

Inspección y certificación de recipientes sometidos a presión en la industria petrolera

Carlos M. Martín – Julio Vivas Hohl
BJ Services SRL – SGS Argentina

1.- Sinopsis:

Del relevamiento de las normas nacionales e internacionales, se desprenden áreas de vacancia en lo que respecta a equipos con recipientes a presión fijos y transportables sometidos a esfuerzos dinámicos que involucran vibraciones o condiciones severas de trabajo en el campo. Sería deseable poseer un marco de referencia lo suficientemente amplio para la verificación y aseguramiento de la integridad estructural de los referidos equipos que se utilizan en la industria.

Dentro de éstos se encuentran los depósitos fijos de productos (cementos y otros) o silos, transportables o bulks y pulmones de almacenamiento de aire comprimido, entre otros.

A partir de normas y referencias internacionales y el nuevo estado del arte en la técnica, es posible establecer procedimientos que permitan realizar las verificaciones periódicas y eventuales reparaciones que garanticen la integridad de los equipos, de manera de poder operarlos, minimizando los riesgos.

En función de lo antedicho, BJ Services ha desarrollado y comenzado un proceso de inspección de todos los recipientes a presión –fijos y transportables-, que comprende los siguientes pasos:

1.- Trabajos de campo:

Recopilación de información histórica de la estructura, identificación de las zonas más solicitadas, mediciones métricas y metrológicas, medición de espesores, muestreo de materiales de construcción para determinar su composición, eventual medición de dureza, evaluación de estados de corrosión, evaluación de soldaduras por gammagrafía, líquidos penetrantes y finalmente prueba hidrostática.

2.- Trabajos de gabinete:

Modelización por elementos finitos para definir zonas de mayores solicitaciones, eventual animación, esquemas estructurales, determinación y cálculo de las presiones máximas admisibles.

En función de los resultados obtenidos en las inspecciones, es posible realizar las reparaciones necesarias –previo desarrollo de la Especificación de Procedimientos de soldadura y calificación de soldadores-, así como la calificación de los Procedimientos bajo condiciones determinadas por las Normas vigentes.

Este proceso, en conjunto con la aplicación de conceptos de ingeniería predictiva, posibilita contar con las necesarias herramientas y técnicas para la verificación de la integridad física de los equipos.

2.- Introducción:

Dentro de las prioridades establecidas en los planes de Calidad, Salud, Seguridad y Medio Ambiente de la Compañía, el aseguramiento de la confiabilidad de la totalidad de los equipos

utilizados para llevar a cabo las operaciones, fue considerado de fundamental relevancia dentro del proceso de identificación, evaluación y control de riesgos establecido en el Sistema de gestión de BJ. La visión de la ingeniería predictiva y preventiva fue incorporada como elemento clave de gestión.

Es sabido que los recipientes sometidos a presión, aún a “relativamente bajos” valores, tales como 1.5 ó 2 kg./cm² a los que operan silos y bulks, son propensos a fallas cuando las condiciones de integridad física no son adecuadas. Y basta para ello hacer un simple cálculo que relacione la presión aplicada sobre las grandes superficies que los equipos presentan, para tomar conciencia de las enormes fuerzas que se ejercen sobre las mismas. Pequeños puntos débiles pueden ocasionar roturas o explosiones catastróficas.

A manera de comentario, BJ está llevando adelante un programa de Seguridad basada en el comportamiento, y es por tanto necesario que, paralelamente, la empresa provea los medios apropiados para la aplicación segura de los procedimientos de trabajo: no sería razonable que se exigiera a los operadores el respeto de las normas, si los equipos que deben usar no están en condiciones seguras de operación.

Los recipientes sometidos a presión forman parte del mencionado proceso de aseguramiento.

Por tal motivo, y como paso inicial, se realizó un relevamiento de las normas –nacionales e internacionales- y recomendaciones disponibles, de manera de desarrollar procedimientos de inspección y certificación que abarcaran a todos los equipos.

Es necesario aclarar que, por las características constructivas y de uso de los equipos, no existen normas suficientemente abarcativas y directamente aplicables que cubran a la totalidad de los mismos: uno de los inconvenientes con que nos encontramos es que los silos y bulks no son recipientes sometidos a presión típicos, toda vez que se utilizan para almacenar y transportar productos –mayoritariamente cemento- que son movilizados y transferidos a través del uso del aire comprimido como medio; por otro lado, los bulks están montados sobre unidades de transporte que transitan por caminos de yacimientos y rutas en distintas condiciones, que los someten a vibraciones, esfuerzos dinámicos y estructurales muy particulares, y que no estando cubiertos específicamente por norma alguna, requieren por tanto una muy especial consideración.

