



NUEVO RECUBRIMIENTO PROTECTOR PARA CILINDROS DE GNC REFORZADOS CON FIBRA DE VIDRIO

OMAR ELASKAR^{1,2}, JORGE GARCÍA²

¹Departamento de Planificación y Proyectos, Centro de Investigaciones Aplicadas
Instituto Universitario Aeronáutico
AV. Fuerza Aérea 6500, Córdoba, Argentina

²Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales
Universidad Nacional de Córdoba
Av. V. Sarfield 1601, Córdoba, Argentina

(Recibido 27 de mayo de 2011, para publicación 22 de junio de 2011)

Resumen – En el presente informe se concluye con la descripción de una Patente de Invención [1] referente a un recubrimiento protector para cilindros de Gas Natural Comprimido (GNC) como aplicación inmediata, ya que es una innovación con posibilidades de transferir a la industria, como así también para otras aplicaciones tales como cilindros de presión de gases, cilindros de buceo, recipientes de cohetes, reservorios de presión aeronáuticos, etc. Este trabajo fue el resultado de una serie de estudios, ensayos e investigaciones llevadas a cabo en el marco de un proyecto subsidiado por el Ministerio de C. y T. de la Provincia de Córdoba. La invención consta de un recubrimiento elástico resistente a ácidos, con capacidad de deslizarse por encima de la superficie del Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV) de un cilindro de presión y protegerlo de la corrosión bajo tensión que se produce en la fibra de vidrio ante el contacto con agentes ácidos. El mecanismo de funcionamiento es el siguiente, cuando un recipiente con PRFV es presurizado, se puede observar un agrietamiento interfibras en la resina, que deja expuestas a las fibras a los agentes ácidos que puedan encontrarse en el ambiente. Bajo esta situación el cilindro se encuentra en condiciones de alto riesgo de rotura y explosión. Para ello, se propone un recubrimiento superficial por sobre el material compuesto, que protege a las fibras de vidrio de la corrosión ácida bajo tensión y las aísla del ambiente. El trabajo se inició con el análisis del comportamiento mecánico de un cilindro con PRFV, luego se continuó con el análisis de su recubrimiento protector en sus diversas alternativas, y finalmente se realizó la propuesta de un recubrimiento protector flotante, demostrando analíticamente una mejora en el comportamiento con esta última solución. Por ello, y a partir de las últimas simulaciones numéricas realizadas en base a la nueva solución adoptada para dichos recubrimientos protectores, se propuso la solución tecnológica de recubrimiento flotante, que fuera patentada ante el INPI. El recubrimiento propuestos se caracteriza por la posibilidad que tiene de deslizarse o “flotar” por sobre el PRFV que protege, y de esa manera deformarse en un área mayor sin alcanzar altas deformaciones concentradas, que puedan ocasionar roturas o “pinchaduras” después de varios ciclos.

Palabras clave – Protección, fibra de vidrio, cilindro de presión, GNC.

1. INTRODUCCIÓN

Es normal que un cilindro de material compuesto, como ser PRFV al presurizarse se expanda y aparezcan pequeñas grietas en la resina, debido a la rotura de la resina o su desprendimiento de la fibra, por los que las grietas son paralelas a éstas últimas, y sin que éstas se corten, fenómeno que no afecta de manera importante en la resistencia mecánica requerida por el cilindro.

Pero la aparición de estas grietas permite la penetración de los agentes corrosivos al interior del PRFV. Así algunas fibras de vidrio quedan expuestas al ataque ácido (Corrosión Ácida Bajo Tensión), y estando además ellas bajo cargas de tracción elevada, se aumenta la posibilidad de falla del PRFV en el cilindro.

En el caso de que el cilindro disponga de un recubrimiento protector, además de resistir químicamente al ácido, éste debiera ser capaz de soportar la deformación localizada por encima de la grieta, que tiende a abrirse y de esta forma evitar la penetración de agentes corrosivos.

Se han realizado ya estudios del mecanismo de agrietamiento en un cilindro de PRFV [2] y se analizó

luego su recubrimiento protector, mediante modelos numéricos por el Método de Elementos Finitos (FEM) concluyéndose del alto riesgo que implica un recubrimiento pegado o adherido al PRFV [3]. Por ello se propuso un recubrimiento con capacidad de desplazarse (o flotar) sobre la grieta el cual fue analizado numéricamente y demostrando un mejor comportamiento ante las deformaciones, cuando la apertura de la grieta se presenta sucesivamente [4].

El presente trabajo presenta entonces la idea de una capa o película protectora “flotante o deslizante”, que se aplica a tubos y cilindros sometidos a presión interna, que son fabricados de metal o plástico y reforzados externamente con Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio.

De tal forma que esta protección que recubre al tubo o cilindro externamente, resiste la deformación del cilindro o tubo cuando se expande por presión interna, debido a que puede deslizarse por sobre la superficie del material que protege, estirándose moderadamente y no deformándose localizadamente sobre la apertura de grieta, como en el caso de recubrimientos adheridos al material que protege.

Esta protección es requerida debido a que la fibra de vidrio tensionada puede ser corroída en contacto con ácidos si no es aislada del medio ambiente. Aplicaciones típicas factibles de utilizar este tipo de protección son los cilindros de Gas Natural Comprimido para transporte automotor, tubos de buceo, recipientes de cohetes y aviones y también en tuberías de conducción de gases y líquidos a presión reforzados externamente con Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio [5].

2. EL PROBLEMA DE CORROSIÓN EN LA FIBRA DE VIDRIO

2.1. Antecedentes del problema

Cuando en los años 90 se desarrollaron cilindros de GNC “tipo 3” de liner Aluminio reforzado con PRFV, tecnológicamente superiores a los disponibles en el mercado, se produjeron acontecimientos desafortunados. En esa época, las normas obviaron las implicaciones de la “corrosión ácida bajo tensión”, sobre el PRFV [6,7], por lo que posteriormente sucedieron algunos accidentes (Fig. 1) y explosiones cuyas causas eran desconocidas en aquel momento, ni existían antecedentes concretos del problema a nivel mundial.

