

Nuevo estado del arte en seguridad y mantenimiento de torres y mástiles estructurales

Por S. Paganini, A. Pernich y J. Vivas Hohl, Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional del Comahue; L. Barceló, INSECO SRL; C. Prato, Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Córdoba

El aumento de accidentes en mástiles durante operaciones de campo en estos dos últimos años ha alarmado a la comunidad de la industria del petróleo y del gas. Debido a esta situación se generó un grupo interdisciplinario de especialistas para enfrentar el problema y dar respuesta técnica y de capacitación, motivado por el impulso de algunas empresas de la región.

Lo que sigue es una síntesis —a modo de adelanto— de la presentación que tendrá lugar en las VII Jornadas de Perforación "Fernando Alvarez" que se realizarán en la ciudad de Neuquén el 6 y 7 de septiembre próximos, organizadas por la Comisión de Perforación y la Seccional Comahue del IAPG.



J. Vivas Hohl,
Director del Proyecto

Haciendo uso de las herramientas tecnológicas con que se cuenta actualmente, *software* avanzado, ensayos de última generación en caracterización de estructuras y materiales, sumado a una estrategia de capacitación, se intenta disminuir el número de accidentes en esa área.

Un procedimiento actualizado de control de torres y mástiles estructurales y/o tubulares utilizados *in situ* en los procesos del campo de la industria petrolera debe considerar criterios modernos de análisis y monitoreo de materiales, en concordancia con los procedimientos API^(1,2) y ASME⁽³⁾.

Por esta razón, y considerando que estas estructuras trabajan en ambientes agresivos, es posible que luego de un período de utilización se encuentren desgastadas por fatiga o corrosión.

Estas estructuras ingenieriles cuentan con rasgos definidos que permiten ser caracterizadas y monitoreadas durante su período de vida útil y admiten ser reparadas de acuerdo a un programa de mantenimiento y control. Los criterios ingenieriles de monitoreo^(1,2,4) son:

- 1) De la máxima carga admisible σ ,
- 2) De la razón K_{σ}/σ "Deformación antes de ruptura"
- 3) De la razón K_{σ}/σ_v "Fisura antes de ruptura"

En los últimos 18 meses de intervención con este método no se han caído más torres o mástiles por defectos de materiales o estructurales, en los equipos estudiados y monitoreados con esta tecnología. Si bien el error humano es difícil de erradicar, se acompaña esta medida con fuerte capacitación en esta materia.

INTRODUCCIÓN

La necesidad de profundizar en los tipos de aceros estructurales al Mn utilizados en estos mástiles, así como sus distintas geometrías para poder controlar exhaustivamente las estructuras de distintos proveedores resultó ser un gran desafío para los expertos involucrados en la solución del problema planteado⁽⁵⁾.

Los estudios realizados a torres caídas (Figuras 1 y 2) en el período anterior a la implementación del procedimiento permitió recabar información muy importante, demostrando que de 4 mástiles fracturados en operación, los motivos técnicos de los accidentes tenían diversos orígenes inherentes al mantenimiento histórico de cada mástil.

La heterogeneidad del parque de mástiles en Argentina complicó el panorama para una rápida solución del problema. Por ejemplo, el hecho de contar con mástiles IDECO, con perfiles angulares, FRANK con perfiles tubulares, WILSON, CARDWELL y NATIONAL con perfiles rectangulares y/o combinados, condujo a realizar cálculos con distintos parámetros de forma⁽⁶⁾, como se muestra en la Figura 3.



Figura 1. Equipo IDECO luego de la ruptura del tramo superior.



Figura 2. Equipo IDECO con mástil Cardwell KV 250 luego de la ruptura.

Para optimizar el estudio se recurrió a diversos softwares comerciales, aplicando modelos de elementos finitos a los tests desarrollados para interpretar las distintas cargas a que están sometidos los mástiles en operación. Entre ellos cabe destacar ABAQUS®, con el que se modelaron estas estructuras. La realización de esquemas estructurales fue imprescindible para realizar los estudios posteriores, que fueron realizados con software AUTOCAD® y 3D STUDIO®. A los efectos de simplificar el ingreso de datos se realizó con ACCESS® un software para realizar una sola vez el ingreso de datos metrológicos y técnicos, como se muestra en la Figura 4.

