ROBERT L. ROWAN, JR.

En este artículo se describen, a grandes rasgos, los procedimientos de instalación y solución de la reparación de tres cimientos localizados en una planta petroquímica en Houston, Texas.

Reparando un cimiento agrietado

Las plantas petroquímicas con frecuencia usan compresoras con motor de pistones para comprimir la mezcla de gases requerida para abastecer de combustible sus procesos. Durante la construcción de una nueva planta al lado del canal Ship Channel TX en Houston, Texas (en 1963) se instalaron tres compresoras idénticas sobre cimientos de concreto. Eventualmente, los tres cimientos se agrietaron, causando problemas mecánicos en las máquinas, haciendo necesaria la reparación de los cimientos.

HISTORIA DE LA INSTALACIÓN

Al comienzo de los años sesenta fueron instaladas grandes compresoras con motor de pistones sobre una base de lechada bajo la máquina. Se desarrolló un nuevo tipo de compuesto de lechada a base de polímeros a fines de los años cincuenta y que actualmente se conoce con el término genérico de lechada epóxica. El mercado de compresoras de gas de muchos caballos de fuerza fue uno de los primeros en

Fig. 1: Los rieles de acero y las calzas usadas para permitir el flujo de aire, reducen la distorsión del cigüeñal debido al calor capturado en la lechada epóxica.

Fig. 2: Instalación original del cimiento en 1963.

Fig. 2: Grietas horizontales que se originan típicamente en las terminaciones de los pernos de anclaje.

utilizar esta nueva lechada epóxica la cual es mucho más resistente a compresión y a tensión. Con el tiempo, la lechada epóxica en toda la base llegó a ser muy popular.

Las compresoras de gas de gran potencia pueden llegar a tener más de 10 m de largo y pesar 180 toneladas; tienen requisitos mecánicos para mantener un cigüeñal de 25 a 30 cm en una alineación casi perfecta. Sin embargo, la lechada en toda la base solía tener una tendencia a retener el calor generado por la compresora, lo que podía causar distorsión del cigüeñal.

El fabricante sugería —en la instalación inicial de 1963— que la compresora podía ser montada sobre calzas de acero descansando sobre un riel de acero. El riel sería fijado con lechada al cimiento de concreto, pero el pequeño espacio de 25 mm por debajo de la parte inferior de la máquina permitiría la circulación del aire y el enfriamiento, reduciendo la distorsión por el efecto térmico. La validez de este concepto ha quedado probada ahora por la investigación patrocinada por el Gas Machinery Research Council (GMRC) (Consejo de Investigación de Maquinaria de Gas) del Instituto de Investigación Southwest (SwRI) así como por una probada historia de éxitos en el campo. La instalación de estas tres compresoras resultaba primitiva comparada con la práctica actual.

DISEÑO ORIGINAL DEL CIMIENTO

El diseño típico de los cimientos de concreto de los años sesenta era lo suficientemente grande para proveer una masa de concreto de cuatro a cinco veces el peso de la máquina. El concreto no estaba lo suficientemente reforzado comparado con las prácticas actuales, conteniendo solamente refuerzo en el perímetro que consistía de varillas No. 8 a 30 cm de centro a centro en las cuatro caras, y con muy poco acero de refuerzo interior. Los tres cimientos tenían, cada uno, 5 m de alto y estaban construidos sobre una base de concreto común de 1 m de espesor. La fijación a la base se hacía sólo por medio de pernos que coincidían con el refuerzo en el perímetro. El momento de vuelco creado por las compresoras que estaba operando separaron las masas de concreto a través del tiempo. Aunado con el severo

Fig. 4: Durante la reparación del cimiento, tuvo que removerse la gruesa lechada epóxica.

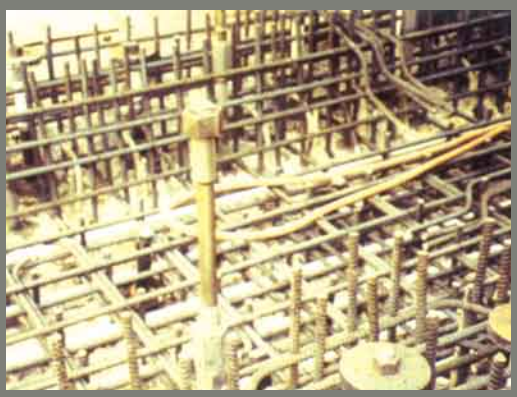

Fig. 5: Pernos de anclaje de reemplazo, pernos de postensado, y parrilla de refuerzo en el cimiento reparado.

Fig. 6: Calza epóxica ajustable completada en un perno de anclaje en el cimiento de reparación.

agrietamiento de los cimientos debido al refuerzo insuficiente (Fig. 3), la inercia de la masa de concreto fue reducida efectivamente debido a que ya no existía un cimiento monolítico de concreto.

SOLUCIONES EQUIVOCADAS

Al tiempo que surgieron problemas con las máquinas en operación, se intentaron varias soluciones en los años siguientes. Al principio, se culpó a los rieles y calzas por lo cual subsecuentemente se removieron. Después se culpó a la marca de la lechada epóxica intentándose otras marcas. Algunos especialistas sugirieron que la solución apropiada consistía en remover el poco acero de refuerzo que había en el cimiento de más arriba y desbastar para incrementar el espesor de la capa de lechada epóxica desde pocos centímetros nominales hasta 1 a 1.3 m.

Sin embargo, ninguna de las soluciones antes mencionadas llegaba a la raíz del problema: el cimiento de concreto (tal como fue diseñado) no podía resistir las fuerzas masivas horizontales creadas por las cargas en los cilindros horizontales de las compresoras. Una compresora de gas en ángulo recto desarrolla, en este caso, 5000 HP en una dirección vertical (en donde se colocan los cilindros de energía) y vuelca esa potencia a 90 grados para comprimir el gas horizontalmente. Años de operación sobre un cimiento deficientemente diseñado finalmente rompió el cigüeñal.

ELEMENTOS DEL DISEÑO PARA REPARACIÓN DE CIMIENTOS.

Para la reparación de los cimientos se desarrolló la siguiente solución:

1. Proveer planos de reparación detallados con criterio técnico y una lista del alcance del trabajo.
2. Remover 1 m de la parte superior del cimiento y la lechada epóxica (Fig. 4) para permitir la instalación de una densa parrilla de refuerzo.
3. Instalar pernos verticales de postensado a través del cimiento agrietado que penetren en la base de concreto 5 m por debajo (Fig. 5). Instalar torones horizontales de postensado.
4. Reemplazar el concreto removido con uno más resistente modificado por polímeros que desarrolle la resistencia de diseño en 24 horas.
5. Substituir los pernos de anclaje de 2 pulgadas (50 mm) de menor resistencia con pernos de anclaje de dos piezas de resistencia más alta (fluencia de 720 MPa).
6. Instalar un sistema ajustable de soporte de la máquina en cada perno de anclaje fijado con lechada en su lugar con una cabeza de lechada epóxica.

REPARACIÓN CON CRITERIO TÉCNICO

El cimiento en la actualidad es mucho más resistente de lo que era originalmente (Fig. 6). Esto ha permitido a la planta petroquímica elevar la potencia de la compresora hasta 7000 HP y recobrar sus gastos de reparación incrementando la producción de la planta.

Concrete International, Marzo 2005.