Surgieron así varias líneas de investigaciones que concluyeron que la resistencia estructural era la adecuada y solamente la causa se origina si existiera un daño estructural o defecto previo de gran magnitud en los cilindros [8]. Pesquisas posteriores concluyeron que las fibras de vidrio, eran corroídas rápidamente por agentes ácidos, especialmente bajo estados tensionales elevados, tal es la situación en estos recipientes al ser cargados con gas a presión [9].



Fig. 1. Explosión de un Cilindros Tipo 3 en una estación de carga [10].



Fig. 2. Cilindros de GNC Tipo 2 (acero PRFV) montados en un vehículo.



Fig. 3. Grietas observadas en cilindros de GNC Tipo 2, en condiciones normales.

El fenómeno que se observó del ataque del ácido, se produce sobre las fibras de vidrio, y no en la matriz de resina que las recubre, que solo se agrieta por efectos de la deformación. De esta manera la presión interna expande al cilindro y también a la matriz de resina que en algunos lugares se agrieta interlaminarmente, sin que por esto se reduzca la resistencia mecánica del cilindro, pero quedando las fibras de vidrio expuestas directamente al contacto con agentes externos [11].

2.2. Agrietamientos observados en el PRFV

En la Fig. 2, se muestra un vehículo con dos tubos de GNC rusos del Tipo 2. Se observó en ellos (Fig. 3) el agrietamiento entre los aros de PRFV, sin que ello perjudicara el normal funcionamiento y pudieran superar en varias oportunidades las pruebas hidráulicas exigidas por normas.

2.3. Ensayos de ataque ácido al PRFV

Durante la etapa de certificación de estos cilindros, se pudo observar (Fig. 4), que después de atacarlo con ácido, varios aros de fibra de vidrio son cortados en forma trasnversal.

Debido a que en los cilindros del Tipo 2, el liner de metal también resiste estructuralmente, es que este tipo de cilindro puede superar el requisito mínimo del 85% de la presión de reventamiento una vez atacada las fibras con ácido. Esta situación no se presenta en los recipientes del Tipo 3 con PRFV, en que la resistencia estructural está a cargo exclusivo del material compuesto [12]. En la Fig. 5, puede observarse el corte característico de forma abrupta en las fibras de vidrio, en una muestra de PRFV atacada con ácido.

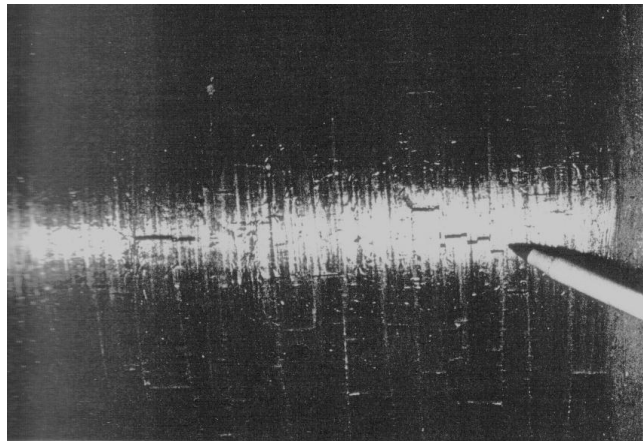


Fig. 4. Fibras de vidrio de cilindro ruso, corroidas por ácido.

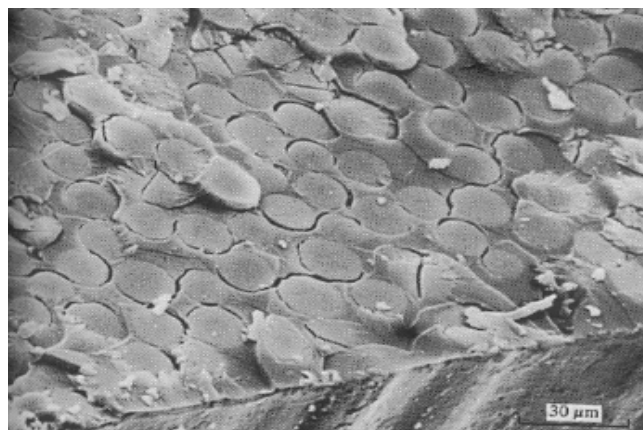


Fig. 5. Fibras de vidrio cortadas por Corrosión ácida [13].

Bajo estas condiciones es que se propuso aplicar una capa protectora “flotante” al PRFV para evitar este ataque ácido.

3. SOLUCIONES APLICADAS ACTUALMENTE

Previa a la exigencia por parte de las normas para homologar cilindros de GNC, normalmente no se aplicaba ninguna protección a los mismos.

Cuando posteriormente fue identificado el problema de corrosión ácida bajo tensión, la normativa incluyó entre sus exigencias la superación de ensayos que simulaban el ataque ácido. De esta manera los fabricantes de cilindros de PRFV, recubrían con alguna pintura protectora resistente a los ácidos a fin de superar exitosamente el ensayo.

Se observa en la Fig. 6 y Fig. 7, se muestran dos soluciones utilizadas con recubrimientos poliuretánicos resistentes a ácidos, de los cuales el segundo si bien supera las exigencias del ensayo a los ácido, no está permitido por no ser transparente.

Una vez realizado el ataque ácido, los cilindros deben superar los ensayos a diversas condiciones de presión y ciclado, y verificar resistencia superior a la rotura que lo establecido por las normas de homologación (Fig. 8).

