse. El contacto con la superficie adyacente deberá ser el ángulo recto con un espesor mínimo de 3 mm. Morteros con alto contenido de arena requieren la aplicación de un aparejador (primer) con el fin de conseguir una buena adherencia. El aparejador es normalmente el compuesto epoxy puro. Este deberá estar pegajoso cuando se aplique el mortero. La Tabla 6 enumera los puntos más importantes de reparaciones con morteros epóxicos. Los morteros fluidos, con mucha resina y poco inerte podrán emplearse para rellenar cavidades grandes y nidos de piedras, mediante encofrados. Los moldes deberán recubrirse con películas de polietileno, cuando son de madera. Moldes metálicos pueden ser tratados con grasa común que actúa como

G.W. Geymayr*

desmoldante. Para vaciados grandes es necesario seleccionar un compuesto epóxico de reacción lenta que produce menos calor de reacción, o se puede recurrir a vaciados escalonados, en capas delgadas, con el fin de evitar un calentamiento excesivo y posibles rajaduras durante el enfriamiento. Por lo general, los morteros con alto porcentaje de resina no deben emplearse en lugares donde están expuestos a cambios grandes y rápidos de temperatura. Como en el caso de vaciados convencionales con concreto, los espacios superiores no pueden llenarse por gravedad cuando no hay acceso. Estos espacios deberán inyectarse posteriormente como ya se mencionó. Las ventajas de los morteros con resina epoxy son: la alta resistencia mecánica, adherencia extraordinaria, retracción mínima y resistencia química, frecuentemente justifican su empleo, a pesar del costo elevado. Esto es especialmente cierto en el caso de reparaciones bajo agua.

Reparaciones en las zonas de oleaje, mareas y bajo agua.— Hay una serie de materiales que pueden usarse para trabajos de esta clase. El concreto hecho con agregados pre-compactados es una buena solución. Para sustituir concreto sub-acuático desarrollado por el grupo Sibó en Alemania es otra posibilidad. Para taponear huecos se pueden emplear pasta de cemento o mortero de fraguado rápido o pastas a base de resina epoxy como el Scooba-Goo. Los pilotes de concreto pueden ser forrados con moldes de polyester o mangas de polyetileno y el espacio entre molde y concreto puede ser inyectado con lechada de cemento, un compuesto líquido de epoxy o con una combinación de ambos. También se utiliza tela de vidrio cubierta de epoxy pastoso para forrar los pilotes.

Compuesto epóxico fluido, de alta densidad.— Está en uso desde hace 5 años para recubrir pilotes en el mar. El sistema fue desarrollado en la refinería de Maraven, en la península de Paraguaná, Venezuela, en colaboración con su departamento de mantenimiento, especialmente con el ingeniero Sr. Enrique Rivero, quien supervisó las primeras pruebas en 1975. Desde ese entonces los pilotes de 4 muelles han sido protegidos según este sistema.

Detalles del "Sistema Maraven" para la protección de pilotes.— Como en todos los trabajos de reparación, es importante preparar la superficie debidamente. Deberán eliminarse concreciones marinas y las partes sueltas del concreto mediante métodos mecánicos adecuados, como cinceles, escarificadores, raspados. Chorro de arena y agua a alta presión también han sido utilizados. Se revisará el acero de refuerzo y se restaurará donde sea necesario, de acuerdo con los detalles dados anteriormente. Los moldes serán de metal y recuperables. Se colocan los moldes y se sellan las juntas con tiras de hule espuma. Se aplica grasa común como desmoldante, previa colocación, teniendo un cuidado extremo de no ensuciar el concreto con la grasa. El espacio entre molde y concreto será de 15 a 20 mm. Se llena este espacio con un compuesto epóxico de consistencia fluida y con una densidad de 2 kg/lt. El material se deposita en el fondo del molde y gradualmente desplaza el agua, penetrando en cada grieta y oquedad que haya en la superficie del concreto, envolviendo el acero y anclándose en contacto íntimo con el pilote. La Fig. 23 muestra un corte a través de un cilindro de ensaye de concreto ya roto, que fue tratado de la manera descrita en el laboratorio. Se hicieron dos cortes radiales y se desprendió una parte para mostrar la buena adherencia del epoxy, incluso bajo agua. El compuesto tiene una vida en el reci-

