

Aunque en el presente trabajo nos circunscribiremos a casos estudiados en mástiles, el método es aplicable a diversos equipos usados en la industria. Presentando equipos de *pulling*, *workover* y perforación, en algunos casos con los análisis de falla, producidos en operaciones.

Metodología

Ingeniería preventiva

La propuesta de la ingeniería preventiva es tomar medidas antes de que ocurran incidentes, defectos, fallas o accidentes, de forma tal que se adoptan medidas para evitarlas y de esta manera se reacciona antes del incidente, disminuyendo o atenuando el

efecto producido, permitiendo mitigar costos e impactos ambientales. Parte de un análisis de la relación actual entre la tecnología, la economía y el medio ambiente, entre los efectos deseados y los no deseados; y entre los valores tecnológicos y los valores humanos a la hora de analizar los resultados obtenidos. Distingue entre el enfoque convencional de la tecnología y el enfoque preventivo. El enfoque convencional es generalmente reactivo.

Ingeniería predictiva

Cuando se desea resolver un problema de forma científica, es muy conveniente tener un conocimiento detallado de los posibles tipos de investigación que se pueden seguir; este pro-

“Ingeniería predictiva y preventiva desde la gestión de seguridad aplicada a mástiles en yacimientos convencionales y no convencionales”.

Por **Dr. Ing. Julio Vivas Hohl** (GEMAT Ingeniería, Neuquén y KB Engineering S.R.L.), **Ing. Iván D. Barrientos, Lic. Marcos Garabedian** (Mantenimiento e integridad estructural de Medanito S.A.), **Dr. Gustavo Sánchez Sarmiento** (GEMAT Ingeniería, Neuquén y KB Engineering S.R.L.), **Ing. Luis Suárez** e **Ing. Thomas Murphy** (Quintana Wellpro S.A.)

Esta presentación busca mostrar que, siguiendo una determinada metodología sistemática y organizada de trabajo, diseñada con las más actualizadas normas, códigos y estándares de seguridad e higiene, es posible detectar y predecir fallas estructurales en equipos y herramientas de trabajo, así como condiciones de funcionamiento probables antes de que se produzcan.



cedimiento hace posible evitar equivocaciones en la elección del método adecuado para una táctica específica.

La investigación predictiva tiene como propósito prever o anticipar situaciones futuras, requiere de la exploración, la descripción, la comparación, el análisis y la explicación. La investigación tipo pronóstico es aquella en la cual el propósito principal es “predecir” la dirección futura de los eventos investigados; consiste en prever situaciones futuras, a partir de estudios exhaustivos de la evolución dinámica de los eventos, de su interrelación con el contexto, de las fuerzas volitivas de los actores que intervienen, y del estudio de las probabilidades de que algunos de esos eventos pudieran presentarse.

En una fase experimental, se integraron distintos *softwares* que permiten en la actualidad establecer las condiciones dinámicas de funcionamiento de equipos, herramientas, estructuras y otros; determinar su vida útil y/o vida remanente. Esto permite reemplazar antes del incidente, el elemento o la parte estructural que puede colapsar en una situación anunciada a través de modelos computacionales.

Ashby y el método

Cuando se procede al relevamiento de cualquier equipo en la industria petrolera, se realiza una detallada inspección visual del equipo, con el objetivo de detectar fisuras, soldaduras en malas condiciones, zonas afectadas por corrosión (general y/o localizada), zonas con deformaciones locales. Dentro de la primera etapa, trabajo de campo (diagrama 1), se realiza la revisión de documentación técnica y antecedentes del equipo mencionado; también comprende el relevamiento metrológico y métrico del equipo para determinar el estado dimensional de la estructura, así como detectar fallas y/o deformaciones (esto es otro END). Simultáneamente, se realizan los planos y esquemas estructurales en *Autocad 2D* y *3D*, y/o *Solidworks®*, de fundamental importancia para diferenciar cualquier desviación de medidas originales y posibles lugares con defectos puntuales. Se aplican los criterios de Ashby:

- Todo material metálico se deforma antes de la ruptura (K_{IC}/σ)
- Todo material metálico se fisura antes de la ruptura (K_{IC}^2/σ)

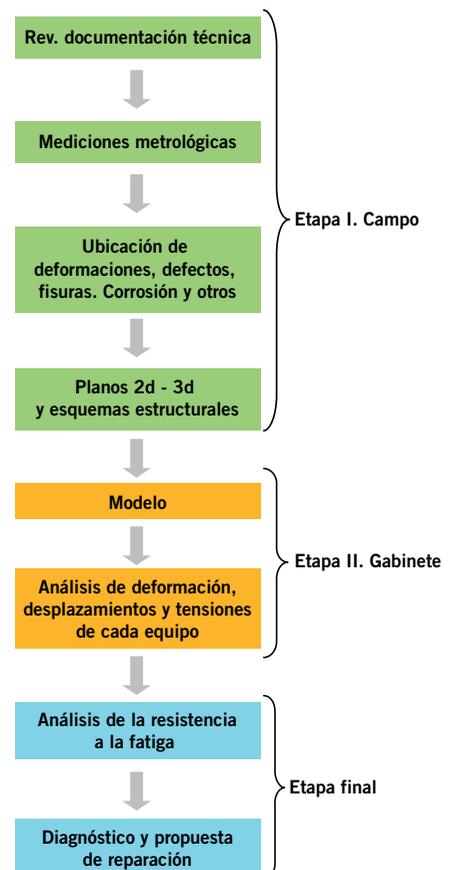


Diagrama 1. Diagrama de flujo de la metodología utilizada para el estudio.

Asimismo, estos permiten realizar el modelo computacional, ya en la etapa II de trabajo de gabinete, con el que se obtiene el análisis de tensiones y deformaciones en forma **dinámica**, merced al programa de elementos finitos *Abaqus*® o *Ansys*®, con el que se realiza el estudio. Finalmente, se calcula la vida remanente del conjunto bajo estudio mediante análisis de fatiga, basados en los resultados obtenidos en el estudio dinámico realizado previamente, con el Post-procesador *fe-safe*™ versión 5.4-06. Se miden con láser todas las dimensiones del conjunto antes mencionado, aberturas y distintas diagonales y oblicuas para el análisis de deformaciones globales.