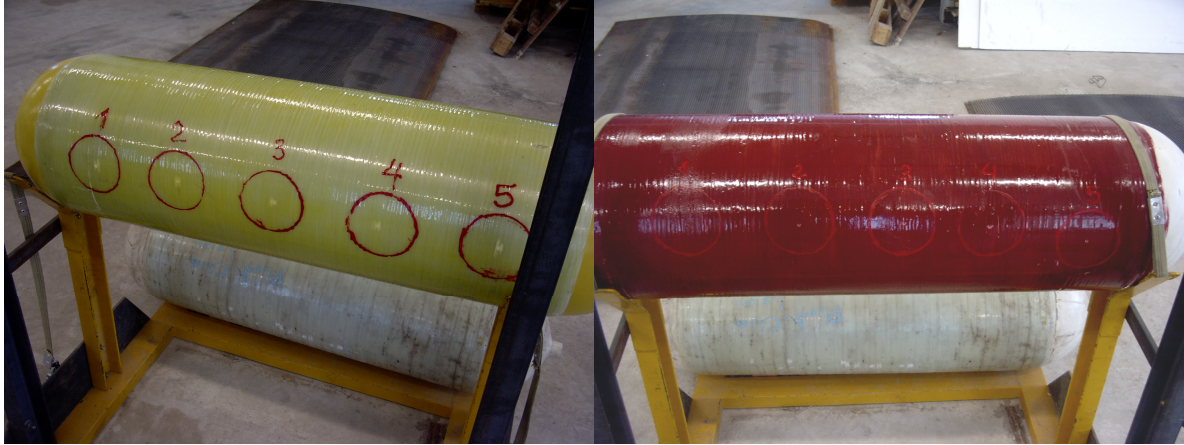


Fig. 6. Recubrimientos poliuretánico transparente resistente a ácidos. Fig. 7. Recubrimientos poliuretánico rojo resistente a ácidos.

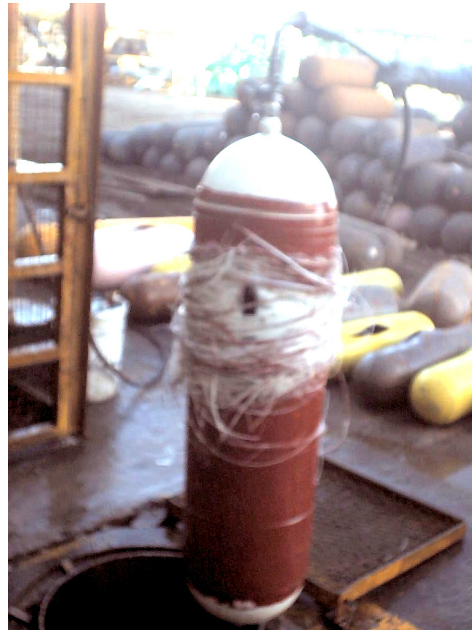


Fig. 8. Ensayo posterior al ataque ácido.

4. ESTUDIOS REALIZADO EN EL PRESENTE PROYECTO

4.1. Descripción de un cilindro de GNC Tipo 2

Desde el punto de vista estructural, el cilindro se compone de un liner interior de acero y un refuerzo exterior de PRFV (Fig. 9). El bobinado en este tipo cilindro (Tipo 2), es exclusivamente en la zona cilíndrica del mismo, y puede considerarse que la dirección de la fibra es a 0° , o sea que su función es actuar como un refuerzo a las tensiones circunferenciales, y no longitudinales.

Esta disposición es la que genera que las deformaciones longitudinales del cilindro no sean resistidas por las fibras, y de esta forma la matriz de resina no soporta esta deformación que genera grietas transversales al cilindro.

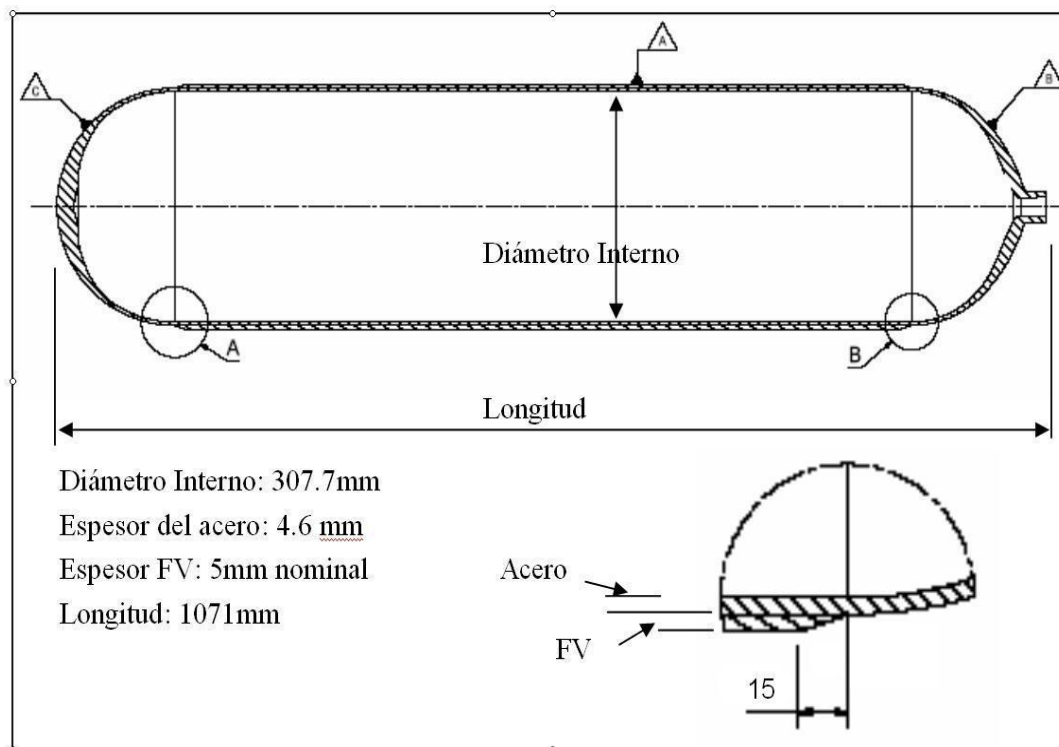


Fig. 9. Características geométricas relevantes del cilindro analizado.

4.2. Características de los materiales

El material del liner [14] es acero SAE 4130, templado y revenido, la tensión mínima de fluencia es 860 Mpa y Máxima de 960 Mpa, con un Alargamiento del 14%.

El PRFV está compuesto de Roving directo TEX 2200, en un Porcentaje de fibra en la matriz compuesta: 65 – 75% en volumen.

La Resina es del tipo epoxi bicomponente en Porcentaje de resina en la matriz compuesta: 25 – 35% en volumen.

El recubrimiento es de base poliuretánica con el 60% de sólidos por volumen, que forma un espesor de película seca de 0,125 mm. Dispone de una Resistencia al Impacto de 15.8 N-m, con una Elongación del 32% [4].

4.3. Relevamiento de grietas

El cilindro, una vez bobinado y autozunchado, muestra al PRFV agrietado en aros circunferenciales a lo largo de toda su superficie.