Es por todo ello que BJ se vio en la necesidad de avanzar en la definición detallada y ejecución de los procedimientos apropiados para realizar los estudios y pruebas que son necesarios para garantizar la integridad de los equipos.

Debe tenerse en cuenta que un trabajo como el que se mostrará a continuación, debe ser integralmente realizado por profesionales y técnicos que cuenten con las necesarias calificaciones, experiencia, certificaciones y conocimiento del medio, de modo que el resultado sea el esperado.

3.- Desarrollo:

La intención inicial de la Compañía a nivel regional –Latinoamérica-, fue tomar como marco de referencia a la Norma brasilera NR-13. Dicha norma deviene del código ASME VIII y observa los lineamientos de la norma API 620, que contempla los recipientes no comprendidos en el código ASME, sumado a aspectos de mantenimiento de los mismos.

Pero, como mencionamos precedentemente, las características de nuestros equipos exigían una consideración más amplia que la ofrecida por la normativa disponible, por lo que se desarrolló el

“proceso a medida” que detallaremos a continuación, contemplando las referencias aplicables y el estado del arte en la técnica.

3.1.- Trabajos de campo

Previo al inicio de los trabajos de relevamiento en campo, se trató de recopilar la información histórica disponible de cada uno de los equipos a inspeccionar, de manera de contar con datos básicos que dieran pie al proceso de inspección.

Pero en muchos casos esta información era insuficiente o faltante, toda vez que muchos de los equipos fueron importados hace años y la documentación técnica de respaldo -que actualmente formaría parte de la información asociada a cualquier equipo que se fabrica-, no se desarrolló y archivó apropiadamente.

Por tal motivo se decidió relevar físicamente la totalidad de las estructuras, tomando este paso como punto de partida del proceso.

3.1.1.- Mediciones métricas y metrológicas:

Un equipo de técnicos dirigido por un especialista desarrolló el relevamiento dimensional de todas las unidades a ser inspeccionadas. Las mediciones métricas y metrológicas de campo fueron volcadas en esquemas estructurales en Autocad 2D y 3D.

Para la ejecución de las mediciones fue necesario el uso de equipamientos auxiliares tales como hidrogúas con canasto levantapersonas, arneses y líneas de vida para trabajos en altura y otros, en tanto se aplicó para cada operación un análisis de riesgo completo acompañado del correspondiente permiso de trabajo.

El relevamiento metrológico se llevó a cabo con un equipo láser certificado y calibrado, micrómetros y calibres.

Durante esta etapa se procedió, como primera colección de información, a la identificación visual de las áreas con fisuras, corrosión u otros signos de posible debilidad estructural, así como también se identificaron las zonas en las que se habían realizado reparaciones, modificaciones, montaje de elementos accesorios, soldaduras u otros trabajos que pudieran tener impacto sobre la resistencia física de la estructura. En algunos equipos se pudieron observar claras evidencias de áreas que habían sido sometidas a solicitaciones que generaron algún impacto.

Se procedió a la medición detallada de todas las unidades, incluyendo las instalaciones accesorias y de servicios.

3.1.2.- Muestreo de materiales y medición de dureza:

El conocimiento del tipo y calidad de acero utilizado en la construcción de las unidades es fundamental para poder realizar el cálculo de la presión máxima admisible, como así también para poder ejecutar eventuales reparaciones.

El uso de materiales no compatibles al realizar reparaciones o modificaciones genera deficiencias en las soldaduras, con el consecuente riesgo de fallas futuras.

Dicha incompatibilidad es usualmente inadvertida. Pero, durante el trabajo realizado, se pudieron observar ciertas unidades que, en sitios donde se habían agregado bridas de conexión, pasarelas, escaleras, anclajes o simplemente se habían realizado reparaciones, que tanto los materiales de aporte para las soldaduras como los componentes de chapas o perfiles agregados no eran del mismo tipo que el de construcción original, produciendo evidencias de exceso de corrosión.

Es por ese motivo que, como parte del trabajo, se tomaron muestras en frío de los aceros constitutivos de las distintas unidades, de manera de contar con información precisa para la eventual realización de reparaciones o modificaciones. Dichas muestras fueron enviadas al INTI para su caracterización.

La medición de dureza fue necesaria en algunos casos para determinar el estado del acero en cuanto a su acritud y tenacidad.

3.1.3.- Evaluación de estados de corrosión:

Parte del fin del relevamiento fue la determinación de los estados de corrosión.