PROCEDIMIENTO

El procedimiento de control y mantenimiento para torres y mástiles se basa en ensayos metrológicos, dinámicos y no destructivos para controlar permanentemente el estado en que se encuentra cada equipo. Esta información se almacenará en una base de datos de cada equipo, que será simultáneamente "simulado" mediante software estructural, lo que permitirá llevar el estado de cada equipo mes a mes.

ENSAYOS METROLÓGICOS

Partiendo del segundo criterio es factible es-

tablecer si ha habido variaciones en las dimensiones iniciales de la estructura, desde el momento en que fue habilitada.

Realizando periódicamente mediciones de la estructura, se puede observar si ha ocurrido alguna deformación indicativa de inicio de fatiga en el equipo. Estas mediciones se deben realizar al inicio de la habilitación del equipo y ser cargadas a su vez en el software estructural para ser posible el seguimiento del equipo. Personal preparado para hacerlas puede llevarlas a cabo, aunque el equipo esté en operación, de acuerdo al protocolo generado en la periodicidad de las mediciones. Este ensayo se realiza cada seis meses.

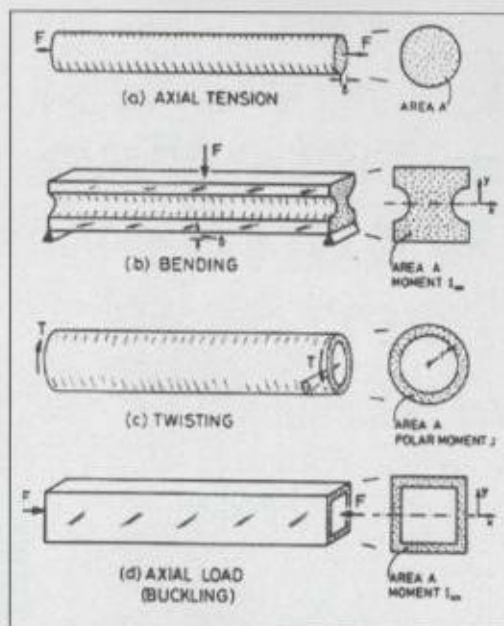


Figura 3. Formas de carga: (a) en estructuras tensión axial, (b) pandeo, (c) torsión y (d) compresión axial.

tado de una simulación numérica calibrada a las condiciones reales de la estructura, o ambos. El cambio en la frecuencia de respuesta indica que se han producido cambios en la estructura. Esto da lugar a estudios exploratorios para la determinación de las causas de daño, al inicio y cada tres años.

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Los ensayos no destructivos a realizar son:

- Líquidos penetrantes
- Ultrasonido
- Radiografía o gamagrafía

Líquidos penetrantes

Este ensayo se debe realizar cada dos años (24 meses), mediante la técnica vía Magnaflux u otra de acuerdo a recomendaciones API^(1,2).

Ultrasonido

Este ensayo permite detectar fallas locales, cuando hay indicaciones relevantes, permite localizar zonas, soldaduras o nodos dañados. Se recomienda realizar este ensayo entre los 48 y 54 meses de habilitada la estructura, de acuerdo a las prácticas API^(1,2). Las mediciones de espesores son llevadas a cabo con equipo de alta tecnología certificado **kraut-kramer DMS 2 TopCOAT** (Figuras 5 y 6), que permite diferenciar pinturas, recubrimientos, capas de óxido o corrosión, capacitación certificada por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Comahue.

Mediante un nuevo sistema de sensores se

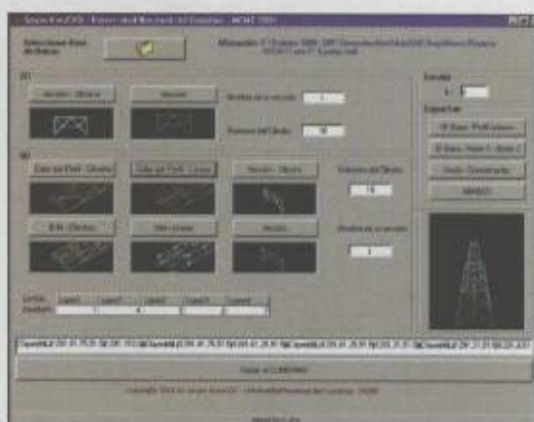


Figura 4.