De una muestra de PRFV del bobinado de un cilindro de GNC Tipo 2, se pudo determinar con aproximación el espaciamiento entre grieta y grieta en el PRFV. La Fig. 10, muestra la morfología de las grietas sobre la muestra. Y en la Fig. 11, se observa la distancia relevada en milímetros, entre las grietas.

Con esta información se pudo determinar la distancia promedio entre grieta y grieta producidas en el PRFV formando aros circunferenciales.

La Tabla 1 resume las observaciones y mediciones realizada a la muestra de material compuesto extraída de un cilindro tipo 2 [15].

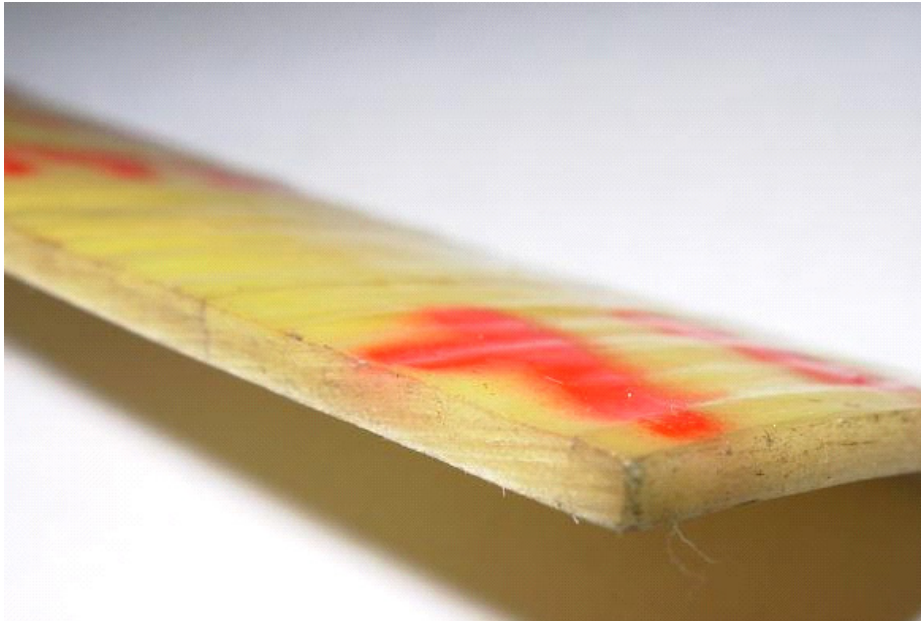


Fig. 10. Muestra de PRFV, donde se visualizan las grietas a en el espesor.

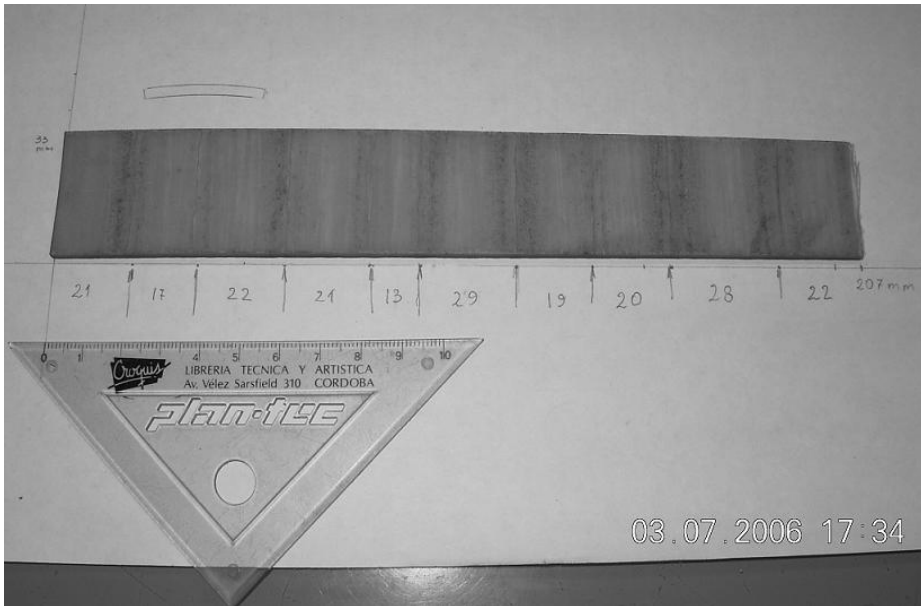


Fig. 11. Muestra de PRFV, donde se visualizan las grietas a en el espesor.

Tabla 1. Distanciamiento en milímetros, entre grietas en el PRFV de un cilindro de GNC Tipo 2.

Grieta N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Espaciado (mm)	21	17	22	21	13	29	19	20	28	22
Longitud	212 mm									
Espaciado Promedio	21,2 mm									

4.4. Análisis del cilindro por el Método de Elementos Finitos

Para las simulaciones numéricas, se utilizó el software ABAQUS/Standard, v6.54, Student Version. El Hardware utilizado fue una Pentium III 1 Ghz, con 512 Mb de memoria.

Para determinar la separación que se produce entre las caras de las grietas en el PRFV, fue necesario como primer paso determinar la deformación que se produce en forma axial (longitudinal) en el cilindro.

En un primer *step* de la simulación, se aplica como carga la presión de zunchado en el cual se producen deformaciones plásticas permanentes, y que perduran en el cilindro como producto terminado [16]. Se utilizó la verdadera presión de zunchado utilizada en el proceso real. Luego en un segundo *step*, el cilindro es despresurizado a 0 bar para disponer del producto en su estado normal de utilización, para finalmente “inflarlo” a 200 bares, como carga normal de trabajo [7].

De esta manera se busca determinar la deformación en el sentido longitudinal que se produce en el cilindro. Esta deformación es considerada como la suma de las separaciones entre caras de todas las grietas sobre la superficie del PRFV.