Este aspecto fue realizado a través de la observación visual y de los sucesivos ensayos no destructivos ejecutados sobre las unidades, incluyendo la gammagrafía en 3D, que posteriormente se detalla.

La evaluación de los estados de corrosión permite cuantificar el grado de deterioro de los materiales y equipos, y posibilita evaluar la factibilidad técnico-económica de la eventual reparación que pudiera ser necesaria.

3.1.4.- Medición de espesores:

La medición de los espesores forma parte de la obtención de los datos que permiten la verificación del estado de los materiales, si bien en muchos casos no se contaba con los espesores originales de las chapas de acero con que se construyeron los equipos. Debe notarse que normalmente los equipos se construían con un alto coeficiente de seguridad, lo cual era logrado a través de la utilización de chapas de espesores sustancialmente mayores al que surgía de los cálculos estructurales de diseño.

De cualquier manera, la obtención de los espesores en el estado actual de los equipos en las distintas zonas de solicitación, junto con el tipo de material de construcción y el resto de los parámetros medidos y calculados, permite el cálculo de la presión máxima admisible del recipiente sometido a presión, valor fundamental y objetivo clave del trabajo.

La posibilidad de medir espesores desde una sola de las caras es una prerrogativa del método ultrasónico de examen de los materiales. En nuestro caso, esta posibilidad resultó de particular interés, pues permitió detectar a tiempo la disminución de espesores de pared de los recipientes sometidos a presión que estuvieron expuestos a desgaste por corrosión o erosión.

La ventaja de este proceso es que no fue necesario remover la película protectora del material.

Con esta determinación como dato de cálculo, es posible garantizar que el material es capaz de soportar holgadamente la presión de trabajo, contando con un coeficiente de seguridad suficiente dado, entre otras cosas, por el sobredimensionamiento.

La limitación del equipo de medición utilizado en los trabajos es que sólo puede evaluar recubrimientos que están adheridos al metal. Este instrumento posee a su vez la posibilidad de realizar un escaneo de zonas afectadas para verificar valores controvertidos en modo Scan B (2D), los que se contrastan con las gammagrafías en 3D.

3.1.5.- Líquidos penetrantes:

Con el fin de identificar fisuras en las distintas áreas de sollicitación y soldaduras en los equipos objeto de estudio, se realizaron determinaciones con el uso de líquidos penetrantes.

Esta inspección fue empleada para detectar e indicar discontinuidades que afloraban a la superficie de los materiales examinados.

En términos generales, esta prueba consiste en aplicar un líquido coloreado o fluorescente a la superficie a examinar, el cual penetra en las discontinuidades del material debido al fenómeno de capilaridad. Después de cierto tiempo, se remueve el exceso de penetrante y se aplica un revelador, el cual generalmente es un polvo blanco, que absorbe el líquido que ha penetrado en las discontinuidades y sobre la capa de revelador se delinea el contorno de ésta.

Actualmente existen 18 posibles variantes de inspección empleando este método; cada una de ellas ha sido desarrollada para una aplicación y sensibilidad específica. Así por ejemplo, si se requiere detectar discontinuidades con un tamaño de aproximadamente medio milímetro, debe emplearse un penetrante fluorescente, removible por post-emulsificación y un revelador seco. Por otra parte, si lo que se necesita es detectar discontinuidades mayores a 2.5 mm, conviene emplear un penetrante contrastante, lavable con agua y un revelador en suspensión acuosa.

3.1.6.- Evaluación de soldaduras y áreas por gammagrafía:

Dada la falta de información referida tanto a la construcción como a las reparaciones efectuadas sobre muchas de las unidades, era necesario considerar especialmente la calidad y estado de las soldaduras en las áreas críticas.

Por tal motivo, se decidió la realización de gammagrafías, procedimiento que permite la determinación de posibles deficiencias que no es posible identificar con otras metodologías.

Se realizaron placas gammagráficas de todas las zonas que presentaban alguna indicación (flaw). Las gammagrafías se realizaron con equipos de campo Amersham 660B, con fuente de Ir192, permitiendo obtener y visualizar el estado actual de todas las soldaduras y zonas donde se encontraban indicaciones de corrosión o falla.

A su vez, de cada zona afectada por corrosión, se realizó simultáneamente el control de los elementos accesorios in situ. Un desarrollo de última generación lo representa la digitalización de gammagrafías, con la posibilidad de pasar de la placa en 2D a una gráfica en 3D, que contempla el espesor remanente de metal que no ha sido corroído o desgastado, asignándole a las densidades de las placas su correspondiente valor en mm. de espesor.

