

Título:

INVESTIGACIÓN, SELECCIÓN Y EVALUACIÓN EN LABORATORIO, DE UN SELLADOR ELASTOMÉRICO, PARA RELLENAR LA INTERFAZ ENTRE EL DOMO GEODÉSICO Y LA ENVOLVENTE DEL TANQUE CORTADOR N° 575 – PLANTA DE TRATAMIENTO DE CRUDO (PTC) DE PUESTO HERNÁNDEZ – NEUQUÉN.

Rocca Leonardo / YPF Tecnología / leonardo.l.rocca@ypftecnologia.com
Marcelo Marino / YPF Tecnología / marcelo.marino@ypftecnologia.com

Abstract:

En la industria del petróleo, particularmente en almacenamiento de cortes y combustibles (**Downstream**), se utilizan techos de tipo “Domos Geodésicos” contruidos en aleaciones de Aluminio e internamente poseen techos “flotantes”, con diferentes tipos de sellado, para que el fluido y el gas a contener, no fugue al medioambiente. El motivo de su creciente aplicación se debe a su óptima relación de peso, resistencia, su simple y rápido montaje, en tanques nuevos y en servicio, que reducen notablemente el plazo de ejecución de la obra.

Por los beneficios antedichos, el uso de este tipo de techos geodésicos, se extendió al ámbito del **Upstream** en tanques “Cortadores”, “Skimmer” o simplemente contenedores de petróleo y agua de formación, que poseen columnas centrales y/o platos, y/o accesorios internos, que imposibilitan la incorporación de un techo flotante. Por lo tanto, el sellado de techos geodésicos a utilizar en el **Upstream**, requieren un diseño específico de “**Unión Estanca**”, que permita el libre movimiento mecánico de la estructura, conservando la hermeticidad.

A solicitud de **YPF**, **Y-TEC** comenzó analizando la geometría del diseño estructural del domo geodésico y el sistema propuesto por el fabricante del domo, a ser instalado en el TK-575. Luego ha investigado materiales selladores elastoméricos, que permitieran la adherencia, compatibilidad del sistema de tela reforzada, superficie metálica y resistencia química al medio, petróleo, agua y alta concentración de H₂S (1000 ppm) y alta temperatura.

Y-TEC ha provisto al usuario una solución “**Integral**”, con el conocimiento de la resistencia química del sellador al medio (ensayos), propuestas de mejora en el diseño del sistema de unión, especificando mecanismos de limpieza y preparación de la superficie de los componentes, contemplando la secuencia operativa real del trabajo.

Luego de la “fase de laboratorio”, **Y-TEC** ha solicitado confeccionar dos prototipos a escala real. Un prototipo de “Aplicación”, para establecer la cantidad optima de sellador y probar el “fleje de respaldo” y bulones y arandelas para minimizar los riesgos de fugas. El segundo prototipo, denominado de “Montaje” ha permitido evaluar la secuencia operativa de trabajo a escala real.

Para asegurar la hermeticidad del sistema envolvente de Tanque-Domo Geodésico, **Y-TEC** ha recomendado seguir un Plan de Inspección y Ensayos, proveyendo un patrón que referencie la cantidad óptima de sellador aplicado, presenciando el montaje e indicó realizar la verificación de ausencia de fugas en el sistema de sellado/anclaje, realizando una prueba neumática, siguiendo los lineamientos de la normativa constructiva, **API Standard 650:2013**.

Palabras claves: Domo Geodésico, Tanque Cortador, Sellador elastomérico, Prototipo de Aplicación, Prototipo de Montaje, Hermeticidad.

INDICE

1	INTRODUCCIÓN	3
2	ANÁLISIS DEL SELLADOR	3
3	PREPARACIÓN Y ENSAYOS REALIZADOS SOBRE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE SELLADO DEL DOMO EN LABORATORIO.	4
3.1	Descripción de los ensayos realizados por Y-TEC, durante el proceso de caracterización y performance del producto/material Sellador	4
3.2	Condiciones del ambiente de exposición para el ensayo de los productos/materiales.	4
3.3	Esfuerzos mecánicos	5
3.4	Desarrollo de los ensayos propuestos por Y-TEC, para el proceso de caracterización y performance de los materiales:	5
3.5	Preparación de las superficies de las probetas	6
3.6	Simulación de la unión “membrana-membrana”	7
3.7	Aplicación del producto sellador sobre la membrana.	7
3.8	Evaluación del tiempo de curado del material sellador en condiciones de frío	8
3.9	Medición de la dureza Shore A de las probetas	9
3.10	Ensayo de Resistencia a la tracción sobre probetas con y sin envejecimiento en Autoclave.	9
3.11	Ensayo de Resistencia al cizallamiento (Shear test)	10
3.12	Conclusiones de la exposición en Autoclave sobre el sistema de sellador evaluado	10
4	ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN DEL SELLADOR SELECCIONADO Y ESTUDIO DE LOS ELEMENTOS DE SUJECCIÓN. ELABORACIÓN DE PROBETAS.	11
4.1	Generalidades “Mock Up de Aplicación”.	11
5	PLANIFICACIÓN DE LOS TRABAJOS DE MONTAJE EN EL CAMPO E IMPLEMENTACIÓN DE LOS CAMBIOS PROPUESTOS	13
5.1	Descripción de los elementos que conforman el sistema de anclaje y su disposición.	13
5.2	Descripción de las actividades realizadas en el campo	15
5.3	Recomendaciones complementarias de Y-TEC sobre requisitos para diseño y desarrollo de los trabajos:	21
6	CONCLUSIONES	23
7	BIBLIOGRAFÍA	23
8	BREVE CV DE LOS AUTORES	23

1 Introducción

En la industria del petróleo, particularmente en almacenamiento de cortes y combustibles (**Downstream**), se utilizan techos de tipo “Domos Geodésicos” contruidos en aleaciones de Aluminio e internamente poseen techos “flotantes”, con diferentes tipos de sellado, para que el fluido y el gas a contener, no fugue al medioambiente. El motivo de su creciente aplicación se debe a su óptima relación de peso, resistencia, su simple y rápido montaje, en tanques nuevos y en servicio, que reducen notablemente el plazo de ejecución de la obra.

Por los beneficios antedichos, el uso de este tipo de techos geodésicos, se extendió al ámbito del **Upstream** en tanques “Cortadores”, “Skimmer” o simplemente contenedores de petróleo y agua de formación, que poseen columnas centrales y/o platos, y/o accesorios internos, que imposibilitan la incorporación de un techo flotante convencional. Por lo tanto, el sellado de techos geodésicos a utilizar en el **Upstream**, requieren un diseño específico de “**Unión Estanca**”, que permita el libre movimiento mecánico de la estructura, conservando la hermeticidad.

YPF, compró un domo geodésico que hizo instalar en el tanque cortador de petróleo **TK-575**. Prácticamente instalado el domo, antes de su puesta en servicio, YPF ha solicitado a **Y-TEC** analizar el diseño del sello instalado y verificar la resistencia del elastómero aplicado a las condiciones de servicio operativas.

Y-TEC ha comenzado analizando el diseño estructural y de sellado propuesto por el fabricante del domo que se encontraba instalado en el **TK-575**. Como resultado del análisis se establecieron mejoras en el mismo en conjunto con el fabricante y el instalador del domo.

Luego **Y-TEC** ha investigado el material sellador elastoméricos aplicado, verificando que no resistía las condiciones de fluido que contenía el tanque, petróleo, agua y alta concentración de H_2S (1000 ppm) y alta temperatura.