El cálculo se realizó con el Software ABAQUS v6.5 [17]. El modelo se describe a continuación:

Tipo de modelo:	Axilsimétrico
Tipo de elemento:	CAX4R (continuo axilsimétrico, 4 nodos, integración reducida).
N° de nodos:	822
N° de elementos:	640
N° de partes:	2 (liner y refuerzo)
N° de materiales:	2 (acero y PRFV)
Cond. de Contorno:	Simetría longitudinal
Cond. Contacto:	Tie (unido)
Etapas:	3 Steps (zunchado, 0 bar y 200 bar)
Diámetro interno:	307.6 mm
Espesor de acero:	4.7 mm
Diámetro ext.liner:	317.0 mm
Espesor de PRFV:	5.0 mm
Diámetro ext. Tubo:	327.0 mm
Long. Total:	535.5 mm
Long. Parte cilind.:	400.0 mm

En referencia a los materiales se utilizaron los siguientes valores en “Elastic”, para el Acero:

Módulo Elástico :	207000 Mpa
Módulo de Poisson:	0.3

Características plásticas, introducidas en el comando “Plastic” y se resumen en la Tabla 2.

Para el PRFV se asignaron propiedades ortótropas, mediante el comando “Engineering Constant”, que se aprecian en la Tabla 3 [18].

La orientación se refiere a lo establecido en la Fig. 12. de orientación de las fibras en la resina:

Con los dato arriba indicados se construyó el modelo axilsimétrico (Fig. 13). Tanto en el liner, como en el PRFV, se han utilizado 5 elementos a través del espesor. Si bien algunos elementos alcanzan una relación de forma mayor a 5:1, en un cálculo para determinar deformaciones, no representa inconveniente importante, además la forma de los elementos es muy uniforme en sus ángulos, lo que favorece a la precisión del cálculo.

4.5. Resultados numéricos del cilindro

Una vez realizado el *step* del “zunchado”, y sin presión interna, la deformación plástica remanente sobre el cilindro puede apreciarse en la Fig. 14, aumentada 25 veces.

De esta manera se determinó la deformación axial que se produce en el cilindro a lo largo de su eje longitudinal, y relevado en la superficie del PRFV donde se observa la aparición de las grietas en los cilindros reales. La Fig. 15 muestra la expansión simulada (x50 veces).

De las salidas numéricas, se extrajeron los valores de los desplazamientos del Nodo 82, utilizado como referencia, como lo indica la siguiente Tabla 4.

Tabla 2. Valores de la curva de plasticidad del acero.

Tensión	Def. plástica
960	0
969	0,01
995	0,03
1040	0,06
1055	0,10
1200	0,77

Tabla 3. Propiedades mecánicas del PRFV.

E1	E2	E3	Nu12	Nu13	Nu23	G12	G13	G23
8000	8000	40000	0,3	0,25	0,25	1300	3000	3000

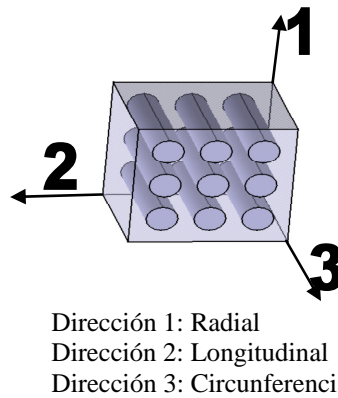


Fig. 12. Orientación considerada para el PRFV.

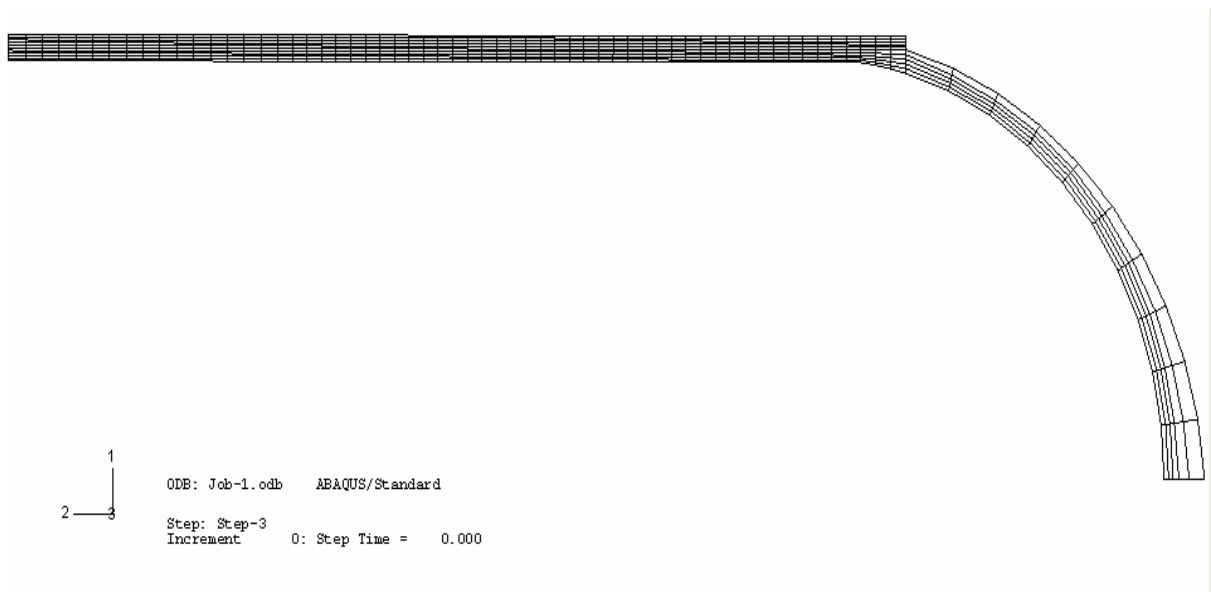


Fig. 13. Modelo FEM del cilindro.