Esta metodología –gammagrafía 3D- única en su tipo, fue desarrollada como método de diagnóstico de corrosión en ductos y recipientes a presión.

La ventaja comparativa de este procedimiento es que permite ver a través de la gammagrafía la presencia de posibles incrustaciones en el material, a pesar de la capa protectora, y diferenciarlas por ultrasonido.

Es importante tener en cuenta que tanto ésta como otras determinaciones se realizaron en algunos casos, una vez realizados algunos trabajos de gabinete (como se describirá más adelante), tales como la modelización por elementos finitos y cálculos de estructurales.

3.1.7.- Prueba hidrostática.

Una vez que se cuenta con la totalidad de la información proveniente de los relevamientos y mediciones, se realiza el trabajo de gabinete.

A través de dichos trabajos se determina, como se indicó anteriormente, la presión máxima admisible del recipiente sometido a presión.

Tomando como referencia la presión nominal de trabajo del equipo, se realizó la prueba hidrostática para determinar la resistencia de la unidad y verificar posibles fallas.

Recordemos que la prueba hidrostática somete al recipiente a fuerzas radiales, que se distribuyen en esas mismas, axiales y tangenciales.

La prueba se realizó, conforme establecen las normas API y el Código ASME VIII, a un 50 % por encima de la presión nominal de trabajo en recipientes de baja presión.

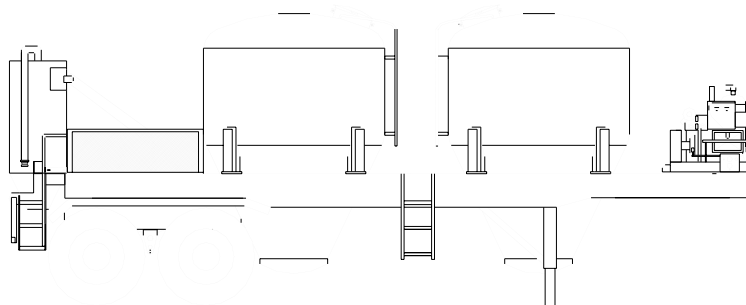
3.2.- Trabajos de gabinete:

Una vez que se dispuso de la totalidad de los datos provenientes de los relevamientos y mediciones, se comenzó a generar la documentación técnica. Se indican a continuación el resto de los trabajos de gabinete realizados, y que forman parte del estudio para el aseguramiento de la integridad de los equipos.

3.2.1.- Planos y esquemas estructurales:

Uno de los primeros resultados del trabajo de relevamiento fue la confección de los planos de las unidades en 2D y 3D. Dichos planos pasaron a formar parte de los legajos exigidos por las normas, y constituyen elementos fundamentales para el análisis de los equipos.

Una representación típica que surge del Autocad 2D puede verse en el esquema de un equipo bulk:



Los planos en Autocad 3D permiten visualizar mejor las condiciones del equipo y es preparatorio para la modelización, ya que se introducen estos datos en el software de elementos finitos Abaqus para generar los modelos:



3.2.2.- Modelización por elementos finitos:

La modelización es una etapa fundamental en la evaluación de cualquier estructura con cierto nivel de riesgo. Ésta depende de lo fidedigno que son los datos tomados de las estructuras reales y frecuencias características de las estructuras.

Por tanto, esta etapa del trabajo es de fundamental importancia, toda vez que posibilita la identificación de las zonas con distintos grados de solicitación. Sin contar con esta herramienta de análisis, es posible que queden al margen aspectos relevantes desde el punto de vista de las consideraciones de esfuerzos críticos sobre las estructuras.

Como mencionáramos, las mediciones métricas y metrológicas de campo fueron volcadas en esquemas estructurales en Autocad 2D y 3D, a partir de los cuales se realizaron los modelos computacionales con el programa de elementos finitos Abaqus.

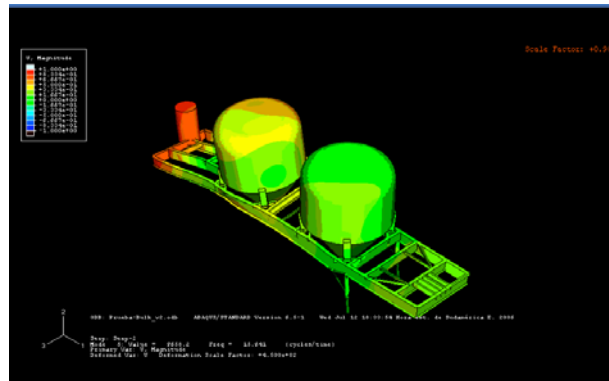
Esta metodología permite el manejo de una gran diversidad de factores, tales como la aplicación de cargas o esfuerzos provenientes de los agentes climáticos dependiendo de las zonas de localización de las unidades (vientos u otros), vibraciones o deformaciones sufridas por los recipientes a presión montados en equipos transportables u otros tipos de esfuerzos que pudieran tener influencia.