Se realiza el análisis estructural con elementos finitos, “cargando” los datos medidos en campo, y comparando resultados obtenidos en la actualidad con análisis previos.

Para tal fin, se utiliza el siguiente instrumental:

- Medidor láser Würth LM 30.
- Medidor de ángulos digital Bosch.
- Calibre 0-200mm x 0.05mm.
- Cinta métrica.
- Cámara fotográfica.
- Computadora portátil HP.

Desarrollo

Elementos finitos

Para calcular las tensiones y deformaciones de la estructura se aplica el método de elementos finitos [1], el cual consiste en dividir la estructura en pequeños elementos a los cuales se le aplica uno a uno las ecuaciones de gobierno. Esta técnica, unida a métodos computacionales y avanzados algoritmos matemáticos, brinda resultados confiables, consistentes y con un error despreciable.

Modelo computacional

Para poder aplicar un análisis de tensiones, identificando cada unión como un único “nodo”, que a la vez esté directamente relacionado con toda la estructura, se desarrolla un modelo tridimensional [1]. A cada tramo, o entre nodo y nodo, se le asigna un sección de perfiles en concordancia con las medidas y la disposición determinadas en trabajo de campo.

Tensiones equivalentes de von Mises

La máxima carga que puede soportar la estructura está determinada por el límite elástico del material. Superado el límite elástico, la deformación es permanente y se considera que el material ha fallado.

Cada tramo de los mástiles constituye un cuerpo elástico que está sujeto a un sistema de cargas en 3 dimensiones, a través del cual se desarrollan una serie de tensiones que actúan de manera local en distintas direcciones, y cuya magnitud y dirección cambia de punto a punto.

El criterio de *von Mises* es un índice que tiene en cuenta las múltiples combinaciones de las cargas que actúan sobre un cuerpo, y obtiene un índice que determina el punto o los puntos donde es más posible que ocurra una deformación permanente en

el material analizado.

En ingeniería de estructuras, se usa el criterio de *von Mises* en el contexto de las teorías de fallo como indicador de un buen diseño para materiales dúctiles [1,2].

Casos estudiados

Mástil rumano MED 01

Mástil telescópico rumano para terminación (*workover*) y/o *pulling* de Medanito S.A., que fue relevado en la base de esa empresa. A partir de estos datos se realizaron los planos en *Solidworks* y *Autocad*, para generar los modelos computacionales descritos en las figuras 1 y 2. El mástil fue reparado y llevado a su original carga de diagrama, con perfiles del mismo acero de alta tenacidad original del mástil.

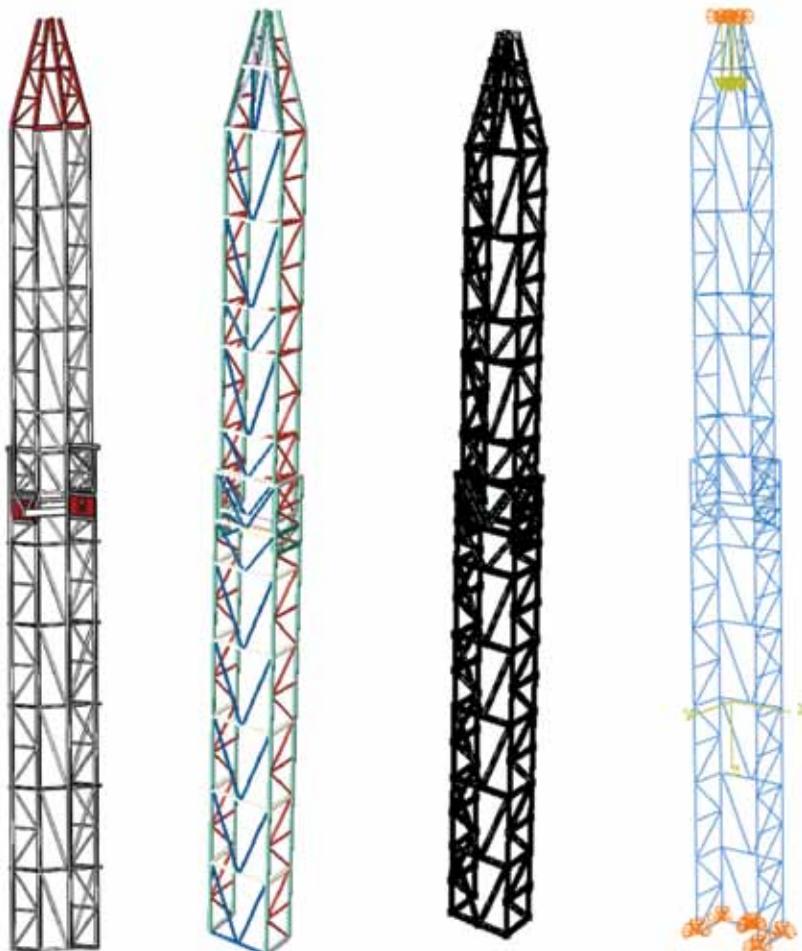


Figura 1. a-Render o representación, b-Perfiles, c- Mallado y d- Condiciones de borde.

