

Degradación en losa de hormigón en unidad Coker: inspección, control y mantenimiento

Por **José Massano** (Raízen Argentina)

Este trabajo es el resultado de un proceso de inspección, análisis técnico, gestión del riesgo, desarrollo de ingeniería específica y ejecución para lograr la resolución de un problema estructural complejo detectado en la losa de soporte de las cámaras de corte del Coker.

El objetivo de este documento es explicar cómo se logró resolver un problema estructural complejo, que surgió a causa de la degradación de una losa de hormigón armado, la cual soporta las cámaras de corte de la unidad Coker de la refinería Buenos Aires.

Con el fin de mostrar un panorama completo, se comienza con una cronología de los hechos sucedidos.

En 2018, se realizó una Inspección General de la unidad de Coker, perteneciente al sector de Craqueo Térmico.

Básicamente en las unidades de Craqueo Térmico se obtienen fracciones más livianas a partir de *short residue*, mediante reacciones de craqueo. El parámetro que define las reacciones de craqueo térmico es la severidad (condiciones de presión y temperatura) a la que se realizan. En el Coker, la severidad es mayor, obteniendo mayores rendimientos en productos livianos, pero generando carbón coke.

Durante la IG (Inspección General) se realizan todo tipo de tareas para darle la confiabilidad que la unidad requiere para alcanzar una nueva corrida hasta la próxima intervención. Por lo tanto, en la mayoría de los casos se ejecutan trabajos que no se pueden llevar adelante con la unidad en servicio.

En este caso de estudio, en noviembre de 2018, durante la parada de planta Coker por Inspección General en la ejecución del trabajo de renovación de lanza de corte de la cámara V-101B, se detectó una gran desalineación entre la estructura de la lanza y la cámara en el nivel +68.00. Esta significativa diferencia haría que el corte se ejecutase descentrado, lo cual puede poner en riesgo el proceso e incluso algunos equipos.

La cámara de corte taggeada V101B tiene una pollera metálica de apoyo que transmite todo su peso sobre una losa de hormigón armado de 1780 mm de espesor. A su

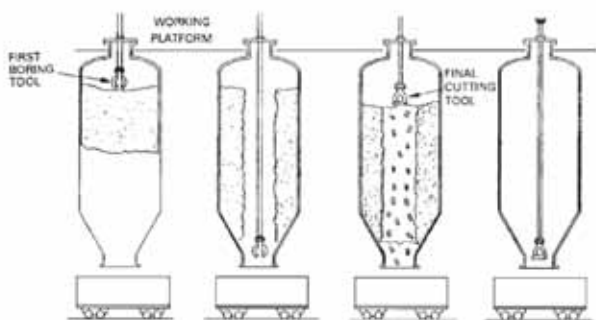


Figura 1. Esquema simplificado de corte en cámara.

vez, se vincula a ella por medio de 12 anclajes distribuidos radialmente y equidistantes.

La descarga del producto hacia los silos es a través de un cono inferior a la cámara que atraviesa la losa por un hueco con forma de octógono (Figura 1).

En la figura 2 se observa una vista en corte de nuestra cámara de corte, en el que se puede ver la pollera de apoyo, la válvula inferior, la losa de H²A° (Hormigón Armado) y el hueco que se forma.

A raíz de la falta de alineación detectada, se decidió retirar aislación y despejar la zona del apoyo, en el nivel +42.70, para inspeccionar si en ese sector teníamos problemas que pudieran dar con la inclinación de la cámara.

En base a las inspecciones que se realizaron desde

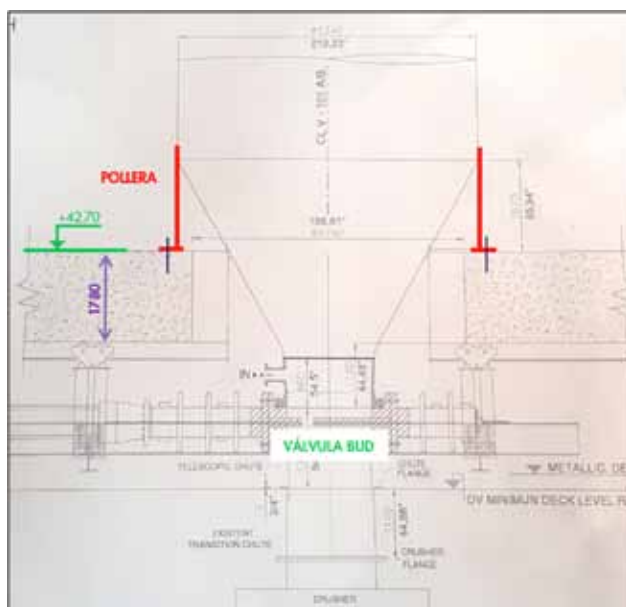


Figura 2. Vista en corte de la cámara V101A/B.

los diferentes niveles de la losa, más precisamente, en el sector de apoyo entre la cámara V101B y estructura, se determinó que esta última se encontraba deteriorada y que generaba una inclinación en la cámara.