Y-TEC ha provisto al usuario una solución “**Integral**”, con el conocimiento de la resistencia química del sellador al medio (ensayos), propuestas de mejora en el diseño del sistema de unión, especificando mecanismos de limpieza y preparación de la superficie de los componentes, contemplando la secuencia operativa real del trabajo.

En el cuerpo de este documento, se desarrollan los trabajos realizados por **Y-TEC** que han permitido establecer las recomendaciones técnicas de cada etapa.

2 Análisis del sellador

El principal componente que le otorgará al sistema de anclaje la propiedad de hermeticidad, es el material “Sellador” aplicado entre la interfase de todos los componentes del sistema de sellado/anclaje.

Inicialmente el producto aplicado, era de tipo “Polisulfurado” y su hoja de datos no brindaba la resistencia físico – química en las condiciones del tanque TK-575. Por lo tanto, **Y-TEC** ha procedido a ensayar el mismo en similares a las del tanque en cuestión. Los resultados de los ensayos químicos realizados no han sido satisfactorios. El elastómero instalado en el tanque, no resistiría la temperatura y fluidos con los que estarían en contacto dentro del tanque.

Por tal motivo, **Y-TEC**, luego de un pre selección de productos y materiales, ha seleccionado un producto de tipo Epoxi, con propiedades elastoméricas, que pudiese ser utilizado en conjunto con la membrana teflonada perimetral, y los componentes metálicos de anclaje, resistiendo teóricamente las condiciones de servicio. En el contexto de una pronta provisión del producto, también se ha considerado que el mismo se comercialice localmente y haya disponibilidad para la obra.

El producto/material seleccionado, ha sido un termoestable de dos componentes, con propiedades elastoméricas apropiadas según la necesidad operativa en el sello hermético del tanque, y además posee las siguientes características:

- Alta resistencia química, comportamiento elástico y viscoelástico apropiados para las condiciones operativas requeridas.
- Capacidad de relleno.
- Permanece adherido, sin escurrir, una vez aplicado sobre la superficie de la envolvente, y hasta el momento en que sea colocado el fleje de aluminio.
- Vida útil de la mezcla (Pot life) que permite su empleo dentro de los tiempos de utilización usuales para este material sobre el sello del tanque.
- Relación de mezcla sencilla.
- Bajo contenido de solventes.
- Resulta “amigable” para su aplicación en el campo.

Para el proceso de caracterización de éste material Sellador seleccionado, **Y-TEC** ha realizado la preparación de probetas representativas del sistema de sellado diseñado para el Tanque Domo, y así evaluar su comportamiento e integridad luego de someterlas a los diferentes ensayos de laboratorio, simulando las mismas condiciones operativas a las cuales estará sometido posteriormente en el tanque.

3 Preparación y Ensayos realizados sobre los componentes del sistema de sellado del domo en Laboratorio.

3.1 Descripción de los ensayos realizados por Y-TEC, durante el proceso de caracterización y performance del producto/material Sellador

A continuación se describen los ensayos realizados por **Y-TEC**, para la evaluación del material Sellador:

- Exposición en Autoclave, para evaluar la resistencia del sistema de la membrana laminada en Teflón y el Sellador, sometidos a los vapores del fluido, que contiene el tanque TK-575.
- Evaluación del aspecto, color, absorción del fluido e hinchamiento luego de la exposición respecto a una probeta de referencia.
- Ensayo de Resistencia a la tracción.
- Ensayo de Resistencia al cizallamiento.
- Elongación del material.
- Dureza Shore A.
- Curado a baja temperatura (por las condiciones en las que sería aplicado el sellador).

3.2 Condiciones del ambiente de exposición para el ensayo de los productos/materiales.

- Capacidad de almacenamiento del Tanque N° 575: 6000 m³
- Fluido contenido: Agua de Formación + Petróleo.
- Exposición del sistema de sellado del Domo en la fase: Vapor.
- Concentración de H₂S: 800 ppm.
- Temperatura de exposición: 80°C - 82°C informado por el sector de operación del tanque.

- Presión: 0,2 Kg/cm².
- Membrana reforzada laminada con teflón (PTFE).

3.3 Esfuerzos mecánicos

- Movimientos de dilatación de los metales (envolvente, techo, flejes, nodos) durante la operación normal del domo.
- Presión máxima de operación del tanque sobre la membrana y sellador (200 mm de columna de agua).

3.4 Desarrollo de los ensayos propuestos por Y-TEC, para el proceso de caracterización y performance de los materiales:

En las siguientes figuras se observa el equipamiento utilizado para la realización de los ensayos de exposición en autoclave. También se observa el posicionamiento final de las probetas dentro del liner de vidrio utilizado en el interior del autoclave, la distancia de separación entre las mismas mediante el empleo de arandelas de teflón, la altura del fluido y el volumen para la fase vapor.



Fig. N° 1. Liner de vidrio, arandelas de teflón y probetas, para el armado del ensayo.



Fig. N° 2. Equipo de Autoclave utilizado.



Fig. N° 3. Probetas dentro del liner del autoclave.

En el ensayo de autoclave, se ha realizado el registro continuo de la temperatura, fijada en 60°C, durante todo el período de prueba de exposición de las probetas.

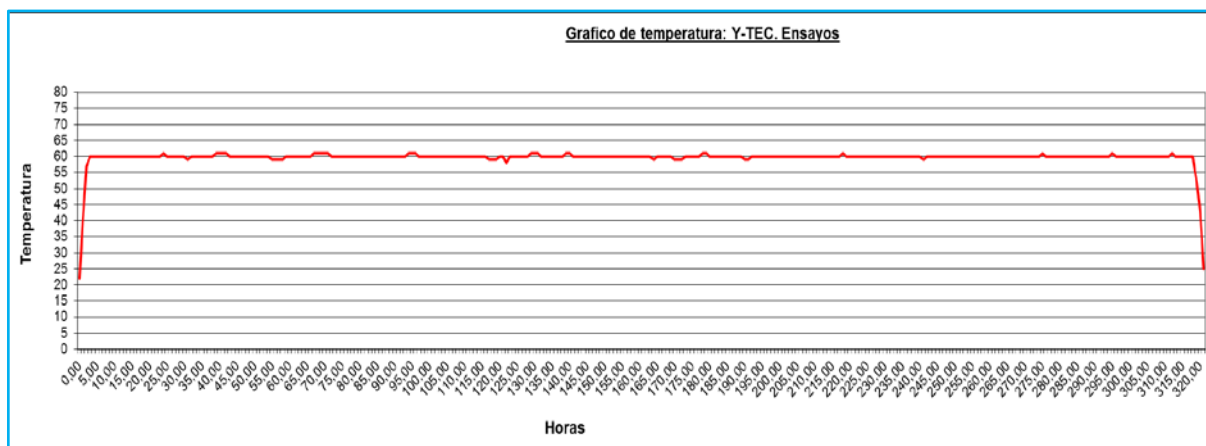


Fig. N° 4. Registro de la temperatura del autoclave, fijada en 60°C durante el transcurso del ensayo.

3.5 Preparación de las superficies de las probetas

El objetivo de esta etapa, ha sido realizar un trabajo sobre las probetas, representativo de la operatoria a realizar en campo, utilizando el productos/materiales que componen el sistema de sellado/anclaje del Domo Geodésico del tanque. Éste procedimiento también ha sido aplicado para la preparación de superficie sobre la membrana laminada en teflón.