Tensiones de *von Mises*, desplazamientos y deformaciones

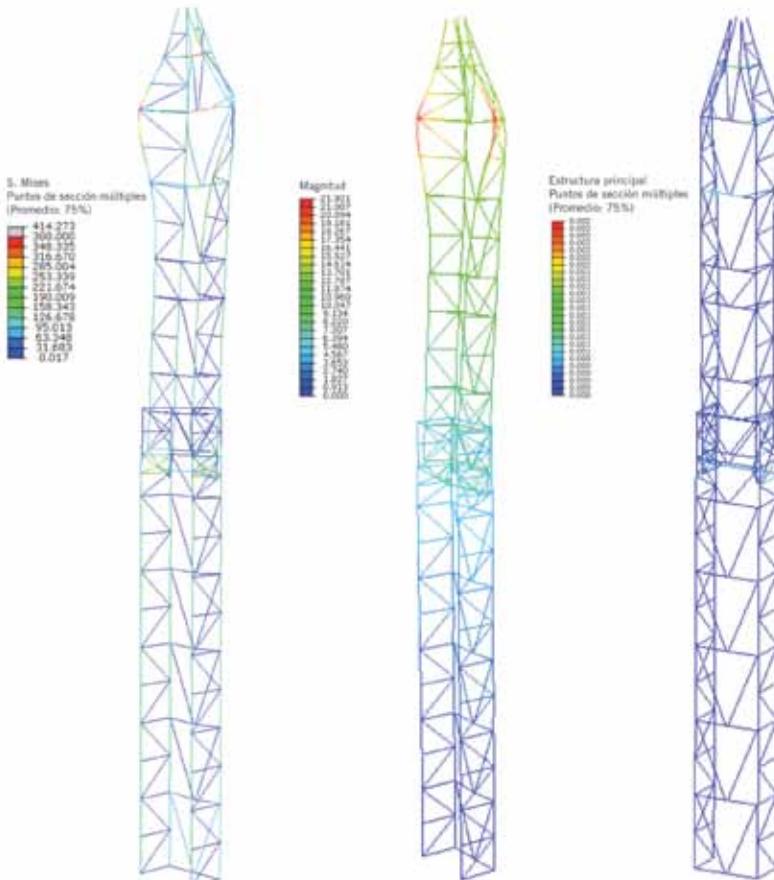


Figura 2. a-Tensiones *Von Mises*, b-Desplazamientos, c- Deformaciones.

Modos vibratorios Med 01

En la figura 1 se puede apreciar de izquierda a derecha respectivamente: a- El Render del mástil previo al pre-procesador CAD del software de elementos finitos; b- El plano con la asignación de las secciones según el tipo de perfil; c- El mallado en el modelo unifilar; y d- Las condiciones de borde y carga del modelo computacional.

En la figura 2 se pueden apreciar los resultados de tensiones (a), desplazamientos (b) y deformaciones (c) del mástil, que verifica 210.000 libras de carga máxima de diagrama, con un coeficiente de seguridad de 1,3.

Finalmente, en la figura 3 se presentan los modos de vibración de menor energía: 1, 2 y 3, con un factor de ampliación de los desplazamientos 50 veces mayor para observar en detalle hacia dónde convergen los mismos, y evitar posibles superposiciones, ya sea de frecuencias o deformaciones.

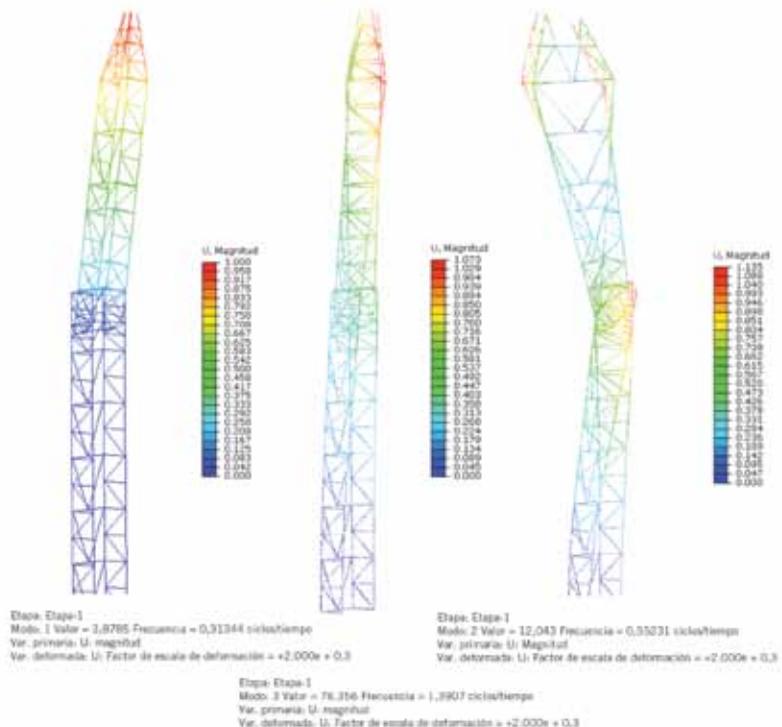


Figura 3. Modos vibratorios N° 1, 2 y 3: Factores ampliación despl. 50 veces mayor.

Mástil canadiense fisurado por acción del *Top-Drive*. Análisis de falla

Otro caso estudiado sumamente interesante, lo presenta este mástil de origen canadiense, que fisura en la parte superior al *Wrack* de sujeción del *Top-Drive* en operaciones en forma semejante al caso anterior. Dado que los perfiles son rectangulares, la deformación y fisura es advertida a tiempo, y se puede reparar antes de un incidente mayor.

En las fotos 1 a 4 pueden observarse las fisuras producidas en los perfiles del cajón superior adonde va fijado el *Top-Drive* (esquema 1). Lugar donde el torque del *Top-Drive* es máximo sobre la estructura del mástil. Esta situación muestra claramente que en mástiles telescópicos no es recomendable soportar el *Top-Drive* solidario al tramo inferior del mismo, sino que se debe colocar el *Wrack* de sujeción del *Top-Drive* solidario a la subestructura que soporta sin inconvenientes la torsión, debida al torque del *Top-Drive*.