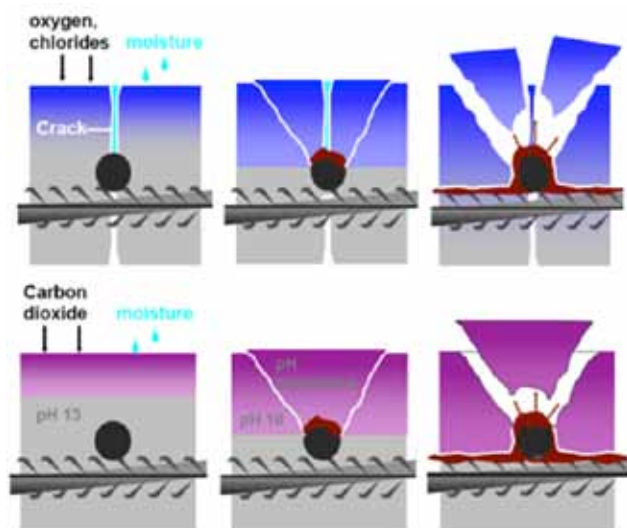


Figura 3. Ilustración del proceso de afectación de las estructuras de hormigón armado.

Se investigó a través de consultas en foros y grupos de la industria si alguna vez había sucedido algo similar en otra planta Coker y se contactó a dos empresas de ingeniería (ambas extranjeras) que habían trabajado alguna vez en casos como este. Especialistas de estas empresas comentaron que la causa raíz del daño en la losa de hormigón es química, debido la combinación del material fino pulverulento del ambiente de la planta, el agua y los ciclos de temperatura (Figura 3).

El deterioro observado resulta más probable en plantas que funcionan con apertura de cámara manual, por lo tanto, este dato dio el indicio de que seguramente la mayor contaminación del hormigón de la losa se produjo antes de la implementación del sistema hidráulico de

apertura y cierre de las válvulas BUD y TUD. Este efecto, una vez iniciado, continuó avanzando exponencialmente en el tiempo.

Todos estos factores aceleraron los procesos que dañaron la estructura y generaron que se deteriorara en los puntos de apoyo de las cámaras y, en consecuencia se pierda la verticalidad de esta.

A partir de este hallazgo, se formó un equipo de trabajo que consiguió reparar la estructura de apoyo de la cámara para volver a tener la unidad en funcionamiento correcto.

Actualmente, el desafío se plantea para ejecutar la reparación de la cámara continua, la cual también se percibió con una degradación avanzada, debido al daño exponencial mencionado.

Este trabajo se centra en el proceso realizado para solucionar la amenaza encontrada en la cámara continua y llevar adelante una reparación exitosa de manera segura, sin afectaciones a la operación de nuestras plantas, pero sin dejar de lado el problema estructural detectado y la ejecución poco convencional que se empleó. Todo inmerso en el complejo marco sanitario, debido a la pandemia, lo cual representó un gran desafío.

Es de destacar el excelente resultado que se obtuvo luego de un trabajo en equipo, que incluyó diversas etapas, en las que participaron actores de distintos sectores, tanto de seguridad, técnico, operativo, económico y de ejecución, entre otros.

Desarrollo

Luego de esta introducción, con el marco de referencia necesario para entender en qué situación nos encontrábamos, se detalla el proceso que llevamos a cabo para