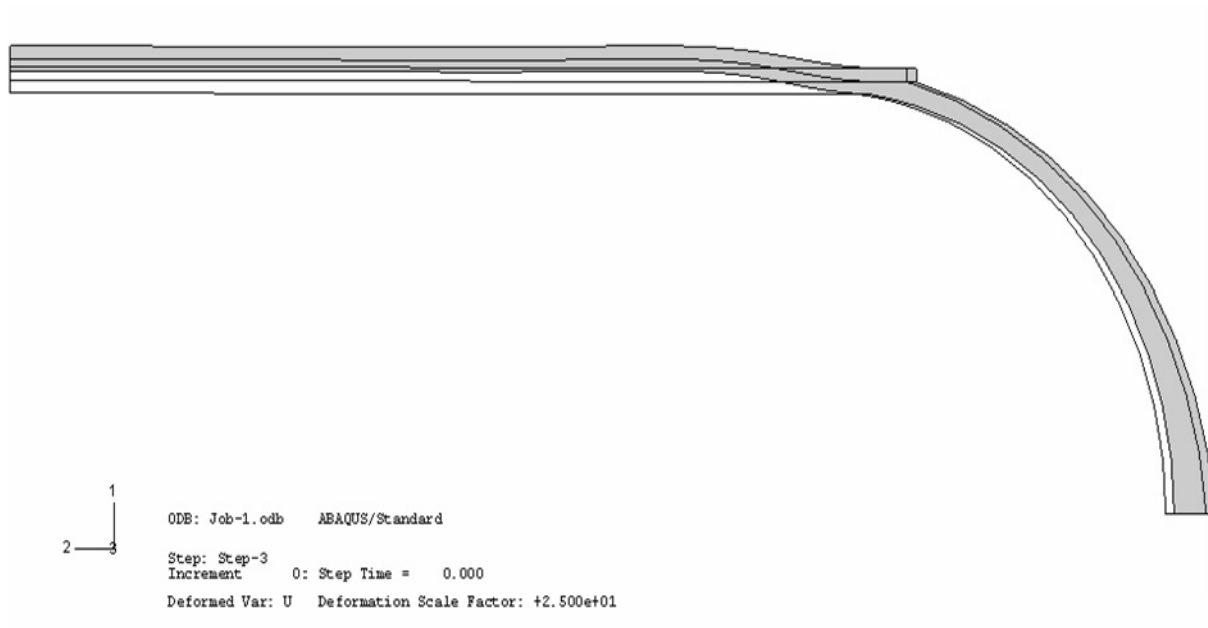


Fig. 14. Detalle de la deformación remanente del zunchado, a 0 Bar (x25).

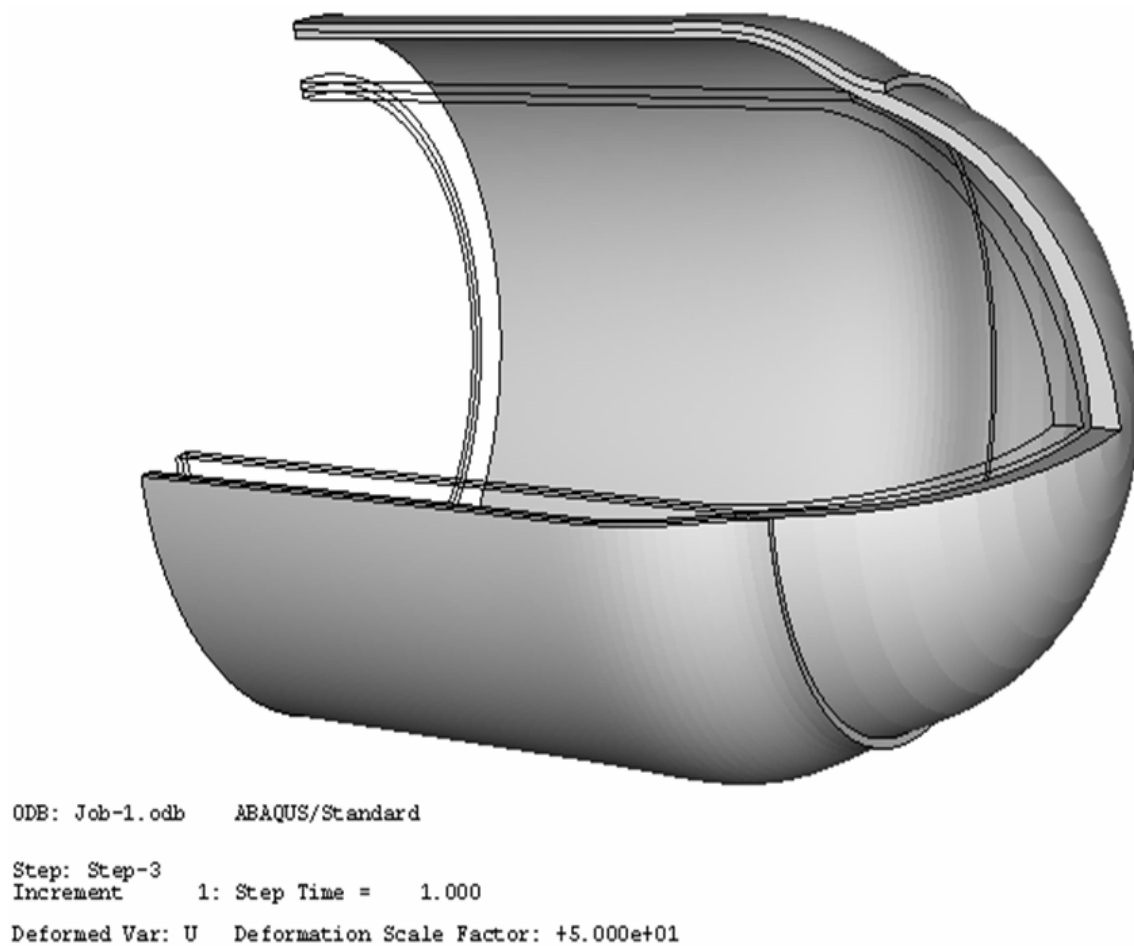


Fig. 15. Expansión del cilindro cargado a 200 Bar (x50).

Tabla 4. Desplazamiento del nodo de referencia del modelo FEM.