En la figura 4 puede observarse el *render* en perspectiva del mástil y el mallado en vista anterior y frontal con el *Wrack* del *Top-Drive*. Mientras que en la figura 5 se detallan la verifi-

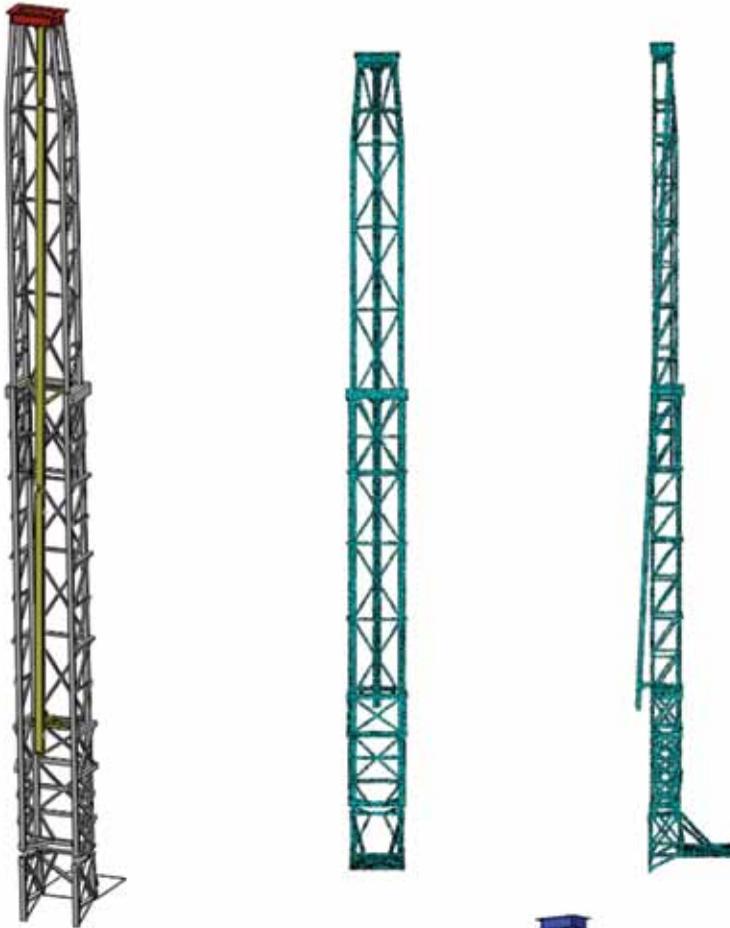


Figura 4. a- Render modelo computacional, b- Mallado: vista lateral y frontal.

cación de las tensiones (a) equivalentes de *von Mises*, desplazamientos (b) y (c) deformaciones.

Es en la verificación de vida a la fatiga, donde se determina el efecto del *Top-Drive* sobre la zona de fisuras, producidas por la torsión debida al torque del mismo. Justamente en la zona de (Factor de resistencia bajo) $FOS = 1,8$ (figuras 15 y 16), que verifica lo expuesto en las figuras 7 y 8.

Tensiones equivalentes de *von Mises*, desplazamientos y deformaciones

Ver figura 5.

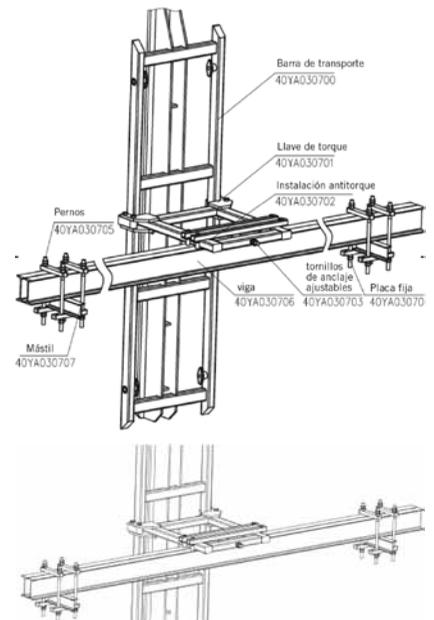
Resultados de vida a la fatiga

Las zonas en color ocre y amarillo son las zonas potenciales de fallas según se aprecia en las figuras 7 y 8.

Algoritmo utilizado y material aproximado.

Para el cálculo de la vida a la fatiga se utiliza el algoritmo biaxial de

Esquema de ubicación WARCK-TOPDRIVE



Esquema 1. Soporte típico de *Top-Drive* que va al tramo inferior del mástil.



Figura 5. a-Tensiones de *von Mises*, b-Desplazamientos y c-Deformaciones Mástil.

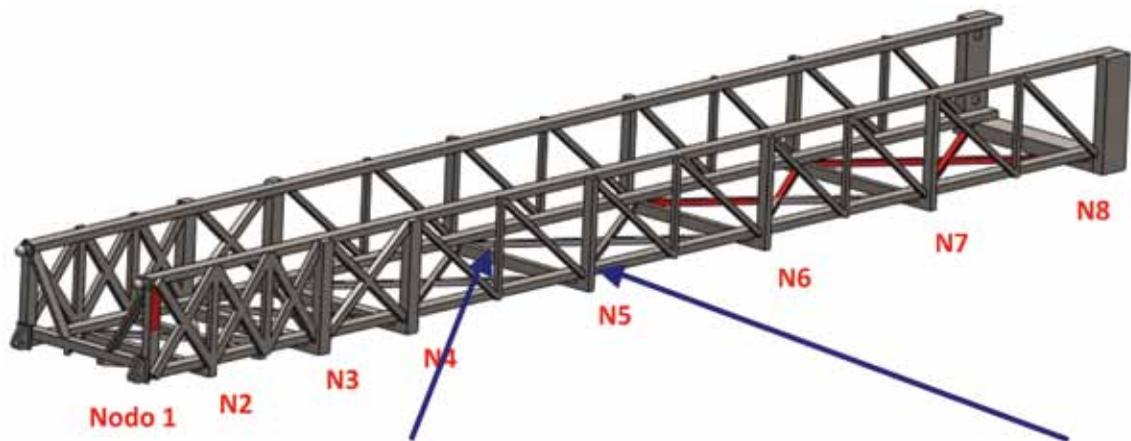


Figura 6. Vista del Tramo Inferior con Nodos y partes intervenidas en 2011. Las flechas azules indican zona de fisuras. En rojo: reparaciones 2011 y nodos, en azul: flechas indicativas.



Foto 1. Fisura diagonal izquierda.



Foto 3. Fisura diagonal derecha.



Foto 2. Fisura diagonal izquierda.



Foto 4. Fisura diagonal derecha.

