

**TORRES DE TIRO NATURAL**



**1-ANTECEDENTES**

Las Torres de Tiro Natural son estructuras de hormigón extraordinariamente esbeltas. La dificultad en la colocación de sus armaduras, unida a una ejecución en ocasiones no demasiado cuidada, hace que muchas de ellas, a partir de los 10 a 15 años de vida empiecen a mostrar deterioros superficiales. El primer síntoma lo constituye la caída de lajas de hormigón, que pueden llegar a comprometer la seguridad del personal que transita bajo la Torre. Cuando una laja se desprende, bajo ella aparecen armaduras con evidencias de corrosión. (Fig.1)



Fig.1. Corrosión de armaduras y estallido del hormigón circundante.

Una vez observados los primeros síntomas, en poco tiempo el fenómeno, cuyo avance no es lineal, sino geométrico, se va generalizando. (Fig.2). Una corrosión tan extendida puede comprometer seriamente la seguridad de la propia estructura.

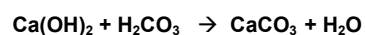


Fig.2. Aspecto de la lámina de un paramento cuando la corrosión de las armaduras se ha generalizado.

Desgraciadamente, antes de que se produzca una manifestación tan explícita de daños, éstos pueden irse produciendo, durante años, de forma más o menos larvada, mostrando síntomas mucho menos alarmantes. Cuanto antes se detecte esta patología, y antes se intervenga, mucho menores serán los costes de la actuación.

**2- LA CARBONATACIÓN Y CORROSIÓN DE LAS ARMADURAS.**

El hormigón, una vez endurecido tiene un alto pH, que se suele situar entorno a 13,5. Se debe fundamentalmente a la presencia de hidróxido cálcico. Al ser el hormigón un material poroso, el CO<sub>2</sub> del aire puede penetrar hacia su interior, formando ácido carbónico en combinación con agua. Allí se produce una reacción química con el hidróxido cálcico, que en términos muy simples puede describirse como:



Dado que es el Ca(OH)<sub>2</sub> el que, esencialmente desarrolla y mantiene el elevado valor del pH del hormigón, al transformarse en carbonato, hace disminuir, obviamente el pH de aquél. Como consecuencia de lo anterior, se produce un fenómeno conocido como carbonatación, positivo para el hormigón, ya que al formarse depósitos de carbonatos duros rellenan porosidades, se consigue un doble fenómeno: en primer lugar se logra una mayor dureza, y en segundo se cierra la red de poros abiertos, reduciendo la permeabilidad.

Sin embargo, la carbonatación, al ir acompañada de una reducción del pH, tiene un efecto perverso sobre las armaduras. Efectivamente, en términos generales, una armadura cuando el pH del medio no baja de 10 se encuentra en zona de pasividad, lo que significa que el acero, en esta zona, crea una fina capa de óxido estable, de pocas micras de espesor, que actúa como defensa del acero, evitando su corrosión.(Fig.3)

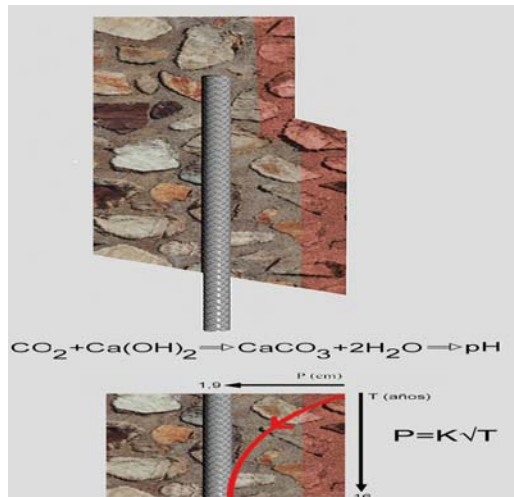


Fig.3. Expresión analítica del fenómeno de carbonatación y ley de avance del frente en función del tiempo.