Eje-Dirección	1	2	3
Coordenadas Iniciales (mm)	163,50	150,00	0,00
Zunchado, y sin presión (mm)	163,82	149,70	0,00
Zunchado, y a 200 Bar (mm)	164,16	149,89	0,00

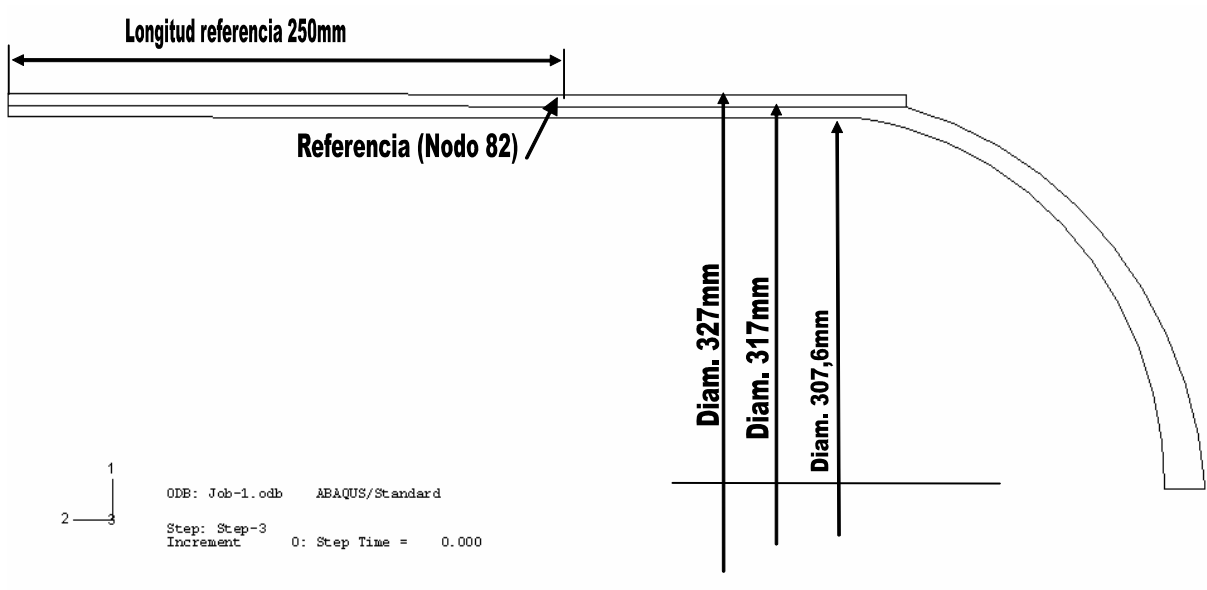


Fig. 16. Detalle de dimensiones y Nodo de referencia en el cilindro.

A continuación (Fig. 16) pueden diferenciarse perfectamente los dos materiales considerados, uno en el Liner y otro en el refuerzo exterior. Se detalla la ubicación considerada para relevar los desplazamientos del Nodo de Referencia, para poder medir la deformación longitudinal.

Se encuentra entonces que el “Nodo 82” de referencia se desplaza una distancia a lo largo del cilindro (eje 2 del modelo) de:

$$D = 0,19 \text{ mm (149,89 - 149,70)}$$

También dicho nodo se desplaza radialmente (eje 1 del modelo) una distancia de:

$$H = 0,34 \text{ mm (164,16 - 163,82)}$$

Por considerarse que los aros de resina entre grieta y grieta, no absorben deformación, (caso conservador de cálculo), resulta que todas las aperturas de las grietas que aparecen sobre dicho tramo han de sumar el valor D , de 0,19 mm en 250 mm de longitud de cilindro.

De la observación experimental del cilindro, se obtuvo una distancia promedio entre grieta y grieta de 21,2 mm, resultando que en una longitud de 250 mm, se encuentran casi 12 grietas ($250/21.2$), con una apertura promedio A de 0,0158 mm ($0,19/12$) de distancia entre las caras de la grieta, cuando el cilindro se encuentra presurizado.

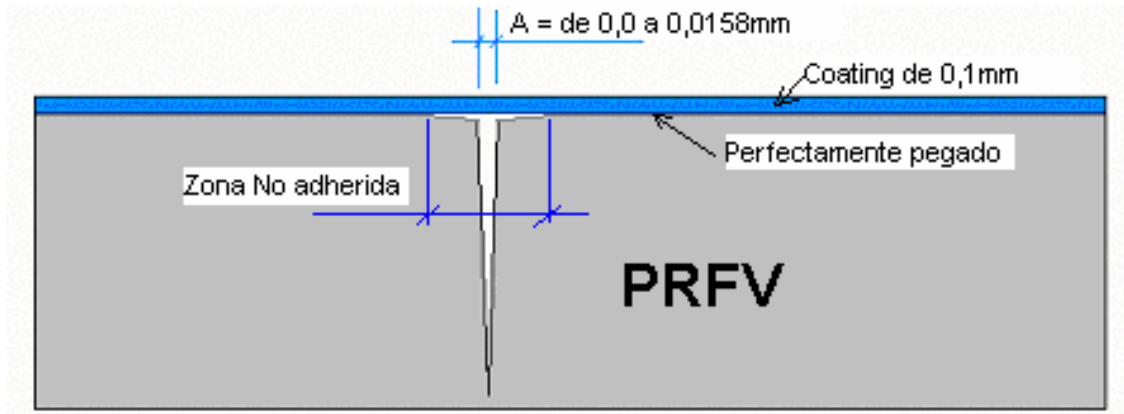


Fig. 17. Esquema del modelo de simulación de grieta.

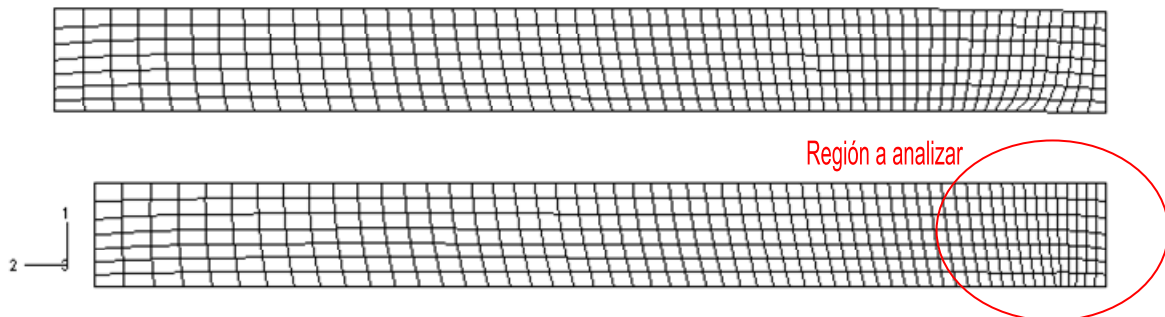


Fig. 18. Modelo del recubrimiento y su deformada en 1x0.5, en 2x5 y en 3x1.