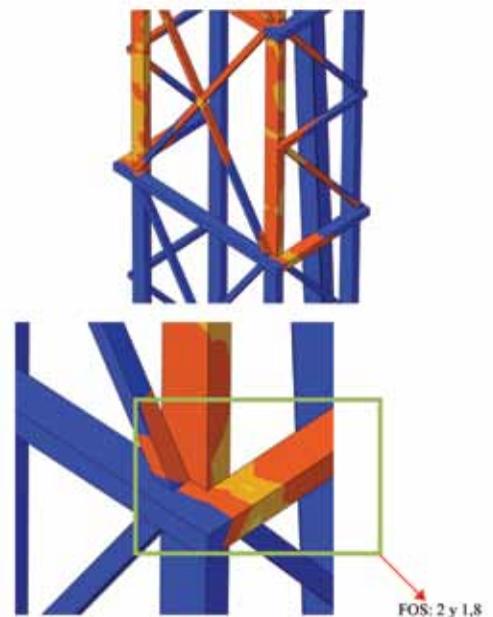


Figura 7. Resistencia a la fatiga - Detalles.

Brown-Miller, con corrección por tensiones medias por Morrow. Este algoritmo calcula el número de ciclos a partir de la tensión de corte máxima y la tensión normal en dicha dirección.

Los coeficientes se obtienen en forma aproximada a partir del tipo de material (dúctil en este caso), la tensión última (σ_u) y el Módulo de Young. Estos valores son propuestos por *Seeger* y se muestran a continuación.

$$\begin{aligned}\sigma_f &= 0,8\sigma_u \\ \sigma'_f &= 1,5\sigma_u \\ \varepsilon_f &= 0,59a\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}b &= 0,087 \\ c &= 0,58 \\ n' &= 0,15 \\ K' &= 1,56 \sigma_u \\ a &= 1 \text{ (para } \sigma_u / E < 0,003) \\ a &= 1,375 - 125\sigma_u / E\end{aligned}$$

A partir de los resultados de tensiones para la carga mínima y máxima, se genera una secuencia de datos donde se hallan, a partir de la ley de *Neuber*, la deformación total correspondiente, para cargarlos en el algoritmo de cálculo a la fatiga.

Resumiendo, en esta instancia se especifica:

- Secuencia de tensiones: obtenida a partir de los estados de carga.
- Materiales: a partir de los mismos valores utilizados para el análisis de elementos finitos se calculan en forma aproximada los coeficientes necesarios para ingresar en el algoritmo de cálculo.
- Algoritmo de cálculo: Brown-Miller con corrección de tensiones medias por Morrow.
- Terminación superficial: se conside-

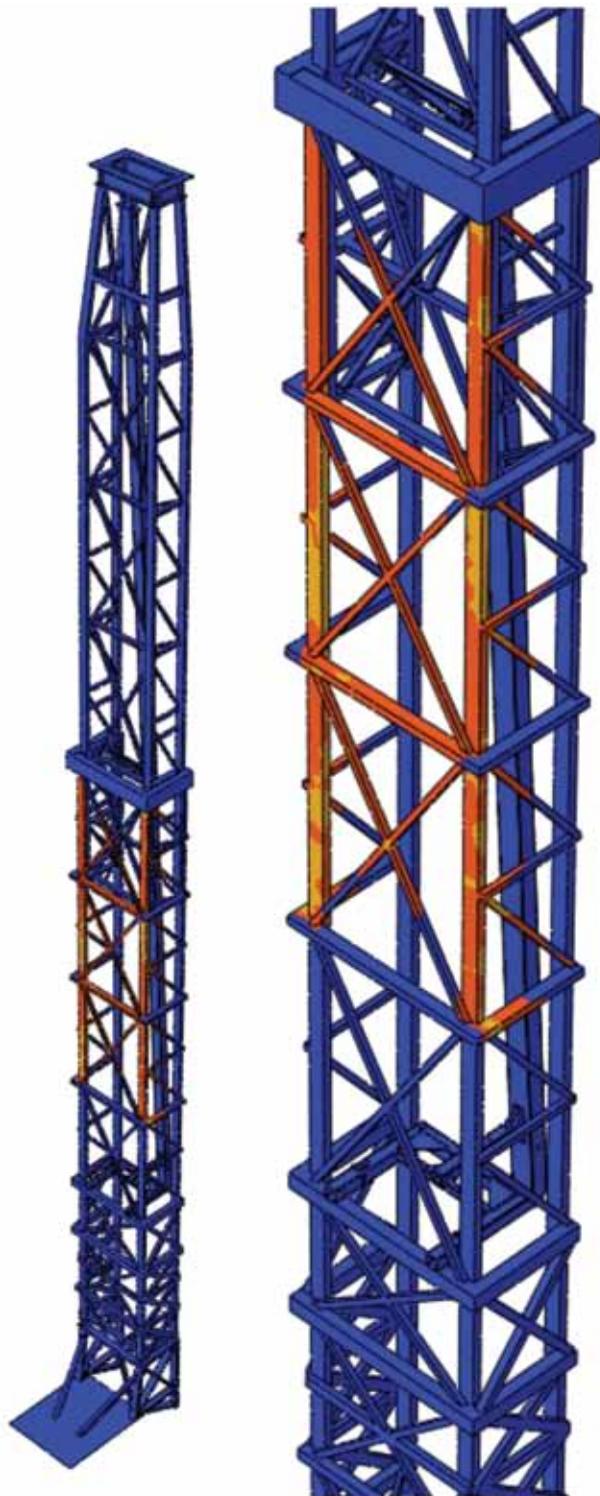


Figura 8. Resistencia a la fatiga.

ró la correspondiente al conformado plástico, obteniéndose un valor igual a 1,2.

Las figuras 15 y 16 muestran la distribución del factor de resistencia (FOS). El valor máximo hallado para la viga principal es igual a 1,8 y para la viga secundaria de 2; esto significa que la carga podría aumentar en esa medida para recién encontrar la falla. Esto predice que las vigas secundarias (de menor espesor), son las más sensibles a la fisura por el efecto de torsión.