Por debajo de esos valores de pH, y dependiendo de la humedad del entorno del armado, se entra en zona de corrosión. El óxido pasivante no es estable, se destruye fácilmente, lo que permite el avance de la corrosión. Los productos de corrosión que se forman, pueden tener hasta 10 veces el volumen inicial del hierro, lo que provoca fuertes tensiones internas en el hormigón, que dan lugar a fisuraciones y desprendimientos de lajas, síntomas que se indicaron en el apartado 1º. (Fig.4)

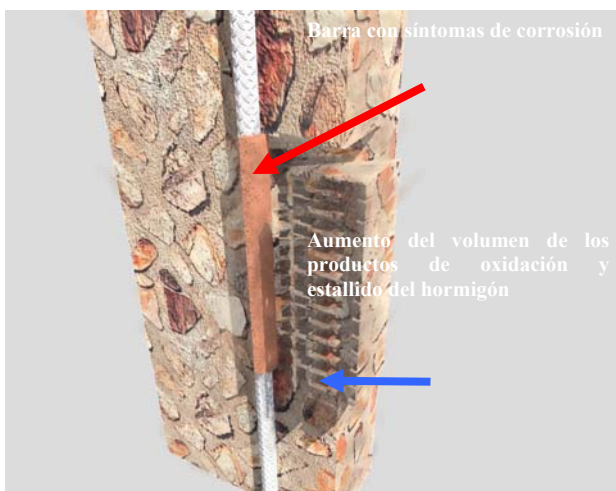


Fig.4. Corrosión de la armadura y estallido de lajas de hormigón.

### 3-DIAGNÓSTICO Y ESPECIFICACIÓN.

Una vez aparecidos los primeros síntomas es necesario hacer un análisis de la situación de la Torre y evaluar la extensión e intensidad de las armaduras afectadas. Para ello HCC cuenta con métodos propios como el sistema Crack View, que, mediante técnicas de videogrametría a distancia y sofisticados programas informáticos, permite hacer una evaluación del estado de una estructura, así como previsiones razonables sobre su evolución en el tiempo. (Fig.5)



Fig.5. Detección de zona afectada, mediante el sistema Crack-View, a una distancia de 200 metros.

La investigación se complementa con toma de probetas y mediciones in situ, ensayos de laboratorio y muestreo de potenciales e índices de corrosión de las armaduras. Con ese conjunto de información, y, a partir de la información disponible en nuestros bancos de datos, se puede evaluar económicamente el mejor momento para intervenir. HCC también realiza el proyecto de reparación, poniendo especial énfasis en la redacción de los pliegos de condiciones de los materiales. HCC no está vinculada a ningún fabricante, por lo que selecciona en el mercado, aquellos, que en cada caso concreto, proporcionan la mejor solución. En nuestras propuestas, como ocurre en el caso de las Torres de Tiro Natural de Cofrentes, los materiales empleados son de fabricantes distintos, pero, obviamente garantizando la compatibilidad entre ellos. Entendemos que dejar en manos de los fabricantes de materiales de reparación la diagnosis, evaluación de riesgos y redacción de las especificaciones, puede llevar situaciones no deseables. (Fig. 6)



Fig.6. Aspecto de una Torre tras una reparación de 15 años. El 85% de los parches ejecutados con un determinado mortero, se desprenden. Todo el proceso se dejó en manos de un fabricante de productos de reparación.

Las características de los materiales de reparación que aparecen en las fichas técnicas se refieren a ensayos estándar realizados en condiciones ideales de laboratorio. Las condiciones tanto de aplicación como de servicio, pueden ser consideradas como extraordinarias y en algunos casos, extremas. Es imprescindible diseñar y llevar a cabo ensayos de evaluación, a gran escala, que reproduzcan las condiciones de las Torres. En la Fig. 7 se aprecia el arrancamiento por esfuerzos de pelado de la pintura prevista para el recubrimiento de una Torre.



Fig.7. Ejemplo de especificación inadecuada de pintura para una Torre, aconsejada por un fabricante. La ejecución de ensayos no normalizados, pero significativos de las condiciones de trabajo, permitió cambiar la especificación.

Las altas temperaturas a las que se pueden llegar a aplicar los morteros de reparación en este tipo de obras unidas a las dificultades para conseguir un correcto curado, pueden ser decisivas a la hora de elegir el material.

## 4-EJECUCIÓN DE LA REPARACIÓN.

El proceso de reparación consta de las siguientes fases:

- Determinación ocular y por golpeo generalizado y sistemático, y posterior marcado de las zonas a tratar. (Fig.8)



Fig.8. Marcado y fotografiado previo de las zonas a tratar. La foto es posteriormente incluida en una base de datos que asegurará la trazabilidad del proceso.