G.W. Geymayr

piente una vez listo para aplicarse, suficientemente larga de unos 45 min. y desarrolla una resistencia a la compresión de unos 40 N/mm² en un día, y unos 60 N/mm² a los 3 días. La proporción de mezcla es 1:1 en volumen. Agregados especiales de alta densidad complementan la resina epoxy para formar un mortero fluido, o los inertes pueden ser incorporados en planta. Se quitan los moldes después de un día y se vuelven a usar.

Inicialmente se trataron 2 pilotes del muelle No. 4. Las Figs. 24 y 25 muestran la condición original del concreto deteriorado. La limpieza se hizo en este ensaye con cepillo de acero (Fig. 26). El molde metálico fue colocado como se muestra en la Fig. 27 y el vaciado se logró hacer en unos 10 min. (Fig. 28). Se quitó el molde (Fig. 29) y el aspecto final del pilote se aprecia en las Figs. 30 y 31. El Ing. Rivero decidió observar el comportamiento del recubrimiento durante un año. Al final de este período no había prácticamente ninguna concreción marina ni grietas u otros defectos. Se decidió entonces ampliar el ensaye a 32 pilotes. Cuando los ingenieros vieron con qué facilidad el contratista, sin experiencia previa, pudo realizar la obra, decidieron incluir el total de 160 pilotes de este muelle en el programa, en vez de emplear el método de los agregados pre-compactados e inyección de mortero de cemento. La Fig. 32 muestra el muelle No. 4 después de la terminación de la obra en 1976. A pesar del volumen grande de mortero epóxico, el sistema es económico, ya que es rápido y seguro y porque se requiere un tiempo mínimo de los buzos cuyo costo suele ser muy elevado. Los pilotes se protegen normalmente desde 50 cm debajo del nivel de agua más bajo, hasta 50 cm encima del nivel de agua más alto. Los resultados satisfactorios obtenidos en el muelle No. 4 originaron la restauración de otros 3 muelles de la misma refinería. Desde entonces, el mismo sistema ha sido utilizado para reparar pilotes nuevos que han sufrido algún daño mecánico bajo agua. En la compañía Venterminals en Puerto Cabello se hicieron reparaciones a 8 m de profundidad sin ningún problema. Durante el hincado de algunos de los pilotes, partes del concreto se había fracturado y caído, exponiendo el acero a la acción corrosiva del agua de mar. Se construyeron moldes en forma de anillos metálicos alrededor de las partes afectadas, y se vació el compuesto epóxico, premezclado en el muelle. El buzo bajó y simplemente llenó el molde hasta que rebalsara. A los pocos días se quitaron los moldes y se examinaron los vaciados. El buzo trató de desprender el epoxy endurecido, sin éxito, ya que éste había penetrado a todos los espacios envolviendo el acero y anclándose en la profundidad de la falla.

LA PROTECCION DEL CONCRETO

El propósito de la protección del concreto es reducir o eliminar la entrada de agua de mar y obstruir la migración de aire a través del concreto. El agua de lluvia en zonas industriales suele estar contaminada con agentes corrosivos como SO₂, SO₃, NO, NO₂ de la combustión y puede tener una acidez tan alta que el pH es de 3 a 4. Durante la inspección del muelle de Corpoven en El Palito, Venezuela, se observó una zona determinada donde no había ninguna huella de corrosión, mientras el resto de la estructura estaba en condiciones de corrosión avanzada. Era la zona donde se descarga el crudo. Los derrames normales de la

operación de descarga fueron suficientes para proteger el concreto durante más de 20 años.