A través de un método manual-mecánico se realizó la preparación de superficie con papel abrasivo N° 80 y N° 100, sobre las probetas de acero y las de aluminio, en una extensión de 50 mm, sobre la cual se realizara el solapamiento con los materiales que componen el sistema de sellado del tanque.

Posteriormente a la preparación de la superficie, cada probeta ha sido marcada con un fibrón indeleble, mediante líneas punteadas, indicando la zona de solapamiento, la cual es representativa de la extensión del ajuste del cierre hermético del sistema sellado/anclaje entre el ángulo cantonero de la envolvente + la aplicación de sellador + membrana teflonada + aplicación de sellador + fleje de Aluminio + componentes de ajuste (tornillo, arandelas y tuercas).



Fig. N° 5. Preparación de la superficie sobre las probetas de acero y membrana.

Luego, se ha realizado la limpieza de la superficie tratada, con el objetivo de remover restos de polvo sobre la superficie tratada.

3.6 Simulación de la unión “membrana-membrana”

El objetivo de la preparación de éstas probetas ha sido reproducir y ensayar el solape de “membrana – sellador – membrana” que aparecerá cada vez que finalice la extensión de un rollo de membrana provisto por el fabricante, que no alcanza para todo el perímetro y se deba realizar el empalme para dar continuidad del cierre hermético del Domo con la membrana teflonada.

Se han cortado 20 láminas pequeñas de la membrana de teflón, con una longitud de 80 mm y marcadas a un solape de 50 mm, para luego poder realizar ensayos de adherencia por tracción (lap shear) sobre un solape membrana con membrana. Dicho ensayo representará las condiciones a la cual será aplicada y se determinará el máximo esfuerzo que resiste el sistema.

Para la preparación de superficie sobre las láminas de membrana, se utilizó papel abrasivo N° 100 para proporcionar rugosidad/activación de la superficie sobre la capa de teflón.



Fig. N° 6. Preparación de superficie de las probetas de la lámina de teflón.



Fig. N° 7. Aplicación del producto sellador en las láminas de membrana.

3.7 Aplicación del producto sellador sobre la membrana.

Para la aplicación del producto sellador, han sido mezclados los dos componentes, componente “A” (color Blanco) y componente “B” (color Azul), en una relación estequiométrica, de acuerdo a su hoja de datos, de 1:1 en volumen.

Durante la aplicación del material sobre las partes del sello, ambos componentes del sellador se mezclaron manualmente con una espátula durante 20 minutos, hasta lograr la homogeneidad de la mezcla, que se puede apreciar cuando no quedan vetas de alguno de los dos colores componentes y la coloración resultante es celeste uniforme.

Cabe destacar, que este producto en reposo tiene una elevada viscosidad ($\approx 15.000\text{cP}$) y un comportamiento tixotrópico, ocasionando que para mezclar y/o aplicar correctamente el mismo, se debe elevar la tasa de corte (agitación enérgica), esto provoca una reducción de la viscosidad inicial, permitiendo reducir los tiempos de mezclado o hacerlo más fluido durante la aplicación.

La aplicación del producto sellador, sobre cada superficie metálica, ha sido realizada utilizando la misma espátula de mezclado. El motivo de la selección de este elemento, se debe a que con una sola herramienta, se podía retirar cada uno de los componentes del sellador desde su recipiente correspondiente, mezclarlo y luego aplicarlo. Como otras ventajas, este elemento permite esparcir, presionar el producto sobre la superficie y regular mediante la velocidad de movimiento, la viscosidad del producto, de acuerdo a la necesidad del operario y la zona donde se encuentre realizando la aplicación.

La aplicación fue realizada en laboratorio, en una atmosfera con condiciones ambientales controladas:

- Temperatura ambiente de 23,2 °C
- Humedad relativa ambiente 51,9%
- Temperatura de punto de rocío 11,0°C
- Temperatura de sustrato 21 °C
- Diferencia entre temperatura de sustrato y punto de rocío: 10°C



Fig. N° 8. Aplicación del Sistema: Probeta de acero al carbono + sellador + membrana de teflón + sellador + probeta de Aluminio.

Una vez finalizada la preparación de las probetas, y verificado su curado final, estas han sido colocadas en el ensayo de exposición dentro del autoclave, para la evaluación de desempeño a las condiciones de servicio correspondientes al Tanque Domo.

3.8 Evaluación del tiempo de curado del material sellador en condiciones de frío

A los efectos de simular las condiciones de aplicación y curado a bajas temperaturas (posible caso de aplicación en Neuquén); se ha realizado la aplicación de sellador sobre probetas, en un espesor similar al de la aplicación en campo.

Se ha aplicado sobre dos chapas de acero al carbono el producto sellador, e inmediatamente una de ellas se colocó en una heladera, a una temperatura controlada de 8°C. Se la evaluó hasta que adquiriera un valor de dureza Shore A constante, similar a la probeta que estaba expuesta a temperatura ambiente. Se le ha realizado mediciones periódicas, recolectando los datos de la medición.

3.9 Medición de la dureza Shore A de las probetas

La medición de dureza Shore A ha sido realizada en laboratorio, de acuerdo a la norma **ASTM D2240-05 (R2010)** Standard Test Method for Rubber Property - Durometer Hardness; utilizado un durómetro Elcometer 3120.

Condiciones ambientales de la probeta a temperatura ambiente y durante la medición de dureza:

- Temperatura ambiente: 24,1 °C
- Humedad relativa ambiente: 43,3 %
- Temperatura de punto de rocío: 9,9 °C
- Temperatura de sustrato: 19,4 °C
- Diferencia entre temperatura de sustrato y punto de rocío: 9,5 °C

Transcurridos 4 días desde la aplicación del producto **sellador** y luego de su exposición dentro de la heladera, a una temperatura de 8°C, se ha obtenido el valor de Dureza de: **70 Shore A**. El valor obtenido es similar al del producto curado a temperatura ambiente luego de 7 días.



Fig. N° 9. Medición de dureza sobre probeta con curado a bajas temperaturas.

3.10 Ensayo de Resistencia a la tracción sobre probetas con y sin envejecimiento en Autoclave.

El objetivo inicial ha sido establecer un valor de referencia en probetas donde ha sido aplicado el sistema de sellado y sin exposición en Autoclave. Este ensayo permite determinar la línea base, para luego poder establecer si las probetas envejecidas en autoclave sufren una merma en la resistencia a la tracción.

Desarrollo de las pruebas de resistencia a la tracción sobre las muestras de sellador sin envejecimiento:

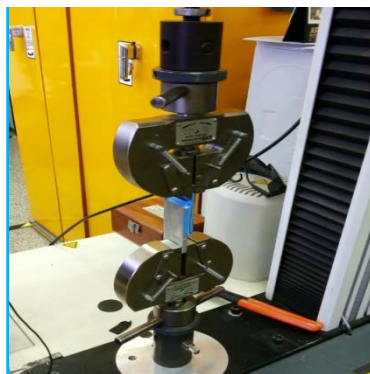


Fig. N° 10. Medición sobre probetas sin exposición al medio de servicio del tanque.