- Saneo del hormigón en mal estado y eliminación de la corrosión de las armaduras.

Las zonas antes marcadas son sometidas a una primera pasada con chorro de agua a 800 bar, que va a permitir ampliar la zona a sanear. Una vez que se comprueba que la zona es estable a esa presión, se aumenta hasta 2.000 bar, con objeto de llegar a hormigón totalmente sano y eliminar cualquier traza de corrosión de los armados. Las técnicas de hidrodemolición a alta presión son totalmente imprescindibles en este tipo de trabajos.



Fig.9. Zona saneada y barras ya tratadas con pasivante azul cobalto.

- Regenerado de la estructura mediante mortero.

El parcheado de las zonas saneadas tiene el doble objetivo de recuperar la geometría perdida y dotar a la armadura de un recubrimiento suficiente. Esta última función ha de prevalecer sobre la anterior. El mortero es hidráulico, aditivado con diversos polímeros, que le dotan de baja porosidad, alta capacidad de agarre al soporte, elevadas características mecánicas desde las primeras horas y retracción compensada. (Fig.10)

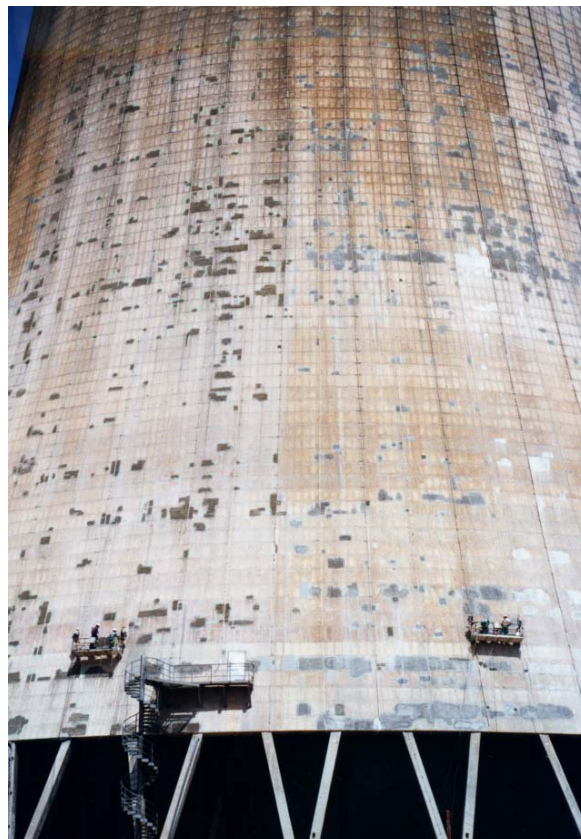


Fig.10. Aspecto de la regeneración de la Torre Este de CN Cofrentes. (Junio 2003). Más de 4.000 parches realizados.

- Tratamiento generalizado anticarbonatación.

Como complemento a lo anterior se aplica un revestimiento generalizado para prevenir la carbonatación en las superficies no tratadas, y mejorar el aspecto estético del conjunto. Se aplican dos capas de resinas acrílicas, cada una de un color, hasta conseguir un consumo medio de 800 gr/m<sup>2</sup>. La aplicación es mediante un sistema especial de airless, de alta presión y boquillas de elevado caudal y baja dispersión, que permite realizar el trabajo, aun con vientos de cierta importancia, sin pérdidas apreciables.(Fig.11)

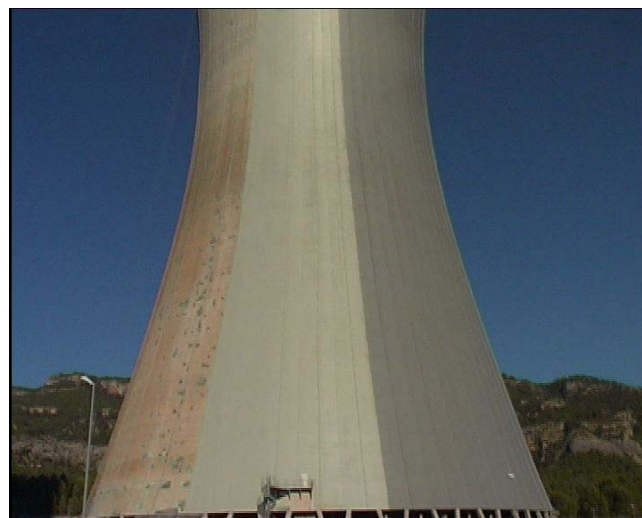


Fig.11. Aplicación de tratamiento anticarbonatación en 2 capas de colores diferentes, mediante airless antiviento.