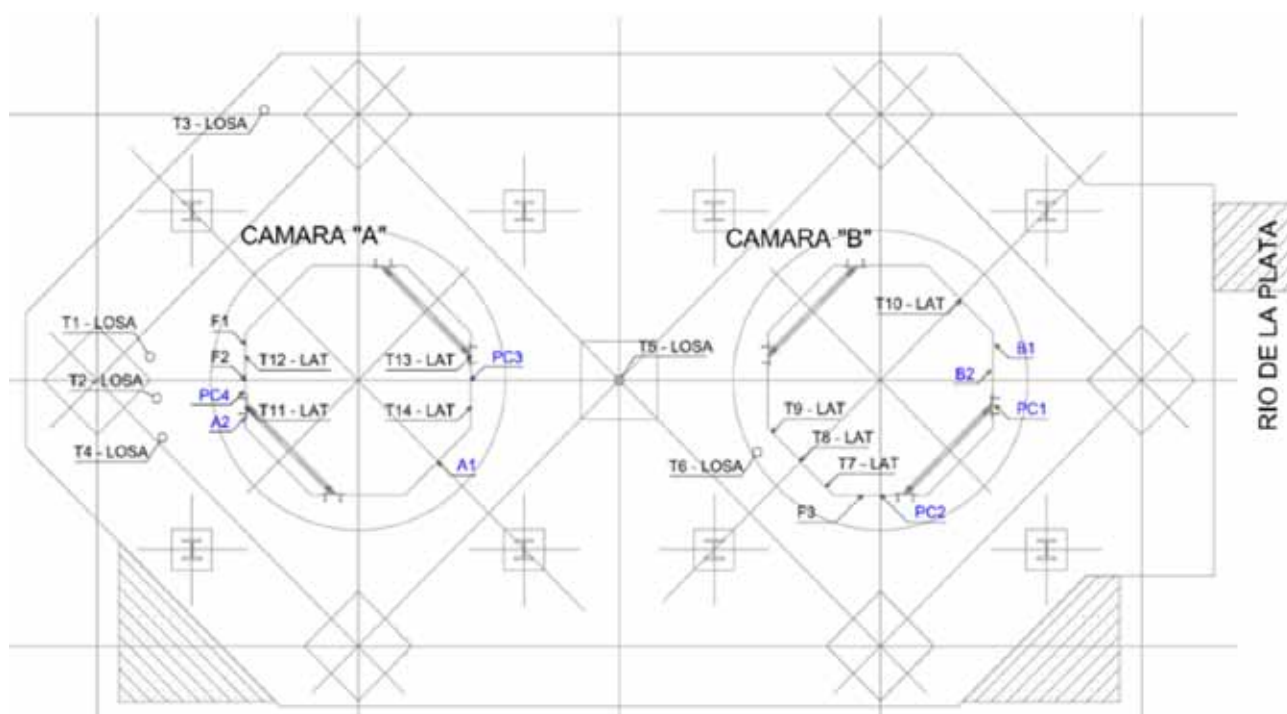


Figura 4. Mapa de muestreo realizado en 2018.

HISTORIA, PRESENTE Y FUTURO

CÓDIGO DE PRODUCTO:
121916131
Borceguí Leñador

Productos genuinos, resistentes, eficaces
y con una excelente relación costo/beneficio
que promueven el desarrollo sustentable.

Síguenos y enterate las últimas novedades:

  pamperousointensivo

www.pampero.com.ar



 **Pampero**

USO INTENSIVO

frenar la degradación en la losa de soporte de la cámara de la unidad Coker.

Para ello nos explayaremos en las aristas principales:

1. Análisis estructural.
2. Inspecciones y análisis técnico de lo observado.
3. Gestión de riesgos y planes de acción.
4. Escenarios posibles.
5. Ejecución.

Análisis estructural

Se tomaron los datos de los ensayos realizados en la estructura de soporte, los cuales se utilizaron para evaluar el estado actual del hormigón y armaduras afectados, se realizaron distintas tareas, estudios en obra y en laboratorio, con el soporte del Instituto Tecnológico del Hormigón (ITH).

Se extrajeron testigos y muestras para la ejecución de ensayos físicos y químicos. Entre ellos:

- Profundidad de carbonatación.
- Ensayo a compresión.
- Análisis químico sobre muestras de hormigón.
- Observación mineralógica y petrográfica.
- Análisis termogravimétrico diferencial comparativo.
- Ensayo a tracción.
- Análisis químico sobre los productos de corrosión de barras de acero (Figura 4).

En esta oportunidad se utilizaron todos los resultados que involucran a la cámara V101 A, los cuales mostraron que, en general, la afectación de la losa debía considerarse localmente intensa en proximidades de las cámaras, neutralizándose a distancias de aproximadamente 0,50 m de sus bordes. Tanto el hormigón como las armaduras ubicadas a distancias menores estaban afectados, en mayor o menor medida, produciéndose en numerosos casos la desintegración total y hasta la desaparición de estos materiales, lo cual dio origen a la falta de sustentación en zonas puntuales de la cámara provocando su inclinación.

Las reducciones de sección en las armaduras que al momento de efectuarse los muestreos se encontraban expuestas o solo parcialmente empotradas, así como la alteración de las capas exteriores de hormigón de los bordes de losa, indicaron la necesidad de su retiro hasta profundidades que aseguren la existencia de un sustrato

sano, firme y resistente, y el posterior reemplazo de esas secciones afectadas.

Con el objetivo de verificar la capacidad portante de la losa apoyo de las cámaras, se realizó un cálculo numérico. Este trabajo fue realizado en conjunto con el ITH.