Verificación estructural de un mástil *Wagner-Morehouse*: Sección superior e inferior

Para la verificación estructural de un mástil cuestionado por sus tensores en el tramo inferior se recurrió a la misma metodología que se presenta a continuación: Render en figuras 11 y 12, con los resultados en figuras 15 a 17, que verifican la carga máxima de diagrama.

Condiciones de borde y de carga

Ver figura 13.

Mallado

Ver figura 14.

Tensiones equivalentes de *von Mises*

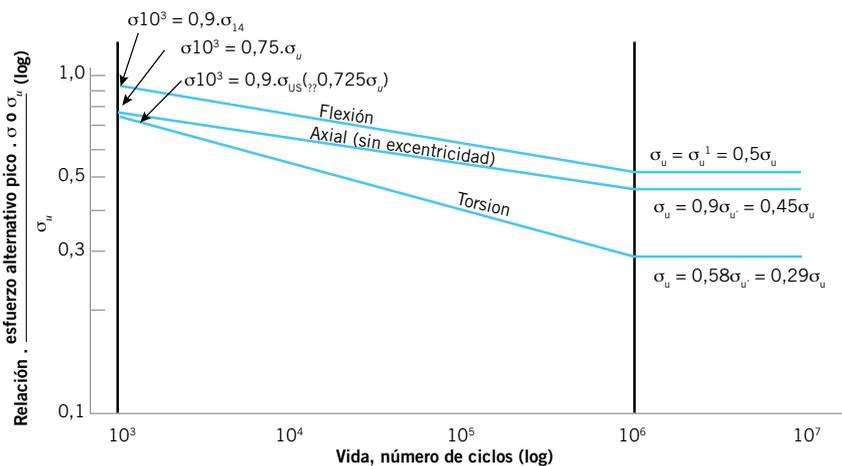
Ver figuras 15, 16 y 17.

Evaluación de un cilindro hidráulico de elevación del mástil

Con el objetivo de determinar y verificar los espesores mínimos, pandeo y la carga máxima de diagrama de un cilindro hidráulico de 3 tramos, en operaciones, se le aplicó la metodología de mención, la verificación al pandeo se realizó aplicando la Fórmula de Euler, que permite también determi-

$$\frac{\Delta \gamma_{\max}}{2} + \frac{\Delta \epsilon_n}{2} = 1,65 \frac{(\sigma'f - \sigma_{nm})}{E} (2N_f)^b + 1,75 \epsilon'_f (2N_f)^c$$





nar los espesores mínimos y contrastar los resultados obtenidos.

Aparte del código ASME, se tuvo en cuenta las normativas de aplicación en cilindros hidráulicos: ISO 6020/2, ISO/TS 13725 (para análisis del pandeo) y ASME VIII división 1.

Cabe destacar la limitación de reparaciones a los diámetros mínimos presentados en el cálculo de pandeo. No solo por la Restricción al pandeo: hay valores máximos en la zona de circulación del fluido entre cilindros (agujeros), donde probablemente se iniciarían las fallas (concentradores de tensiones). Particularmente en los Cilindros 1 y 3 (Etapas 2 y 4 respec-

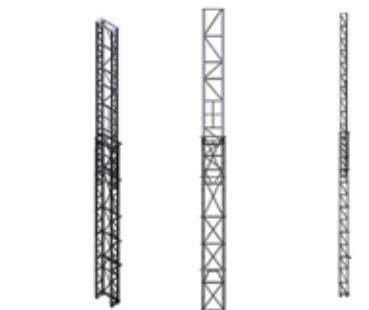
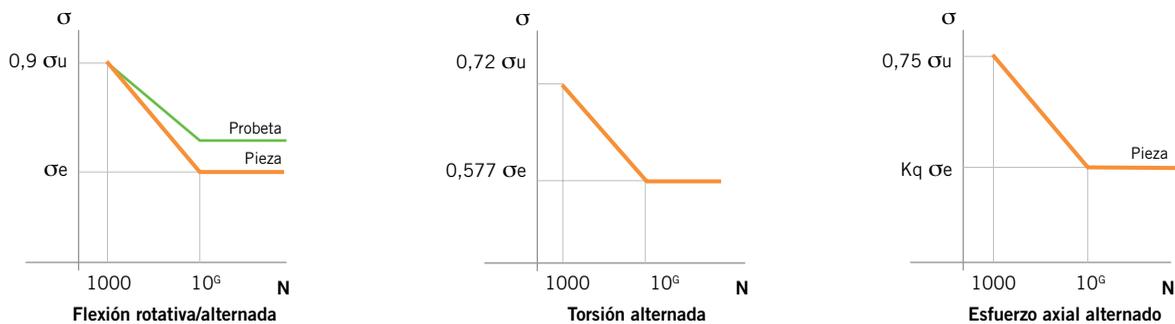


Figura 11. Vista general del conjunto. Tramo superior e inferior del mástil sin corona.



Figura 12. Render en perspectiva sección media del mástil, render estructural de zona de trabas.



Figura 13. Descripción de las condiciones de carga y apoyo del tramo inferior.

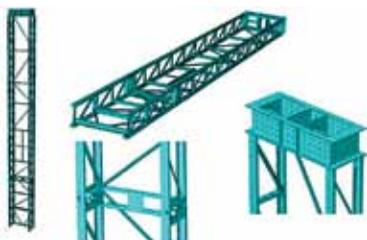


Figura 14. Mallado del tramo superior del mástil.



Figura 15. Distribución de tensiones de von Mises en el tramo inferior, zona de elevación (240.000lbs).

tivamente). Que solo permiten un desbaste de 0,6 mm en el cilindro 1 (Etapa 2) y de 1,15 mm en el cilindro 3 (Etapa 4).

La Norma antes mencionada (ISO/TS 13725) tiene en cuenta la Fórmula de Euler (1744) para el pandeo (ver página siguiente).

Donde L_e actuador: Es la Longitud Equivalente o longitud libre de Pandeo que depende del montaje del cilindro (tipo de sujeción) y de la longitud total (tomada en la posición de carrera máxima).