ENSAYOS DINÁMICOS PARA EVALUACIÓN DE ESTADO DE DAÑO

El ensayo dinámico de propagación de ondas de compresión y/o de corte es de tipo no destructivo, sensible a cambios en la rigidez y en la masa de la estructura. Esto permite detectar si la estructura está sufriendo daño estructural.

Estos ensayos, que se realizan periódicamente, se comparan con un "ensayo patrón", que consiste en una señal de respuesta que corresponde al estado en el cual se habilitó la estructura. El patrón puede provenir de un ensayo *in situ* de la estructura cuando es puesta en servicio, o ser el resul-

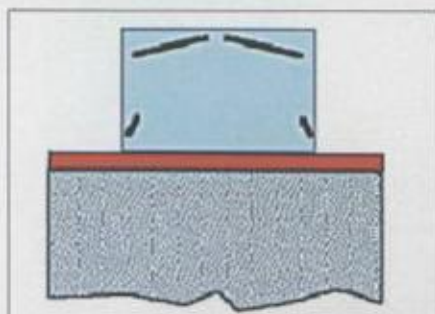


Figura 5. Sensor que distingue la capa de recubrimiento y separa el espesor del mismo respecto del metal base.



Figura 6. Mecanismo de medición con la técnica TopCOAT, ideal para cañeros con corrosión.

separa la medición de capas de pintura, óxidos y metal base.

Las ventajas de esta tecnología son notables frente a las mediciones convencionales. Este equipo permite ahorrar mucho tiempo de medición: no es necesario remover la pintura de la cañería para medir, diferencia directamente pintura, capa de óxido (corrosión), recubrimiento y metal base.

Radiografía - Gamagrafía

Este ensayo es adecuado cuando existen dudas sobre indicaciones del ultrasonido y las mediciones metrológicas muestran alguna deformación en la zona de indicación. Permite confirmar y cuantificar el daño. Relevante en caso de responsabilidad compartida o ajena de daño.

En general, se recomienda para casos dilucidatorios. De haber indicaciones de ultrasonido y metrológicas, se recomienda a priori reemplazar la parte comprometida. Sobre todo si el ensayo dinámico está indicando daños.

La aplicación de esta metodología será de acuerdo a las normas API ^{17 y 21}.

El diagrama de procedimiento por equipo se puede esquematizar:

CONCLUSIONES

A partir del ensayo de 18 mástiles de distintas empresas se detectaron más de 23 fisuras, se cambiaron y repararon 16 caños debilitados, deformados o endurecidos. Estos cambios se realizaron con repuestos originales, electrodos adecuados, soldadores certificados y procedimientos de soldadura para el tipo de acero y electrodo correspondiente. De este modo fue posible la nueva habilitación de esas estructuras.

Sin lugar a dudas, el error humano es imposible de eliminar con un procedimiento técnico. Sin embargo, realizando una capacitación del personal que trabaja en el equipo y haciendo un seguimiento del comportamiento del personal es posible disminuir la accidentología notablemente. El primordial objetivo de preservar vidas humanas aumentando la seguridad es un compromiso del colectivo de nuestra comunidad, donde las empresas del medio y la Universidad a través de la Facultad de Ingeniería en un trabajo mancomunado han generado esta solución que ha disminuido la cantidad de fallas técnicas en las empresas que han adoptado el método. ●

Bibliografía

1. Recommended Practice for Procedures Respectives, Maintenance, Repair and Remanufacture of Hoisting Equipment - API Recommended Practice 8B, 6ª edición, diciembre 1997 (fecha efectiva: mayo 1998).
2. Specification for Drilling and Production Hoisting Equipment (PSL1 y PSL2) - API Recommended Practice 8C, 3ª edición diciembre 1997 (fecha efectiva: mayo 1998).
3. "Materials in Mechanical Design", M.F. Ashby, edición 1995, Oxford, Butterworth - Heineman, ISBN 0 7506 2727 1.
4. "Taschenbuch der Erdöl-Industrie", M. Merkel, K. Thomas, edición 1994, Leipzig, Fachbuchverlag, ISBN 3-343-00845-1.
5. "Derricks", ASME B30.6, 1995. "Mobile and Locomotive Cranes", ASME B30.5, 2000.