Prueba realizada luego del envejecimiento de las probetas en Autoclave:

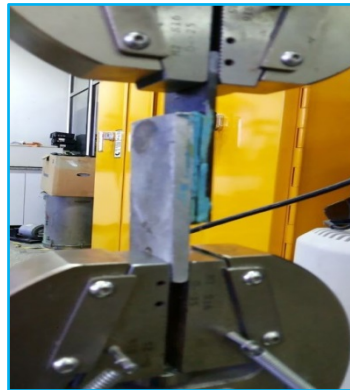


Fig. N° 11: Medición sobre probetas sometidas en Autoclave durante 21 días.

3.11 Ensayo de Resistencia al cizallamiento (Shear test)

Con el objeto de simular el efecto ocasionado sobre la membrana y el sellador, debido a los movimientos del techo flotante y los esfuerzos a los cuales estará sometido el sistema de sellado, se han realizado ensayos de resistencia al cizallamiento, sobre las probetas fabricadas de acuerdo al **Sistema₁** definido como: **Probeta de acero al carbono + sellador tipo elastomérico + membrana de teflón + sellador + probeta de Aluminio + componentes de sujeción (tornillos-arandelas de teflón y acero inoxidable,-tuercas).**

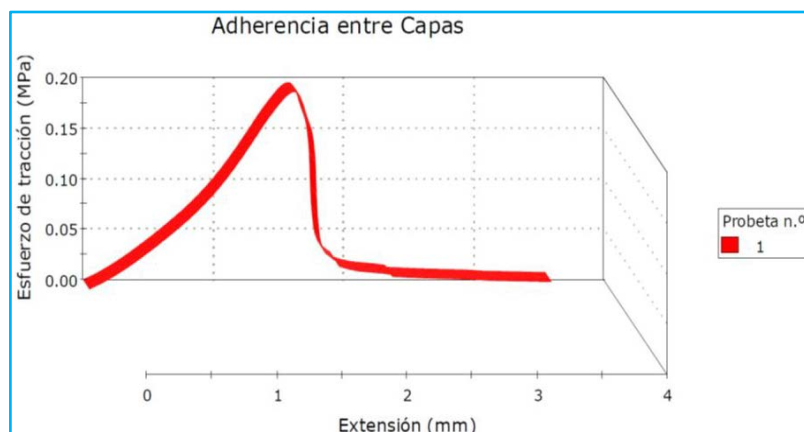


Fig. N° 12: Ensayo de Resistencia al cizallamiento

3.12 Conclusiones de la exposición en Autoclave sobre el sistema de sellador evaluado

Sobre las probetas que han sido expuestas a los vapores de servicio, no se ha observado degradación en sus propiedades respecto a las propiedades físico-químicas inicialmente y utilizadas como línea base. No se ha observado ablandamiento, hinchamiento o disminución abrupta de las propiedades mecánicas.



Figs. N° 13. Evaluación de las muestras transcurrida 7 días de exposición en Autoclave.

4 Análisis de la aplicación del sellador seleccionado y estudio de los elementos de sujeción. Elaboración de probetas.

4.1 Generalidades “Mock Up de Aplicación”.

Luego de haber seleccionado y evaluado el desempeño del producto sellador a utilizar se continúa con el proceso de aplicación y su implementación en el campo.

Por lo antedicho y con el objeto de realizar una “prueba de aplicación”, representativa del trabajo a futuro que se realizara en el campo, **Y-TEC** ha construido un “Mock Up de aplicación”, el cual permite establecer los criterios para la aplicación del sellador y el “patrón de aceptación” para esta tarea, la colocación y ajuste de los bulones, de las arandelas, de la membrana teflonada y del fleje de sujeción.

A criterio de **Y-TEC**, las tres superficies (la superficie de acero al carbono con recubrimiento anticorrosivo, el fleje de aluminio y la membrana teflonada), deben tener un tratamiento superficial especial, previo a la aplicación del sellador y del montaje del sistema.

La prueba del trabajo realizado, sobre el “Mock Up de aplicación”, ha permitido a **Y-TEC** establecer:

- ✓ Las cantidades adecuadas de sellador en relación al espesor colocado, la uniformidad de la distribución del material.
- ✓ El tipo de arandelas de respaldo a emplear.
- ✓ El aspecto visual finalizado el montaje.
- ✓ El aspecto del “rebalse” del sellador luego del ajuste del conjunto bulón-tuerca, que permite minimizar el riesgo de posibles fugas entre el sellador y las superficies con las que se encuentra en contacto.

4.1.1 Preparación de la superficie de los componentes del Mock Up de aplicación:

- 1) Lavado la superficie de la membrana teflonada, y de la superficie de la chapa de acero al carbono recubierta utilizando una solución de agua potable con 5 % en volumen de un detergente industrial neutro, a temperatura ambiente.
- 2) Enjuague con agua potable.
- 3) Secado empleando un paño de algodón limpio y seco.
- 4) Lijado de las superficies de la membrana teflonada y del recubrimiento existente sobre la chapa de acero al carbono, utilizando papel con abrasivo de óxido de aluminio grado #100, sobre una extensión en cada superficie de 250 mm de largo y 40 mm de ancho.

- 5) La extensión mencionada de 40 mm ha sido tomada desde el borde cercano a los orificios, tanto sobre la membrana teflonada como sobre la chapa de acero al carbono recubierta.
- 6) Eliminación del polvo residual que pueda haber quedado sobre cada superficie empleando un paño de algodón, limpio y seco.
- 7) Aplicación del sellador sobre la membrana teflonada y sobre la superficie de la chapa de acero al carbono provista con un sistema de recubrimiento anticorrosivo.



Fig. 14. Preparación de superficies sobre los componentes

Y-TEC ha establecido que el espesor óptimo del sellador a aplicar sobre cada superficie es de 4 a 5 mm.

Para facilitar la medición de éste espesor de capa de sellador, durante la aplicación en el campo, sin la utilización de un medidor de espesor de capa húmeda, se ha generado una “galga testigo” constituida por una lámina de material sellador polimerizado de espesor 4 mm, la cual ha sido entregada al contratista responsable de la realización de los trabajos en campo.

En la **Fig. 15** se ilustra el modo de realizar el control del espesor de la capa de sellador aplicada en el curso de su colocación.



Fig. 15. Control de espesor de capa húmeda con la “galga testigo”.

4.1.2 Aspecto del Mock Up de Aplicación luego de aplicado el sellador

En la **Fig. 16** se ilustra el Mock Up de Aplicación, y el sistema de sellado, junto con el sellador aplicado y la membrana teflonada en sus correspondientes lugares.

Sobre el mismo, se pueden observar distintas características, como la cantidad y uniformidad del sellador, ancho de la zona de aplicación del mismo, arandelas de teflón colocadas sobre el lado del fleje y arandelas metálicas del reverso y el “rebalse” producido ante el ajuste de los bulones de sujeción.

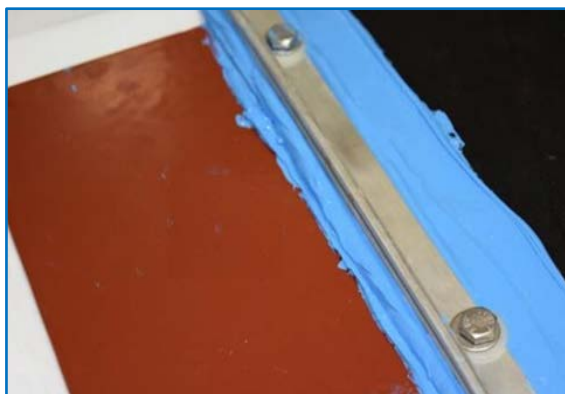


Fig. 16. Aspecto del sellador aplicado con el “rebalse” resultante.