2 Tipos de Tratamientos Superficiales.

El concreto es un material poroso y debe estar en condiciones de poder "respirar", es decir, las presiones internas que se forman debido a la expansión del aire y de vapor de agua dentro del concreto por el calentamiento ambiental, deben poder disiparse hacia el exterior, a través del material que se aplique como protección superficial.

Recubrimientos permeables al vapor. - Son aquéllos que permiten la disipación de vapor de agua hacia el exterior. La Tabla 7 enumera materiales de esta clase. Estos se pueden aplicar en superficies expuestas a grandes y rápidos cambios de temperatura, que se refieren a áreas encima del nivel de agua, en las partes superiores de una estructura, parapetos, losas, muros, etc.

Recubrimientos herméticos son aquéllos con una resistencia elevada a la transmisión de vapor (Tabla 7). Estos materiales pueden aplicarse en áreas no expuestas, como debajo de los tableros de muelles y en las zonas de oleaje y mareas y, desde luego, bajo agua. La Fig. 17 muestra lo que ocurre en un bloque de concreto parcialmente sumergido y protegido debidamente y la Fig. 18 muestra algunas aplicaciones típicas en un muelle. El comportamiento de cualquier tratamiento superficial depende más que nada de si el material queda permanentemente en su sitio. Un recubrimiento del tipo "barrera de vapor", aplicado en una zona equivocada, puede desprenderse por la presión de vapor de atrás, por excelente que sea su adherencia, ya que suele caer con parte del concreto, cerca de la superficie donde la resistencia del concreto es inherentemente baja. Los tratamientos superficiales son muy efectivos para extender la vida de una estructura en ambiente marino. Para obtener una eficiencia óptima, deben ser renovados periódicamente. Finalmente, un recubrimiento tipo barrera de vapor no debe aplicarse nunca en todos los lados de un concreto, es decir, el concreto no debe estar encapsulado.

CONCLUSION

El ambiente marino tropical es muy parecido a todos los ambientes marinos, pero las condiciones son más críticas.

G.W. Geymayr

Tabla 1.- Cómo extender la vida de Concreto Armado en Ambientes Marinos Tropicales.

MEDIDAS OBLIGADAS

- 1.- Emplear los mejores agregados disponibles (granulometría, sin exceso de finos, sin arcilla, sin sal).
- 2.- Relación A/C = 0.45 máxima.
- 3.- Recubrimiento de acero entre 4 y 5 cm.
- 4.- Aplicación de algún tratamiento superficial.

MEDIDAS OPCIONALES

- 5.- El empleo de acero galvanizado o recubierto (epoxy, lechada de cemento con latex o álcali) el empleo del 2% de Nitrito de Calcio sobre cemento para volver pasivo el acero.
- 6.- Protección catódica del acero de refuerzo.
- 7.- Donde las consideraciones estructurales lo permitan, la eliminación del acero y el empleo de fibras de vidrio o de acero inoxidable.

Tabla 2.- Problemas Típicos Tropicales

- 1.- **LOS AGREGADOS:** Los agregados de río escasean. Los agregados de minas están contaminados con arcilla. El empleo de arena de playa es frecuente y peligroso por la contaminación con sal. El módulo de finura es bajo (a veces 2 ó menos). El lavado de los agregados es normalmente imposible o demasiado costoso.
- 2.- **EL CALOR:** El calor aumenta la demanda de agua, acelera la pérdida de plasticidad y el fraguado y aumenta la demanda de cemento para una relación A/C determinada. El calor causa la retracción en estado plástico (grietas).
- 3.- **LA HUMEDAD:** El cemento almacenado se deteriora más pronto y el cemento parcialmente hidratado produce resistencias bajas. Se acelera la corrosión del acero.
- 4.- **LA MANO DE OBRA:** El calor y la humedad lleva a la ineficiencia del personal. El descuido es una amenaza constante. La lejanía de algunos sitios de obra no es atractiva para el personal calificado.

- Epoxy, masas libres de solventes.
- Pinturas de epoxy.
- Recubrimientos bituminosos y de alquitrán.
- Morteros de epoxy u otros polímeros.
- Soluciones de resinas.
- Polyester