Se modeló la losa mediante el uso de dos programas de elementos finitos: *SAP 2000 Linear and nonlinear static and dynamic analysis and design of three dimensional structures* y *CYPECAD*. Los datos de entrada fueron tomados de planos y memorias de cálculo de la estructura de hormigón y de la cámara.

En todos los casos las cargas originadas por ambas cámaras se distribuyen sobre el borde de los octógonos de apoyo (Figura 5).

Inspecciones y análisis técnico de lo observado

Con toda esta información, se entendió que debían realizarse inspecciones visuales del estado del sector de apoyo de la pollera de la columna, debido a que la estructura no corría ningún peligro y que la condición de riesgo se estaba dando por el deterioro puntual de la losa de Hormigón Armado.

Se determinó que la frecuencia de las recorridas debía ser mínimamente cada cuatro meses para poder registrar el avance de la degradación y otorgar una estimación de tiempo de operación sin mayores conflictos y, adicionalmente, armar todos los preparativos de la ejecución de esta tarea de gran complejidad.

En cada una de las revisiones se efectuó una recorrida de toda la zona de apoyo de la cámara V101 A, primero desde el nivel de circulación sobre losa (+42,70), luego desde el nivel inferior (+39,00) de la cámara, por sobre la válvula Slide Valve BUD y, por último, en el nivel +68,00 para relevar la ubicación de la lanza en la que se observaban diversos puntos:

- Pernos de anclaje.
- Placa de apoyo y pollera del equipo.
- Anclajes de válvula BUD.
- Superficie de la losa inspección superior.
- Superficie de la losa inspección inferior.
- Paredes interiores del octógono.
- Alineación de la lanza de corte.
- Nivelación de la válvula BUD (Figura 6).

Adicionalmente a los sectores indicados en la figura 6, en el nivel +68,00 se midió la alineación de la lanza de

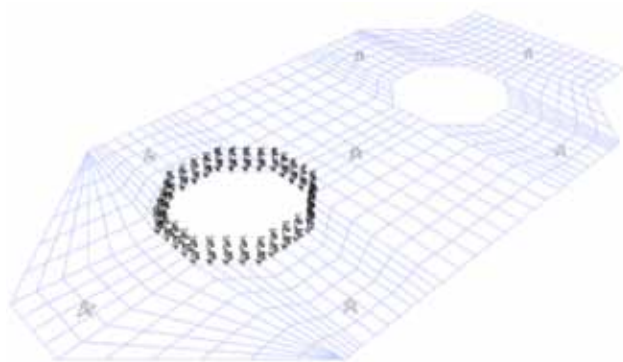


Figura 5. Cargas en programa de elementos finitos.



Figura 6. Ubicación de sectores inspeccionados.



Figura 7. Pared interior de losa de soporte.



Figura 8. Pared interior de losa de soporte.

corte. Cuando realizamos las inspecciones en la parte inferior de la cámara, encontramos un avanzado deterioro de la losa. Había armadura expuesta, deteriorada y desprendimiento de bloques de hormigón. Estas anomalías redujeron la superficie de apoyo. También se detectó una significativa pérdida de espesor por corrosión en sectores de la placa de descanso de la pollera (*annular plate*).

Al observar desde el nivel superior de losa, identificamos grandes deformaciones en el *annular plate*, anclajes desajustados, deformados y cortados.

Debido a este deterioro, se confirmó que la razón de la desalineación hallada se debía a que la cámara ya no se encontraba en su posición original. Para entender el



Figura 9. Pared interior de la losa de soporte.

grado de inclinación de la cámara, relevamos niveles alrededor de la pollera en toda la vuelta, comparándolos con el nivel de diseño. Encontramos que en la zona Noroeste había un importante descenso, de hasta 4 cm en algunos puntos. De estos resultados se desprende la imposibilidad de operar en esta condición sin antes realizar un estudio y análisis del caso.

En el nivel +68 se observó la alineación de la lanza de corte con respecto a la cámara V 101 A.

Se analizó la ubicación de la lanza respecto del centro de la cámara, tomando distancias desde los filos interiores y exteriores en la boca de acceso (Figuras 10 y 11).

Para cada uno de los elementos detallados, se materializó un análisis de criticidad que definió el nivel de daño que cada uno presentaba y se fue consolidando el historial del activo para documentar los avances del proceso de degradación.

El análisis de criticidad está basado en las recomendaciones que brinda Shell y sigue los lineamientos que ellos indican, de modo de obtener resultados que se analizaron bajo el mismo marco de referencia y evitar que interpretaciones personales puedan afectar el resultado final de la inspección (Tabla 1).



Figura 10. Lanza de corte.