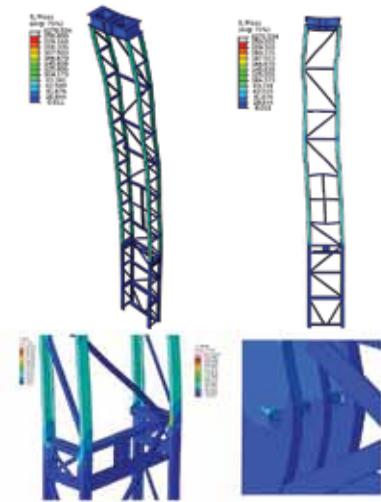


Figura 16. Distribución de tensiones de von Mises tramo superior, con una carga de 240.000lbs.

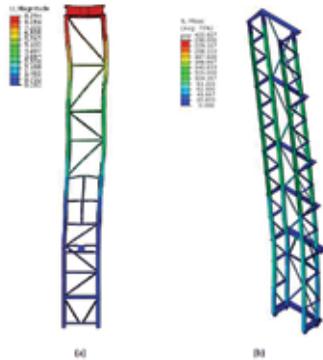


Figura 17. Desplazamiento: (a) tramo superior mástil-vista de frente y (b) tramo inferior (perspectiva).



Figura 18. Render del cilindro hidráulico en NX, que muestra camisa, cilindro 1, cilindro 2, cilindro 3 y tapa superior.



Figura 19. Mallado y
Figura 20. Condiciones de borde

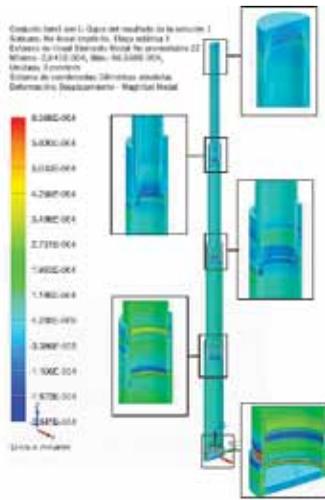


Figura 21. Deformación longitudinal.

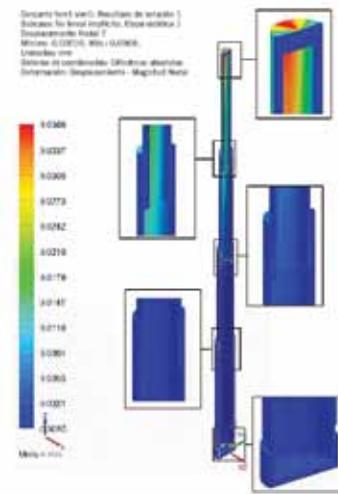


Figura 22. Desplazamiento circunferencial.

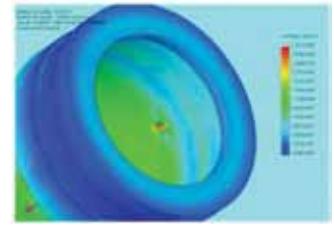


Figura 23. Máximas deformaciones en la zona inferior del cilindro: 0,0006 mm.

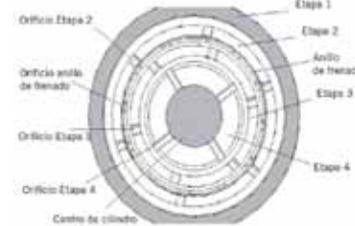


Figura 24. Render de la Vista Superior del camino realizado por el fluido hidráulico.

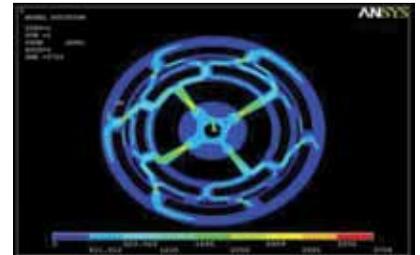


Figura 25. Distribución de velocidades del fluido hidráulico.

$$I_2 = 1100 \text{ mm}$$

$$I_3 = 1100 \text{ mm}$$

$$I_4 = 1100 \text{ mm}$$

$$I_1 = \pi/4 (115^4 - 107,25^4) = \pi/4 (174900625 - 132308944,07) = \pi/4 (42591680,9) = 33451506,2 \text{ mm}^4$$

$$F_{\text{Euler}} = \frac{\pi^2 E_{\text{vast}} I_{\text{vast}}}{\eta \cdot L e^2_{\text{actuador}}}, \text{ cuyos parámetros son tomados como:}$$

- F_{Euler} Carga de pandeo de Euler del cilindro oleohidráulico.
- F_{vast} Módulo de elasticidad del material del vástago.
- I_{vast} Momento de inercia de la sección transversal del vástago ($\pi d^4/64$).
- η Factor de seguridad que depende de la aplicación del cilindro, y oscila entre 2 y 5.

El peso del mástil con aparejo y cable es de 8,5 a 9 Tn (8.500 a 9.000 kg)
La carga crítica de Pandeo para 4.400 mm es:

$$P_{\text{cr}} = \frac{\pi^2 \cdot E}{L} \cdot \frac{1}{\frac{I_1}{I_1} + \frac{I_2}{I_2} + \frac{I_3}{I_3} + \frac{I_4}{I_4}} = 47,3 * 1/0,0027 = 17486,9 \text{ kg}$$

Donde l representa las longitudes de cada tramo o etapa del telescópico e I sus respectivos momentos de Inercia.