El “Mock Up de Aplicación” terminado, ha sido presentado por **Y-TEC** al contratista durante la “**Reunión de Iniciación de los Trabajos**”, para ser considerada como la “superficie de referencia” que permitirá asegurar la calidad de los mismos.

Ésta reunión ha tenido por objeto, además, clarificar todos los aspectos de la realización de los trabajos sobre la base de los requisitos del Plan de Inspección y Ensayos (PIE), previamente aprobado por **YPF / Y-TEC** y se han definido el alcance de las funciones, de las responsabilidades y de la autoridad de cada inspector: inspector del contratista e inspector del fabricante de los materiales y supervisor de montaje. En esa misma reunión se establecieron las secuencias de los trabajos a realizar.

5 Planificación de los trabajos de montaje en el campo e implementación de los cambios propuestos

5.1 Descripción de los elementos que conforman el sistema de anclaje y su disposición.

El sistema de anclaje para el sellado del Domo Geodésico del Tanque No. 575, se encuentra compuesto y dispuesto del modo que sigue. Se describen los componentes desde el interior del tanque hacia el exterior, siguiendo la secuencia de montaje:

- Tornillo y arandela de acero inoxidable.
- Fleje de aluminio.
- Producto Sellador
- Membrana Teflonada.
- Superficie de acero al carbono (“ángulo cantonero” de la envolvente), que posee un recubrimiento anticorrosivo aplicado.
- Arandela de Teflón, arandela y tuerca de acero inoxidable.

Para este sistema se han definido dos zonas, denominadas respectivamente “**Zona de Unión No. 1**” que comprende la unión entre la membrana teflonada y la superficie de la envolvente, y “**Zona de Unión No. 2**”, que comprende la unión entre la membrana teflonada con el “faldón” y el “contra-faldón”, del Domo Geodésico.

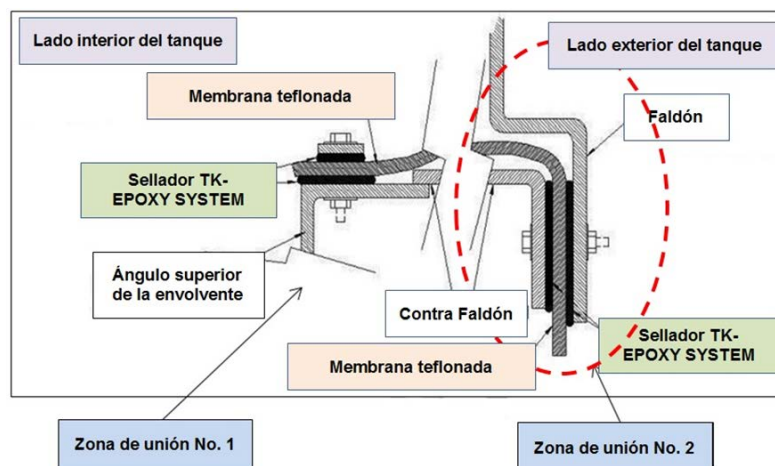


Fig. 17. Esquema que describe el sistema de sellado / mecanismo de anclaje adoptado, para ambas Zonas de Unión No. 1 y No. 2 respectivamente.

En la “Reunión de Iniciación de los trabajos”, desarrollada previamente al inicio de los trabajos, **Y-TEC** ha indicado la incorporación en el documento denominado **Plan de Inspección y Ensayos (PIE)**, de los siguientes ítems para cada etapa de los trabajos:

1) Recepción de los productos a utilizar:

- Recepción del producto sellador.
- Control de la integridad de los envases, control de la fecha de vencimiento, cantidades, etc.
- Verificación del Certificado de identificación del producto (**CIPR**) de cada uno de los componentes del producto sellador utilizado, hoja de datos de seguridad (**MSDS**) y hoja con las instrucciones para la aplicación provistas por el fabricante.
- Recepción de la membrana teflonada
- Control de la integridad del envase, cantidades, etc.
- Verificación del Certificado de identificación del producto (**CIPR**) del producto, hoja de datos de seguridad (**MSDS**).

2) Preparación de la superficie sobre componentes de acero recubierto

- Verificación de la eliminación del sellador existente.
- Lavado de la superficie. (Eliminación de contaminantes. Cepillado). Control visual de la limpieza.
- Generación de perfil de anclaje por lijado manual. Papel con abrasivo #100, composición óxido de aluminio. Control de la zona tratada.
- Eliminación del polvo residual presente sobre la zona de la superficie que ha sido tratada, utilizando un paño limpio.

3) Preparación de la superficie sobre la membrana teflonada

- Lavado de la superficie teflonada. Control visual de la limpieza.

- Activación de la zona de la membrana teflonada que formará parte del sistema de sellado utilizando papel con abrasivo #100, composición óxido de aluminio. Control de la activación sobre la capa de teflón.
- Eliminación del polvo residual presente sobre la zona de la superficie que ha sido tratada, utilizando un paño limpio.

4) Aplicación de sellador:

- Control de las condiciones ambientales.
- Preparación del sellador. Verificación de la relación estequiométrica de mezcla.
- Control de vida útil de la mezcla. Pot life.
- Control visual de la uniformidad del espesor de capa y del ancho de la banda del sellador aplicado.

5) Verificación de Estanqueidad del sistema de sellado/anclaje:

- Control visual sobre **100%** del perímetro de la unión entre la envolvente y el techo de Domo Geodésico. **Criterio de aceptación:** no se admiten fugas.
- **Normativa aplicable al ensayo de Control de estanqueidad:** API Standard **650:2013** - Welded Tanks for Oil Storage Ítem **F No. 4.4**.

5.2 Descripción de las actividades realizadas en el campo

La Reunión de Iniciación de los Trabajos, se ha desarrollado con los siguientes objetivos:

- Consensuar con el contratista e **YPF**, sobre la factibilidad del cumplimiento de las propuestas realizadas por **Y-TEC**.
- Verificar los recursos técnicos disponibles en el lugar de realización de los trabajos.
- Asegurar la disponibilidad de los productos a utilizar.
- Clarificar los criterios para la secuencia operativa.
- Clarificar los criterios para la realización de la prueba de estanqueidad, requerida al finalizar los trabajos de montaje del sistema de sellado.
- Clarificar los criterios para el manejo de la gestión de la calidad, la seguridad y el Medio Ambiente.

5.2.1 Trabajos de desmontaje y preparación de la superficie de los componentes

Culminado el desmontaje, se ha procedido a retirar el sellador existente, sobre la totalidad de la extensión del “**ángulo cantonero**” perimetral a la envolvente del tanque, y sobre todos los componentes del sistema de sellado que puedan contener residuos del sellador antiguo.

Dentro de los componentes constitutivos del sistema de sellado del tanque, hemos verificado la existencia de dos tipos de superficies, con características disímiles:

- Superficie del “**ángulo cantonero**” la cual, como se ha indicado en el ítem anterior, se encontraba recubierta con el Sistema Epoxi, correspondiente a la superficie interior del tanque.
- Superficie de los “**faldones**” y de los “**contra-faldones**”, contruidos en aluminio.

Estas condiciones de las superficies han determinado la necesidad de aplicar un proceso diferente para la preparación de cada una de éstas áreas que estarán en contacto con el producto sellador.