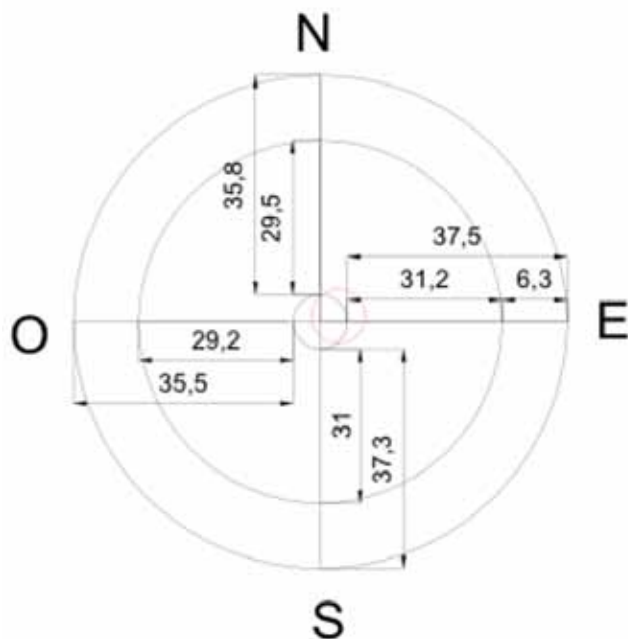


Figura 11. En rojo se señala la ubicación de la lanza de corte.

A partir del historial que se fue generando, se obtuvo un horizonte de ejecución, lo que permitió determinar el grado de avance de la amenaza y así empezar a formalizar los planes de acción y gestión del riesgo.

Planes de acción y gestión del riesgo

Con el objetivo claro de lograr la reparación estructural antes de que se vea afectado algún activo de la unidad, se idearon varios planes de acción para alcanzar nuestra meta. Cada uno de ellos fue presentado desde la especialidad y discutido con los demás sectores de la organización (SSMA, Operaciones, Planificación de Paradas de Planta y Mantenimiento, entre otros). En cada uno de los encuentros con los diversos departamentos se pulió y mejoró el plan, y se gestionó de mejor manera el riesgo.

Finalmente, generamos el plan deseado y aprobado por todo el equipo. En este plan se dividían las tareas por realizar en dos (2) etapas, en la primera se realizaron todas las tareas mecánicas sobre la cámara V101A necesarias para luego realizar las tareas de reparación civil.

Con este plan, cada etapa se desarrolló durante una Parada de Planta de limpieza (IL), las cuales son de menor extensión y complejidad, sin afectar su normal desarrollo, lo cual evitó un incremento en el tiempo de parada de la unidad.

El plan comenzó a ejecutarse en la IL de 2020 y finalizó en la IL 2021, con lo cual a los factores vistos se le suman la afectación que produjo la situación sanitaria que vivimos debido a la pandemia por COVID-19.

Escenarios posibles

Una vez que comenzamos con el plan de acción para la resolución del problema detectado, se tuvo en cuenta que el proceso de degradación explicado era un problema en continuo avance, al que debíamos mirar e inspeccionar para registrar los cambios y evitar que algo nos sorprenda y obligue a cambiar repentinamente el plan de acción. Para ello se desarrollaron diferentes escenarios posibles, desde el ideal y deseado, en el cual seguíamos nuestro plan de acción, hasta la peor condición en la que teníamos que iniciar la reparación inmediatamente y generar una parada no planeada de la unidad.

A modo de resumen, el detalle de los escenarios es el siguiente:

1. Descenso o desalineación repentina de la cámara

Puede suceder que durante la corrida de la unidad se observe un descenso en algún sector de la cámara, debido a la pérdida de capacidad de carga de un punto específico, lo cual indicaría un cambio en la estabilidad de la cámara, en consecuencia, se deberán realizar las reparaciones integrales recomendadas inmediatamente para minimizar los riesgos asociados a la nueva condición de la estructura.

2. Cambio de condición durante inspección cuatrimestral

En este escenario se plantea la idea de que algún elemento o estructura presente un grado de avance mayor al esperado y ponga al equipo en una situación de riesgo en la que no se puedan dilatar las tareas de reparación recomendadas.

3. Avance de degradación controlada

Este es el escenario deseado, en el cual obviamente seguirán avanzando los procesos de degradación de las estructuras y elementos asociados, pero sin aumentar el riesgo actual, de modo que se podrían realizar las reparaciones recomendadas en el corto tiempo, pero dentro de la próxima ventana programada.