La animación permitió ver con extrema claridad las áreas calientes frente a los distintos esfuerzos.

Durante esta etapa del trabajo se realiza una evaluación del estado de tensiones, utilizando el método de análisis por elementos finitos Abaqus/Standard Versión 6.5-1, habiéndose desarrollado un modelo de elementos finitos tridimensionales con elementos cuadriláteros tipo cáscara. Se

utilizó como sistema de modelado Abaqus/CaeE de generación y visualización de modelos de elementos finitos, Versión 6.6-1.

Observamos seguidamente un instante de una animación que surge de la modelización, correspondiente a un bulk, en la cual es posible visualizar con claridad las distintas solicitaciones a que se somete un equipo:



3.2.3.- Cálculo de las presiones máximas admisibles:

La presión máxima admisible de los recipientes en su estado actual es el dato relevante que surge de todo este trabajo.

De esta manera tenemos la posibilidad de estar totalmente seguros de la presión máxima que pueden soportar las unidades, setear apropiadamente los dispositivos de seguridad (válvulas de alivio, pesostatos de compresores y otros) y establecer un programa de mantenimiento y ejecución de pruebas a futuro, en función de los resultados obtenidos.

Debe aclararse que, ya sea por erosión del material originada por el uso o bien por otros factores que surgen de los estudios, es posible que la presión máxima admisible en la condición estudiada difiera de la presión de diseño.

3.3.- Reparaciones:

Durante los trabajos de inspección surgieron las áreas de los equipos sobre las cuales fue necesario realizar trabajos de reparación, adecuación, modificación o mejoramiento, con el fin de volver las unidades a las condiciones originales u óptimas de operación.

Con el resultado de los estudios, se pudieron establecer los pasos a seguir, tales como se detallan a continuación.

3.3.1.- Especificación de Procedimientos de soldadura:

Como parte del proceso, se procedió a definir los necesarios EPS que permitieran concretar las tareas de modificación o reparación necesarias sobre las unidades.

Recordemos, como hemos mencionado precedentemente, que tanto los materiales utilizados como los elementos de aporte para soldaduras, así como también el medio y las condiciones bajo las

cuales es posible la ejecución de reparaciones bajo norma, requieren del conocimiento de los materiales apropiados como de las metodologías aplicar.

Por tanto, se definieron los procedimientos de soldadura, considerando los PQR correspondientes.

3.3.2.- Calificación de soldadores:

Si bien la ejecución de modificaciones, adecuaciones y reparaciones fue encomendada a talleres externos con la necesaria competencia –verificada por auditorías de procesos y calificaciones de soldadores realizadas en las instalaciones de los proveedores-, BJ procedió a la calificación de sus propios soldadores, de manera que pudieran verificar el cumplimiento de los procedimientos apropiados por parte de los terceros.

A su vez, esta calificación permitirá en el futuro la realización de los eventuales trabajos de reparación o modificación en las condiciones que establecen las normas, evitando incurrir en deficiencias que atenten contra la integridad de las unidades.

4.- Conclusiones:

Hemos descripto hasta aquí el trabajo que se está llevando a cabo en las unidades de BJ.

Como es posible concluir, el aseguramiento de la integridad de los recipientes sometidos a presión no pasa solamente por una simple medición de espesores o una prueba hidráulica, sino que es necesario un estudio mucho más profundo y completo, con trabajos de gabinete realizados por especialistas con significativa experiencia, herramientas y metodologías de análisis de avanzada.

La inexistencia de una normativa suficientemente abarcativa ha hecho necesario un plan de trabajo riguroso, y una especial consideración sobre el alcance del trabajo encarado.

Es común que, atento a que los niveles de presión que se manejan en las unidades objeto del presente estudio, parecerían bajos respecto a las altas presiones en juego durante las operaciones en pozos, las precauciones sean relativizadas.

Sin embargo, estas “bajas presiones” aplicadas sobre grandes superficies constituyen peligros significativos, convirtiendo a este proceso de aseguramiento en uno de altísima criticidad.

5.- Bibliografía:

API 620
API 510
Código ASME VIII
Código ASME V
Código ASME IX
EN 13445:2002
BS EN 287, 288
Ley 19587 – Decr. 351/79