Con el fin de establecer una referencia visual (Patrón de referencia), se ha realizado una “limpieza de prueba” sobre un sector del “ángulo cantonero” (**Zona de Unión No. 1**), bajo la supervisión de **Y-TEC**. Esta “limpieza de prueba” ha permitido a **Y-TEC** establecer de modo definitivo la metodología de limpieza, el grado de terminación de la superficie y el grado de limpieza, sin producir daños sobre el sistema de recubrimiento existente sobre la superficie bajo tratamiento.



Fig. 18. Aspecto de la superficie del “ángulo cantonero” antes y después del tratamiento de “limpieza de prueba”

5.2.2 Superficie de los “faldones” y de los “contra-faldones”

La remoción del sellador de la superficie de estos componentes, ha sido realizada con herramientas diferentes a las empleadas en sobre la superficie del “ángulo cantonero”.

Estas características han permitido utilizar para la limpieza herramientas manual-mecánicas provistas con papel o bien con disco con abrasivos de óxido de aluminio, que brindan mayor velocidad a las tareas y, como ventaja adicional, otorgan rugosidad a la superficie y aseguran la remoción de la capa pasivante existente sobre el sustrato de aluminio.



Fig. 19. Aspecto de la superficie del “faldón” después del tratamiento de limpieza – “superficie de referencia.”

Al finalizar la limpieza manual y/o manual mecánica del “faldón” y del “contra-faldón”, se ha realizado una limpieza final utilizando un paño de algodón limpio y seco; para remover polvo, suciedades y restos de sellador desprendido.

5.2.3 Lavado

Para el lavado de la superficie ha sido empleada una solución al 5 % de agua potable y detergente industrial, proyectando la solución con alta presión hidráulica, y cepillando simultáneamente la zona bajo tratamiento, con el objeto de remover restos de material desprendido, polvo, grasas y aceites o cualquier otro residuo que pudiera quedar sobre la superficie.

5.2.4 Aplicación del producto sellador

Para la aplicación del producto sellador seleccionado debe realizarse la mezcla de los dos componentes, “A” (color Blanco) y “B” (color Azul), en una relación estequiométrica, de acuerdo con la información que brinda el fabricante en la respectiva instrucción para la aplicación. Esta relación es de 1:1 en volumen.

Cabe señalar que la mezcla en reposo tiene una elevada viscosidad ($\cong 15.000$ cP), y un comportamiento tixotrópico. Esta propiedad determina la conveniencia de aplicar una “agitación enérgica” (alta tasa de corte) sobre el material en el curso del mezclado para generar una reducción de la viscosidad inicial, lo que permite reducir los tiempos de mezclado y de hacerlo más fluido durante la aplicación.

La aplicación del producto sellador, sobre cada superficie metálica, ha sido realizada utilizando la misma espátula que ha sido empleada para el mezclado. Este recurso permite utilizar una única herramienta para retirar cada uno de los componentes del sellador desde su recipiente correspondiente, mezclarlo y luego aplicarlo.

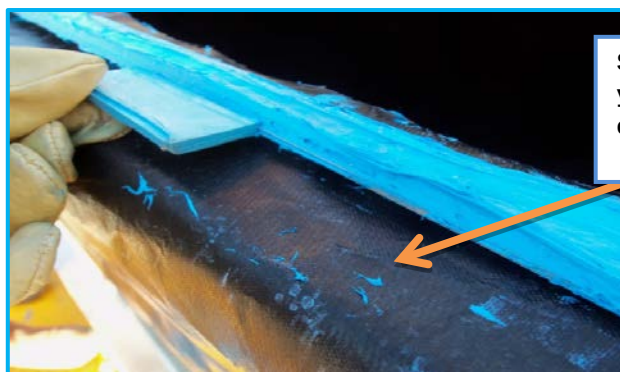
También permite esparcir, presionar el producto sobre la superficie y regular la viscosidad del producto variando la velocidad de movimiento de la herramienta de acuerdo con la necesidad del operario y de las características de la zona donde se encuentre realizando la aplicación.

Esta aplicación asegura el sellado de este sector, debido al rebalse del sellador por los huelgos, luego del ajuste del mecanismo utilizando bulones y arandelas.

En la aplicación se ha adicionado una cierta cantidad **en exceso** de sellador dentro de los orificios, cuidando de asegurar el llenado de todas las cavidades.

Cabe señalar que al realizar el ajuste de las uniones abulonadas, ha resultado que el exceso de material sellador genere un **rebalse** en la zona de ajuste, completando todos los intersticios debido a la misma presión del ajuste.

En la **siguiente** se incluye una imagen de la aplicación del sellador del lado **externo**, sobre la **Zona de Unión No. 1**, y el modo de controlar el espesor de material aplicado utilizando la “galga testigo”, construida con una capa de sellador ya curado.



Se indica el fleje que ya se encuentra con el sellador aplicado.

Fig. 20. Medición del espesor de capa de sellador, utilizando la “galga testigo”, en el curso de la aplicación.

5.2.5 Unión de membrana (Solape)

La membrana teflonada utilizada para el sistema de sellado, ha sido provista con forma de rollo de aproximadamente 500 mm de ancho y varios metros de largo. Estas condiciones han permitido realizar el montaje rodeando el perímetro del tanque, generando una sola unión (solape) entre el extremo “inicial” y el “final” de la membrana teflonada.

La unión de los extremos de la membrana teflonada (solape), ha sido realizada del siguiente modo:

- Limpieza de la superficie utilizando un paño limpio, sobre los dos extremos de la membrana a unir (sobre la zona de solape).
- Solapado de ambos extremos sobre una extensión de aproximadamente 80 mm, presión sobre la zona de solape aportando de calor sobre esta zona utilizando un dispositivo apropiado.
- Colocación de dos pinzas metálicas, en los extremos, para sujetar la unión y evitar su desplazamiento durante la operación de termo fusión.
- Aplicación de presión sobre la zona de solape empleando un rodillo de Teflón, hasta eliminar las oclusiones de aire que pudieran haber quedado atrapadas durante la colocación de un extremo de la membrana teflonada sobre el otro, y asegurando la unión de la membrana teflonada sin discontinuidades.

5.2.6 Montaje - Zona de unión No. 2

Durante los trabajos de aplicación, se indicó aplicar el sellador en exceso, de modo de asegurar el rebalse del producto durante el ajuste del sistema. El exceso de material final fue redistribuido uniformemente a los efectos de mejorar el aspecto de acabado.



Fig. 21. Terminación del sellador sobre el “faldón”.

El montaje del “faldón” y del “contra-faldón” ha sido realizado sobre la base de la siguiente secuencia de tareas: **Sistema montado completo en la Zona de Unión No. 2 : bulón + arandela + arandela de goma + faldón + sellador + membrana + sellador + arandela + tuerca.**



Fig. 22. Aplicación del sellador sobre el “contra-faldón”, luego del montaje.



Fig. 23. Aplicación del sellador sobre el “contra-faldón”, luego del montaje.

Una vez realizado el ajuste del sistema completo de sellado en la **Zona de Unión No. 2: “contra-faldón” – membrana teflonada – “faldón”**, se ha verificado que el material sellador aplicado previamente sobre la cavidad del orificio en cantidad apropiada, y antes de la colocación del bulón, produce, luego del ajuste de los bulones-arandelas-tuercas, el **rebalse** deseado de modo parejo alrededor de la arandela metálica, asegurando el sellado perimetral, en la zona de orificios del “faldón”.