Ejecución

Luego del proceso de análisis, que consideramos sumamente enriquecedor, llegamos al punto de ejecución

Referencias		
Daño	Costos de mantenimiento	Actividades de mantenimiento
Mínimo	Bajo costo de mantenimiento.	Investigar los primeros signos de deterioro, establecer la causa de los defectos y llevar a cabo la limpieza preventiva.
Moderado	Medio costo mantenimiento.	Investigar la magnitud de los daños o el deterioro. Realizar las reparaciones puntuales.
Severo	Alto costo mantenimiento.	Investigar el alcance y la causa del daño o deterioro. Reparaciones mayores.
Extremo	Se debe considerar la alternativa de sustituir el sistema.	Reformas importantes.

Tabla 1. Tabla de referencias de daños.

de las tareas. Esta instancia involucró diversos departamentos y contratistas para lograr una reparación efectiva con el uso de métodos poco convencionales.

Se determinó la metodología de reparación, al igual que con la cámara V101-A, se levantó la cámara 12 cm y se mantuvo suspendida de forma segura mientras se ejecutó la reparación civil de la losa para, posteriormente, bajarla a su posición original.

Habiendo estudiado las posibles zonas de empuje, decidimos que lo más seguro era hacerlo desde la envuelta (por encima de la pollera), donde el espesor de la placa brinda un coeficiente de seguridad acorde a la criticidad del trabajo.

Diseñamos seis puntos de empuje simétricos alrededor del cilindro y los materializamos mediante ménsulas que se vinculaban a la envuelta mediante placas soldadas.

Los elementos de elevación estaban conformados por:

- un sistema electrohidráulico de presurización, que constaba de redundancia en su accionamiento hidráulico;
- seis *powers* hidráulicos de capacidad 50 tn;
- un sistema de conexión de mangueras de alta presión.

Una vez asegurados todos los elementos y conexas las mangueras de los *powers* a la central hidráulica, se comenzó con el procedimiento de levantamiento.

Se fue aumentando la carga a través de la presión suministrada a los *powers* en intervalos del 20% de la carga teórica esperada y, entre cada etapa, se dejó un tiempo prudencial de espera para realizar un chequeo visual 360 que garantice la ausencia de anomalías en la estructura.

Una vez elevada, se corrigió la verticalidad de la cámara y se esperó un tiempo para verificar toda la estructura y se chequeó que los dispositivos de elevación estén bien.

Por último, se dejó un set de carga de 80/20, es decir 80% de la carga soportado por el sistema mecánico y el 20% restante sobre la presión hidráulica en los *powers* (Figuras 12 a 16).

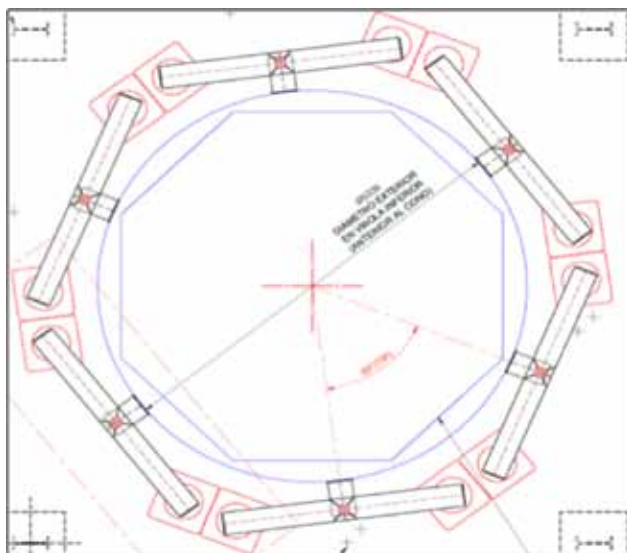


Figura 12. Esquema en planta de la distribución de elementos de elevación.

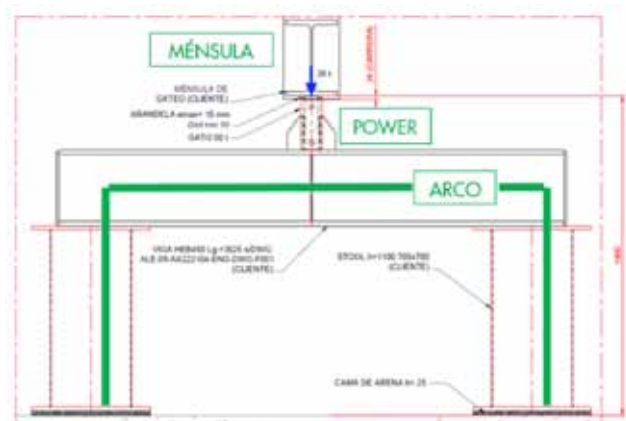


Figura 13. Vista lateral de estructura de soporte de del sistema de elevación.