## 5-HIDRODEMOLICIÓN.

La técnica de hidrodemolición aplicada en este caso, merece una atención especial. Tradicionalmente el saneo de estructuras se ha venido haciendo por medios mecánicos, esencialmente martillo picador para la remoción del hormigón y chorro de arena o cepillo para la eliminación de la corrosión. (Fig.12)



*Fig.12. Picado de hormigón y del acero mediante medios mecánicos. Cada vez que el martillo golpea la armadura, se produce un quebranto en la adherencia entre ésta y el hormigón circundante. Además el puntero induce una fisuración en el hormigón que reduce considerablemente su capacidad de soporte para el mortero de reparación.*

Sin embargo, las técnicas de hidrodemolición, siempre que se lleguen a alcanzar los 2.000 bar, logran una remoción selectiva del hormigón más débil, al tiempo que eliminan la corrosión de las barras, incluso por las zonas no expuestas. (Fig.13 y 14.)



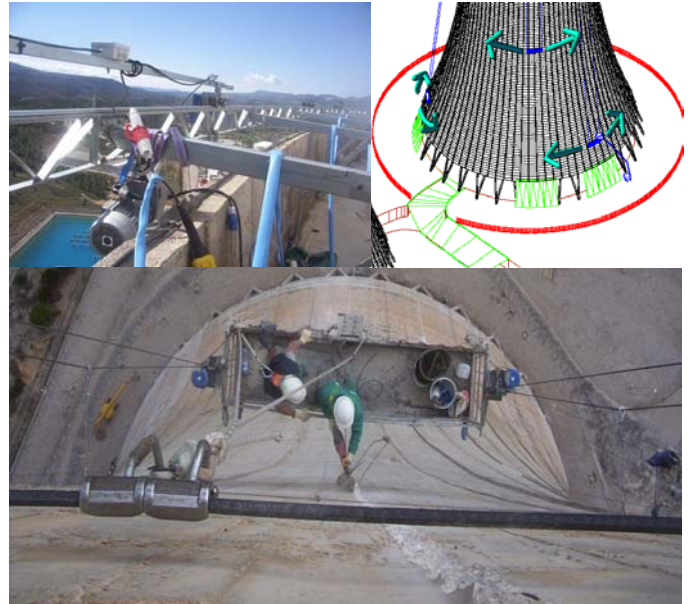
*Fig.13. Resultado de la aplicación de la hidrodemolición a una zona dañada*



*Fig.14. Primer plano de la bomba trabajando en CN Cofrentes.*

## 6-MEDIOS DE ELEVACIÓN.

En las Torres de Tiro Natural de Cofrentes se trabaja en ambas torres a la vez. Se ha diseñado un sistema de elevación que permite acceder con seguridad, facilidad y rapidez a cualquier punto de la lámina. (Fig.15). Para ello, se dispone de un carril superior en todo el perímetro superior la Torre, del que penden 5 andamios motorizados, en horizontal y en vertical, con capacidad para dos personas, más carga de maquinaria y materiales.



*Fig.15. Andamio circulando sobre la lámina. Esquema de movilidad. Detalle del carril de coronación y motor de desplazamiento horizontal.*

## 7-CONCLUSIONES.

HCC ha puesto a punto un sistema de diagnóstico, evaluación, proyecto y ejecución de reparaciones extraordinariamente eficaz. Cuanto antes se evalúen daños e intervenga sobre una estructura, menores serán los costes de la actuación.

**Prevenir suele resultar, al menos, 5 veces más económico que reparar.**

[www.hcc-es.com](http://www.hcc-es.com)

Avda. Euskadi 5. 28917 Leganés. Madrid  
Telf. 916108506. Fax: 916107827

Dpto. Comercial: [virginia@hcc-es.com](mailto:virginia@hcc-es.com)

ISO 9001  
ISO 14001  
OHSAS 18001  
BUREAU VERITAS  
Certification



**WJTA**  
WaterJet Technology  
Association