El módulo de elasticidad
 $E = 21090 \text{ Kg/mm}^2$
 $l_1 = 1100 \text{ mm}$

$$I_2 = \pi/4 (94,5^4 - 88,75^4) = 13908749,3 \text{ mm}^4$$

$$I_3 = \pi/4 (80^4 - 73,9^4) = 8745574,6 \text{ mm}^4$$

$$I_4 = \pi/4 (59,5^4 - 51,175^4) = 4457014,8 \text{ mm}^4$$

Ajustando para la extensión real máxima del hidráulico de 4100 mm queda:

$$P_{cr} = 50,76 * 1 / 0,0027 = 18.800 \text{ Kg}$$

El coeficiente de seguridad η o k queda unívocamente determinado por:
 $k = 18.800 \text{ kg} / 8500 \text{ kg} = 2,21$

| Para espesores mínimos de: | Espesores medidos |
|---------------------------------|-------------------|
| CAMISA (Etapa 1) = 14,05 mm | 15,5 mm |
| Cilindro 1 (Etapa 2) = 11,05 mm | 11,65 mm |
| Cilindro 2 (Etapa 3) = 10,5 mm | 12,2 mm |
| Cilindro 3 (Etapa 4) = 15,5 mm | 16,65 mm |

Conclusiones

Como se puede observar, a partir de la presentación de los Casos Estudiados, y muchos otros similares que se pueden presentar, se valida la hipótesis de trabajo de la metodología expuesta, a partir de la cual es posible predecir tanto el tipo de falla como el momento aproximado de su aparición en diversas estructuras metálicas industriales. Se ha diseñado y desarrollado una estrategia de Ingeniería Predictiva y Preventiva aplicable a diversas estructuras metálicas basada en la Teoría de Análisis de Elementos Finitos (FEA), para la obtención de un diagnóstico mecánico-metalúrgico de alta confiabilidad y que genere una alternativa plausible tendiente a disminuir los costos de mantenimiento de los equipos. El objetivo se logra a través de una programación de diversos Ensayos No Destructivos (END) sobre los equipos, y la modelización y simulación del comportamiento de los mismos a través de softwares específicos.

La cinética de este procedimiento permite aplicaciones diversas, es decir, analizar y estudiar Mega-Estructuras con distintas funciones operacionales en forma dinámica [2], así como también variadas Herramientas de Trabajo compuestas por otros tipos de Aceros, y cuyas condiciones operativas son completamente distintas a las estructurales. El método empleado, basado en la gestión de la Seguridad, permite la detección anticipada de fallas en las estructuras antes mencionadas. No es un procedimiento correctivo, ya que es capaz de predecir y prevenir situaciones futuras.

En los últimos quince años, en el país, se han lamentado accidentes correspondientes a Caídas de Mástiles o Torres Petroleras, desprendimientos de partes de Puentes Grúas y Catenarias, derrames de sustancias altamente contaminantes y/o inflamables en

Cisternas, Equipos Fracturadores, Piletas de Lodos de Perforación y Bulks o Semi-Bulks (Recipientes a Presión Móviles utilizados para el transporte de sustancias cementadoras), además de accidentes varios protagonizados por trenes, ómnibus, barcos y demás vehículos producto de fallas absolutamente técnicas.

Estas estructuras ingenieriles cuentan con propiedades definidas 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, pudiéndose calcular su vida remanente, conociendo la frecuencia característica de las mismas.

A partir de los resultados obtenidos y presentados en capítulos previos, se evidencia la posibilidad de reemplazar piezas, reparar equipos o llevar adelante acciones tendientes a mejorarlos antes de que se produzcan los accidentes y/o incidentes mencionados, evitando que estos ocurran por causas estructurales y de materiales.

A su vez, la Metodología deja en evidencia la falta o ausencia de una Ley de Seguridad en el Trabajo y Normativas de Higiene y Seguridad que trabajen de forma articulada e integral contemplando la Ingeniería Predictiva y Preventiva, de forma tal de poder evitar la gran cantidad de accidentes que se producen no solo en la Industria, sino también en ámbitos urbanos, generando como consecuencia pérdidas humanas y materiales irreparables.

Esto último se podría evitar llevando a cabo los estudios y cálculos correspondientes, haciendo uso de los enormes avances tecnológicos y científicos en materia de Ingeniería que han tenido lugar en los últimos veinticinco años.

Es muy importante, y hasta fundamental, mencionar el hecho de que la Metodología Sistemática de Trabajo tan mencionada en la presente publicación, se basa primordialmente en los Códigos y Normativas existentes y certificadas por los organismos más estrictos en el plano nacional e internacional, y mencionadas en diversos papers científicos, con lo cual se valida la misma, al respetar los Estándares de Ingeniería vigentes del siglo XXI.

A partir de los resultados y diagnósticos obtenidos en los distintos casos estudiados que se han mostrado, ha sido posible cubrir las expectativas

de los objetivos generales y específicos que se plantearon al comenzar esta metodología en 1998, publicada en el 2001 [2]. Entre otros, se pueden mencionar los siguientes:

- Determinación de la integridad estructural y cargas máximas admisibles en mástiles.
- Verificación del comportamiento del conjunto Mástil-Subestructura para Equipos de Perforación, Pulling, Workover (Terminación) y Perforación en la industria del gas y petróleo, en distintas condiciones de trabajo, así como sus diversos modos de vibración.
- Demostración de los resultados de tensiones, desplazamientos y deformaciones luego de la modelización y simulación de las estructuras.
- Análisis de falla de equipos de mástiles en operación.

Por todo lo citado, se comprueba la validez, eficacia y eficiencia de la Metodología para hacer Ingeniería Predictiva y Preventiva de una forma más sistemática y organizada, contemplando que, si se hiciese énfasis en la gestión de la Seguridad, se lograría disminuir y minimizar la cantidad de accidentes tanto en plantas industriales, como en diversas aplicaciones de campo, de la misma forma en que los resultados y mejoras en términos de Calidad y Medio Ambiente, serían una consecuencia directa, es decir, se producirían por default. ■

Prospectivas

La Prospectiva es un futuro predecible, donde los Sistemas de Gestión actuales deben integrarse a la Ingeniería Preventiva y Predictiva, bajo un marco de Gestión de Capital Intelectual (GCI), en este caso aplicado a reservorios no convencionales y convencionales.

Referencias

- [1]- Manual ABAQUS Standard, Versión 6.2, Hibbit, Karlsson & Sorensen, 2001, EEUU.
- [2]- S. Paganini, A. Pernich y J. Vivas Hohl, "Nuevo Estado del Arte en Seguridad y Mantenimiento de Torres y Mástiles Estructurales", *upstream, Petrotecnia*, agosto 2001, 41-43.