Se eliminaron las zonas con hormigón en malas condiciones o desprendido, y se delimitaron los sectores mediante cortes horizontales y verticales. Se dejó la superficie firme y lo más plana posible, para aplicar sobre ella los materiales de reparación (Figura 17).

Una vez retirados los anclajes existentes, se posicionaron los 12 nuevos teniendo en cuenta la posición de los anteriores. Se rellenaron de acuerdo al detalle original con vermiculita e impermeabilizante. Se realizó mediante hidroarenado. La superficie del hormigón y de las armaduras expuestas quedó limpia, sana, resistente, libre de cualquier sustancia extraña y suficientemente plana y rugosa, sin oquedades o recovecos de difícil llenado.

Se aplicó recubrimiento anticorrosivo de base cementicia bicomponente modificado con polímeros sobre las armaduras expuestas en dos capas.



Figura 14. Fotografía de sistema de elevación.



Figura 15. Fotografías de sistema de elevación y ménsulas de soporte en la estructura.

Todas las barras nuevas fueron ADN420 de diámetro mínimo 10 mm. Para la armadura vertical se vincularon las nuevas barras mediante un anclaje químico de rápido curado para barras conformadas. Las barras de refuerzo respecto las estructurales con pérdida de sección se vincularon de acuerdo con el detalle de recomendación de abajo (Figura 18).

Se colocó armadura adicional tanto en horizontal como en vertical, también una malla electrosoldada en todas las caras del octógono (Figuras 19 a 21).

Para el hormigonado, se solicitó un hormigón cali-

dad H30 a los tres días. Previamente, se aplicó una imprimación con carácter de puente de adherencia. La metodología de aplicación fue bombear el hormigón desde el mixer en el nivel +0.00 con una bomba pluma de 36 m, a partir de allí un tramo vertical de cañería rígida hasta el nivel de aplicación.

Se realizaron probetas por cada camión mixer a pie de obra y se ensayaron siguiendo los lineamientos del



Figura 16. Fotografía de cámara elevada.



Figura 17. Demolición de hormigón en malas condiciones.

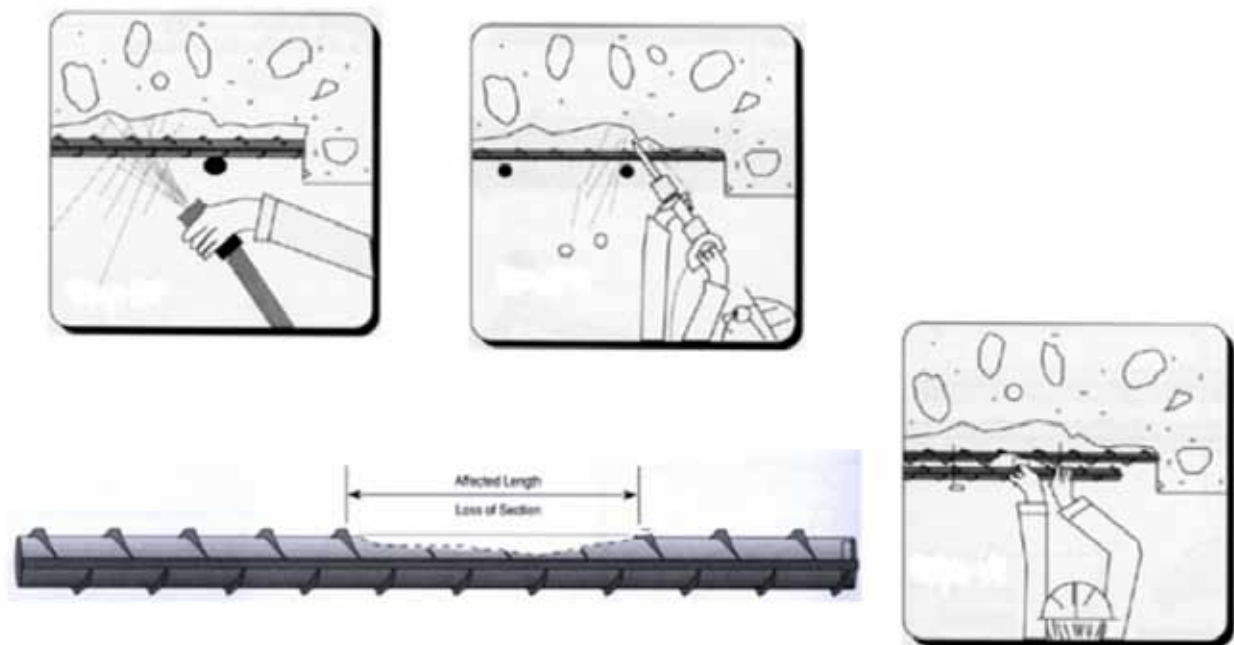


Figura 18. Ilustración de refuerzo de armaduras.