Para el espaciado entre cada zona de ajuste (de bulón a bulón), para el sistema de sellado en la **Zona de Unión No. 2**, ha sido adoptada la extensión de 50 mm. Este criterio cumple con lo solicitado por **Y-TEC** para minimizar la posibilidad de fugas en la mencionada zona.

5.2.7 Prueba de estanqueidad del sello perimetral del tanque

5.2.7.1 “Prueba de estanqueidad parcial” de la Zona de Unión No. 1

Dada la problemática respecto a la dificultad de reparar una eventual fuga del sistema de sellado una vez que se haya montado y ajustado en la **Zona de Unión No. 1**, y en particular sobre la zona del “ángulo cantonero” de la envolvente del tanque, se ha procedido a realizar la “**prueba de estanqueidad parcial**”.

Para realizar esta prueba, el producto sellador debe estar completamente polimerizado (curado), para no tomar el riesgo de generar fugas en la zona evaluada al realizar el ensayo con el producto sellador no curado.

Luego de ser aplicado el sellador en la zona, se dejaron transcurrir 5 días y se procedió a la verificación de la presencia de fugas, utilizando una solución jabonosa sobre el lado interior del tanque.

Para la verificación de la estanqueidad del sistema de sellado, se procedió a inyectar aire a presión desde la parte inferior de la membrana teflonada y, de modo simultáneo, desde el otro lado de la misma se controló visualmente la posible formación de burbujas por presencia de fugas, sobre toda la zona.

Para un correcto mojado y distribución de la solución jabonosa, la aplicación de la misma ha sido realizada mediante el empleo de un pincel.

Una vez finalizado el ensayo, se ha realizado el hidrolavado de la superficie, para remover la solución jabonosa aplicada durante la verificación de estanqueidad del sistema de sellado.

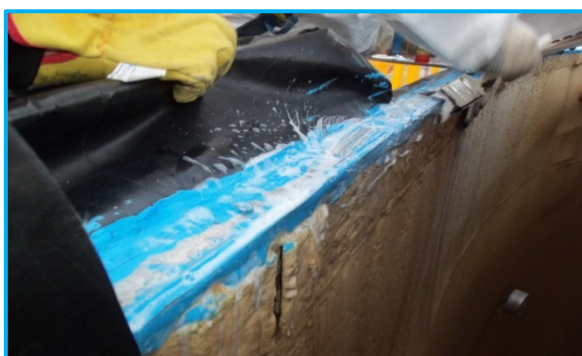


Fig. 24. Aplicación de solución jabonosa sobre la primera unión de la membrana al "ángulo cantonero" – Vista desde el lado interior.

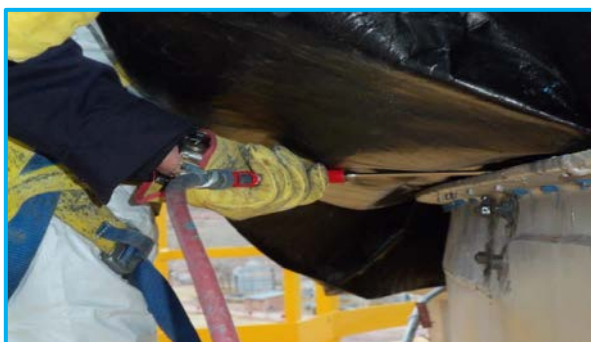


Fig. 25. Aplicación de aire a presión sobre la Zona de Unión No. 1 - Vista desde el lado exterior del tanque.

5.2.7.2 "Prueba de estanqueidad final" de Zona de Unión No. 1 y de Zona de Unión No. 2.

Con el objeto de verificar la ausencia de fugas en el sistema de sellado, montado sobre el **Tanque No. 575**, **Y-TEC** ha recomendado realizar la verificación de la estanqueidad del sistema de sellado, de acuerdo con lo indicado en la norma **API Standard 650:2013, Caso No. 1, Ítem F No. 4.4**. Este caso es aplicable cuando la presión interna del tanque no excede la que genera el **peso de la envolvente + el techo + la estructura**).

La norma mencionada presenta su edición en idioma inglés. **Y-TEC** ha realizado la traducción al castellano de algunos párrafos del **Ítem F No. 4.4 de la norma**, considerados relevantes para su análisis en la **Reunión de Iniciación de los Trabajos**, y para ser considerados durante las tareas asociadas al ensayo de verificación de la hermeticidad del sello y las zonas de interés.

El texto mencionado es el siguiente:

“Cuando los trabajos sobre el tanque se hayan completado, el mismo deberá ser llenado con agua hasta alcanzar el nivel del ángulo superior o el nivel de altura de líquido para el cual fue diseñado, y luego se deberá aplicar sobre el recinto entre el nivel de líquido y el techo del tanque (es decir sobre el espacio por encima del nivel del agua), una presión equivalente a la presión interna de diseño, y deberá ser mantenida durante un período de 15 minutos.

Luego, la presión del aire se irá reduciendo hasta la mitad de la presión de diseño, y luego todas las uniones selladas o soldadas, por encima del nivel del líquido, serán verificadas para asegurar que no existan pérdidas o fugas, mediante la utilización de una solución jabonosa (película de jabón), aceite de linaza, u otro material disponible, previamente acordado. Los venteos del tanque deberán ser ensayados a su vez durante o después de este ensayo”.

En la reunión se ha acordado que todos los instrumentos a utilizar durante la prueba de estanqueidad, tales como los manómetros y las válvulas, tendrán su certificado de calibración en vigencia al momento de ser realizados los ensayos.

También estará actualizada la calibración de la regulación de la válvula de presión y vacío de acuerdo con la presión de diseño establecida para el **Tanque Domo geodésico**.



Fig. 26. Observación visual durante el transcurso de la prueba de estanqueidad para verificar la existencia de fugas.

La presión de ensayo para la prueba de estanqueidad, **200 mm de columna de agua**, es equivalente a la presión de apertura de la “**válvula de presión y vacío**” del Tanque No. 575.

5.3 Recomendaciones complementarias de Y-TEC sobre requisitos para diseño y desarrollo de los trabajos:

- 1) **Y-TEC** ha propuesto inspeccionar el recubrimiento interno y externo, antes y después del desarrollo de las actividades para el montaje del Domo Geodésico, junto con la inspección por parte del proveedor del recubrimiento y la eventual presencia de la empresa que ha realizado la aplicación. El motivo de la propuesta, ha sido evaluar el estado del recubrimiento anticorrosivo, dado que ambas partes, aplicador y fabricante, ofrecen una garantía mancomunada, sobre la integridad del mismo.
- 2) **Y-TEC** ha propuesto aplicar el producto sellador, dentro del canal del “STRUT PANEL PROTUSION”, antes del montaje de los paneles y luego realizar la colocación del “STRUT CAP”, de modo que rebalse el producto sellador depositado al realizar el ajuste del conjunto. Esto brindará mayor hermeticidad estructural en todos los componentes del montaje con éste tipo de cavidades dentro de los perfiles.