Figura 19. Fotografía desde interior de refuerzo de armaduras y malla.



Figura 21. Fotografía desde exterior de refuerzo de armaduras y malla.



Figura 20. Fotografía desde interior de refuerzo de armaduras y malla.



Figura 22. Fotografía de colocación de puente de adherencia.



Figura 23. Fotografía de ejecución de probetas.



Figura 24. Fotografía de hormigonado terminado.

CIRSOC 301 (Figuras 22 a 24).

Se procedió al descenso de la cámara en forma progresiva chequeando su verticalidad.

Una vez alcanzado el nivel deseado, para finalizar con el grouteo, la cámara quedó completamente descansando mecánicamente sobre los elementos de elevación.



Figura 25. Fotografía de grouting y sellado finalizado.



Figura 26. Fotografías interiores de trabajo terminado.



Figura 27. Fotografía exterior de trabajo terminado.

Luego se realizó un grouting cementicio de precisión de alta resistencia y fluidez, libre de retracción y tiempo de aplicación extendido de 25 mm de espesor todo el perímetro de la placa de apoyo de la pollera. Para el sellado se utilizó un sellador elástico a base de poliuretano mono componente resistente a hidrocarburos en toda la vuelta.

Pasadas 24 h del grouteo, se retiraron los *powers* hidráulicos y los elementos de elevación. Luego, comenzaron las tareas complementarias de vinculación de la válvula BUD, conexión de cañerías e instrumentos (Figura 25).

Luego de enfocarnos en el orden y la limpieza, registramos los buenos resultados de las reparaciones ejecutadas y, finalmente, se logró la recomposición completa de la losa, verticalizado de la cámara, apoyo completo y continuo (Figuras 26 y 27).

Como parte de los trabajos de complemento, ejecutamos aislación y pintura de *annular plate*, parte de la pollera de apoyo y anclajes de válvulas BUD. También recompusimos la aislación de la cámara que habíamos retirado para la reparación y dejamos los anclajes nuevos expuestos para que sean inspeccionados debidamente.

Dado que retirar las seis ménsulas vinculadas a la cámara implicaba mucho tiempo, se decidió de dejarlas



instaladas hasta la próxima oportunidad que la planta se encuentre parada por Inspección de Limpieza y se disponga de tiempo para su retiro. A modo de protección, para no tener puntos fríos en la cámara, se realizaron cajas de material aislante.

Conclusiones

Es de destacar la importancia de las inspecciones visuales, nuestra principal arma de revisión de estructuras de forma rápida a partir de las cuales se pueden mitigar y solucionar muchos problemas que si no se solucionan a tiempo se pueden desencadenar en condiciones de riesgo.

Para el sector Confiabilidad es importante anticiparse a los problemas de forma que, con la realización de trabajos menores, se puedan evitar grandes intervenciones.

En muchas situaciones, los que terminan siendo problemas estructurales complejos se podrían haber mitigado con un reemplazo del esquema de pintura para la protección del perfiles o pasivar armaduras y sellar grietas puntuales. Estos son algunos ejemplos de los problemas de la especialidad más comunes que podemos observar que, si son detectados y resueltos a tiempo, pueden brindar una buena solución para mejorar la vida útil de los elementos estructurales.

En este trabajo se hizo especial referencia a que lo más importante fue la forma en la que se abordó el pro-

blema desde su descubrimiento hasta su reparación. Este es un punto para destacar, ya que se alcanzó el objetivo final de resolución del problema estructural complejo y se le brindó a la unidad la seguridad para continuar con su funcionamiento normal.

Este proceso enriquecedor, que englobó diversas disciplinas y a muchas personas, demostró que es la mejor forma de desarrollar ideas y ejecutar tareas que generan soluciones seguras y de calidad.

Bibliografía

- CIRSOC 101-2005. "Reglamento argentino sobrecargas mínimas de diseño para edificios y otras estructuras".
- CRISOC 201-2005. "Reglamento argentino de estructuras de hormigón".
- CIRSOC 301-2005. "Reglamento Argentino de Estructuras de Acero para Edificios".
- Shell Global Solution. "Civil Infobase - Concrete structures and foundations".
- Shell Global Solution. "Civil Infobase - Steel Structural Elements".
- DEP 34.00.01.30-Gen. "Structural design and engineering of onshore structures".
- DEP 34.19.20.31-Gen. "Onshore concrete design and construction".
- DEP 34.28.00.31-Gen. "Onshore steel structures".