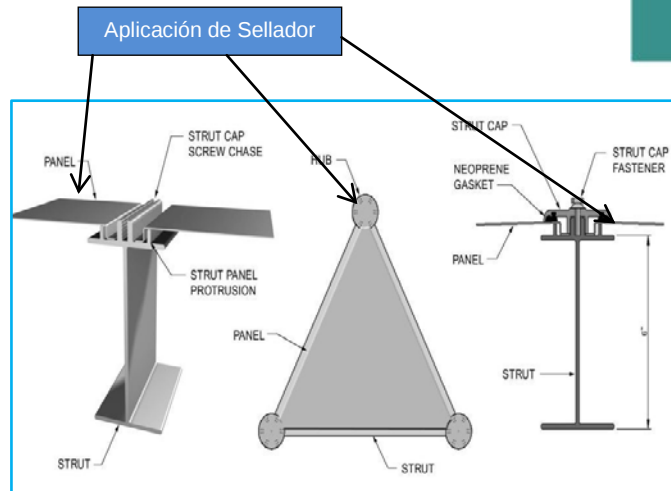


Fig. N° 27. Indicación de zonas para la aplicación del sellador.

- 3) En el diseño original, existía un riesgo de corte sobre la membrana, debido al rozamiento con el filo del protector, durante los movimientos del Domo Geodésico y los estiramientos propios de la membrana. **Ver Fig. N° 28**

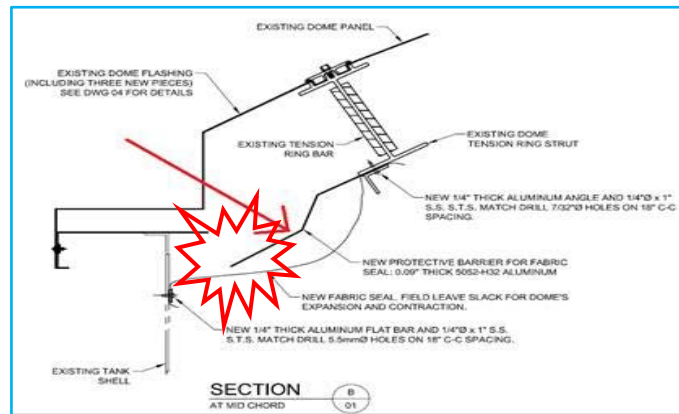


Fig. N° 28. Indicación de la zona de riesgo de corte sobre membrana teflonada.

- 4) A partir de la recomendación de **Y-TEC**, con el rediseño de la nueva barra protectora, se conserva la integridad de la membrana teflonada, para el caso de movimientos de contracción o dilatación del Domo geodésico. **Ver Fig. N° 29**

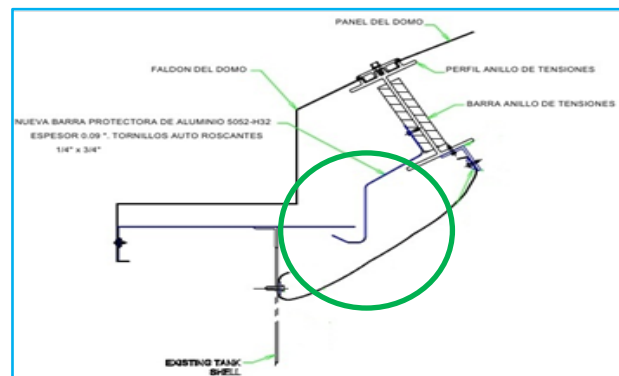


Fig. N° 29. Esquema del nuevo diseño propuesto para evitar el contacto.

6 Conclusiones

El sector de Ingeniería de Materiales de **Y-TEC**, vinculado con el usuario y los fabricantes, han podido brindar una solución Tecnología Integral, que permitió definir una secuencia apropiada para el desarrollo de las actividades del desmontaje del Domo existente, la preparación superficial de cada componente, la selección y aplicación de los nuevos materiales constituyentes para un sellado hermético y resistente a las condiciones de operación que será sometido, su posterior rearmado, el montaje de todos los mecanismos de anclaje, y la evaluación final del sistema, *asegurando* la estanqueidad total del Tanque Domo, una vez finalizados todos los trabajos.

7 Bibliografía

- Norma **API Standard 650:2013 Ítem F N° 4.4** Welded Tanks for Oil Storage.
- Especificación de Diseño, **YPF ED(EP)-B-06.00 Rev. 01** Protección anticorrosiva con recubrimientos y sus complementarias.
- **NACE TM0185** Standard test method – Evaluation of internal Coating for corrosion control of tubular goods by Autoclave testing.
- Norma **ASTM D2240:2005 (R2010)** Standard Test Method for Rubber Property — Durometer Hardness.

8 Breve CV de los autores

Marcelo Alejandro Marino

Título y lugar de estudio: Estudiante de Ingeniería Química en UTN-FRLP, Buenos Aires - Argentina. Técnico Químico egresado de la Escuela Juan Bautista Alberdi (ex ENET N° 4) de La Plata, Buenos Aires Argentina.

- Certificación de “Auditor Interno de Sistemas de Gestión Integrados”. Auditores Internos de Sistemas de Gestión de la Calidad, Ambiental, de Seguridad y Salud Ocupacional en sus organizaciones, utilizando como base las Normas ISO 9001:2008, ISO 14000:2004 y OHSAS 18001:2007. Certificado Número: C606061509 - 23 de Mayo de 2015.
- Certificación de Inspector de Recubrimientos: “NACE Coating Inspector Level 2 - C.I.P - Certification Number 35544 - Octubre de 2013 - Vto. 31 de Octubre de 2016.
- Certificación de Ensayista de Protección Catódica: “NACE CP1 - Cathodic Protection Tester” - Certification Number 48812 - Noviembre de 2013 - Vto. 30 de Noviembre de 2016.
- Certificación en Tecnólogo en Corrosión Interna de Ductos – Nivel 1 – NACE "Internal Corrosion Technologist" - Junio de 2016 - En trámite.

Diferentes empresas en las que hizo su carrera: **INTELDESIGN** (empresa extrusión/inyección de termoplásticos); **LADECOR** (Laboratorio de Estudios de Compuestos Orgánicos - Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata); **CIDEPINT** (Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de Pinturas); **YPF S.A** (Centro de Tecnología Argentina de YPF); **YPF TECNOLOGIA S.A.** (Tecnólogo en Materiales y Nanotecnología).

Cargo actual en la empresa: Tecnólogo en Materiales y Nanotecnología – YPF Tecnología S.A.

Rocca Leonardo Luis Eugenio

Título y lugar de estudio: Ingeniero Industrial – UdeMM. Universidad de la Marina Mercante – Buenos Aires - Argentina. Técnico Mecánico egresado de la Escuela de Educación Técnica ENET N° Japón de San Miguel, Buenos Aires Argentina.

- Coating Inspector NACE Nivel I, con certificado otorgado por NACE International. NACE Membership Number: 681775 - Noviembre de 2014 - Vto. 31 de Octubre de 2017.
- Graduado de la FIUBA Facultad de Ingeniería de Buenos Aires, como Especialista en Higiene y Seguridad Industrial.
- Auditor certificado ISO 14001, con certificado otorgado por SGS.

Actualmente me encuentro realizando la carrera de Doctor en Ingeniería con mención en Materiales, en la Universidad Tecnológica Nacional - Regional de La Plata - UTN-FRLP.

Diferentes empresas en las que hizo su carrera: **Faurecia** Argentina (empresa autopartista aplicación de recubrimientos en componentes de vehículos), **International Cover S.A** (empresa aplicadora de Recubrimientos anticorrosivos), **INTI** (Instituto Nacional de Tecnología industrial – Departamento de Procesos Superficiales), **Hempel** Argentina (Fabricante de Recubrimientos industriales y marina), **Dana & Eaton Corporation** (Autopartista, fabricante de ejes pesados).

Cargo actual en la empresa: Tecnólogo en Materiales y Nanotecnología – YPF Tecnología S.A.