4.6. Análisis numérico del recubrimiento protector

Para estudiar la grieta superficial en el PRFV, se realizó un modelo axilsimétrico del recubrimiento del cilindro.

El modelo consiste en simular la apertura de las caras de una hipotética grieta ubicada por debajo de la capa del Recubrimiento Protector (*coating*) de una décima de milímetro (100 μm) de espesor (Fig. 17).

Una variable de importancia, es la zona del *coating* No adherida al PRFV en las inmediaciones de la grieta. Este valor, se utilizó como variable de ajuste en las distintas corridas, a fin de determinar el límite permisible, antes de alcanzar la deformación máxima resistida por el material del *coating*. El resto de la superficie del *coating* se considera perfectamente unida (Tied) al PRFV.

4.7. Modelo FEM del recubrimiento

Se realizó un modelo axilsimétrico de 406 elementos (Fig. 18). Como condición de contorno se supuso simetría en el eje vertical de la grieta. La Fig. 16 muestra el modelo realizado.

Como condiciones de contorno adicionales al Recubrimiento, se aplicó un desplazamiento similar a la apertura de la grieta ($A = 0,0158 \text{ mm}$) en la zona inferior del mismo, que se encuentra adherido al PRFV.

Como variable de ajuste para la construcción geométrica del modelo, se determinó en sucesivas corridas una “zona No adherida”, a la que no se le aplica desplazamiento como condición de contorno, de tal forma que la deformación máxima resultante en el cálculo numérico del *coating* no alcance su límite máximo de rotura.

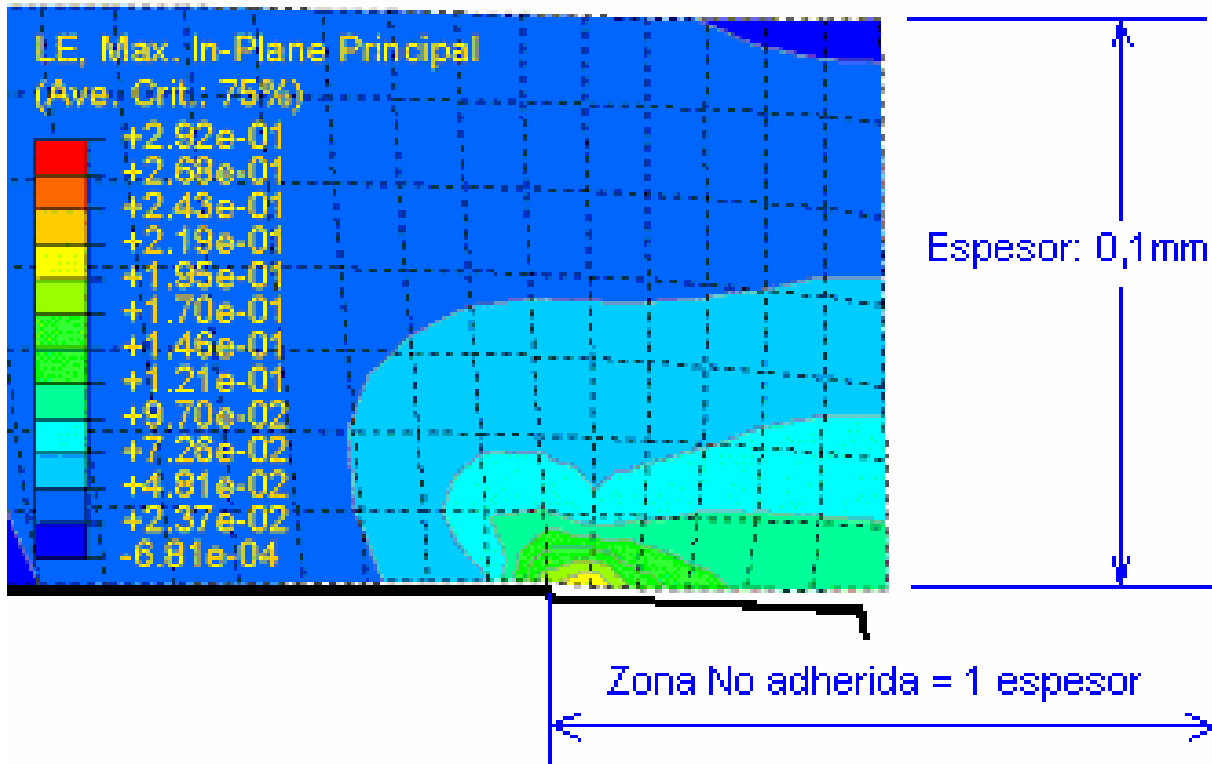


Fig. 19. Deformaciones logarítmicas en el recubrimiento (zona No adherida =1 espesor).

Las principales características del modelo son:

- Tipo de modelo: Axilsimétrico
- Tipo de elemento: CAX4I (para evitar hourglassing)
- N° de nodos: 472
- N° de elementos: 406
- Espesor del *Coating*: 0,1 mm
- Longitud axial: 1,0 mm
- Diámetro interno de *coating*: 327 mm (diámetro exterior del cilindro)
- Zona no adherida: 0,1 mm (1 espesor) y 0,08 mm (80% del espesor)

Las condiciones de contorno aplicadas:

- Eje vertical de la grieta: Condición de Simetría
- Zona Adherida: $U_x = A/2 = -0,0079$ mm (deformación axial)
- $U_y = H = 0,34$ mm (expansión radial)

Al poliuretano se lo considera perfectamente elástico en todo su campo de deformación. Los valores introducidos al modelo son:

- Módulo elástico $E = 25$ Kg/mm²
- Alargamiento máximo $A = 0,32$
- Módulo de Poisson $\nu = 0,33$

4.8. Resultados del cálculo numérico en el recubrimiento

Se observa en la Fig. 19, que con los datos introducidos, las deformaciones máximas logarítmicas alcanzan un valor de 29 kg/mm², muy cercana al 32% máximo, en la zona donde se adhiere el recubrimiento al PRFV.

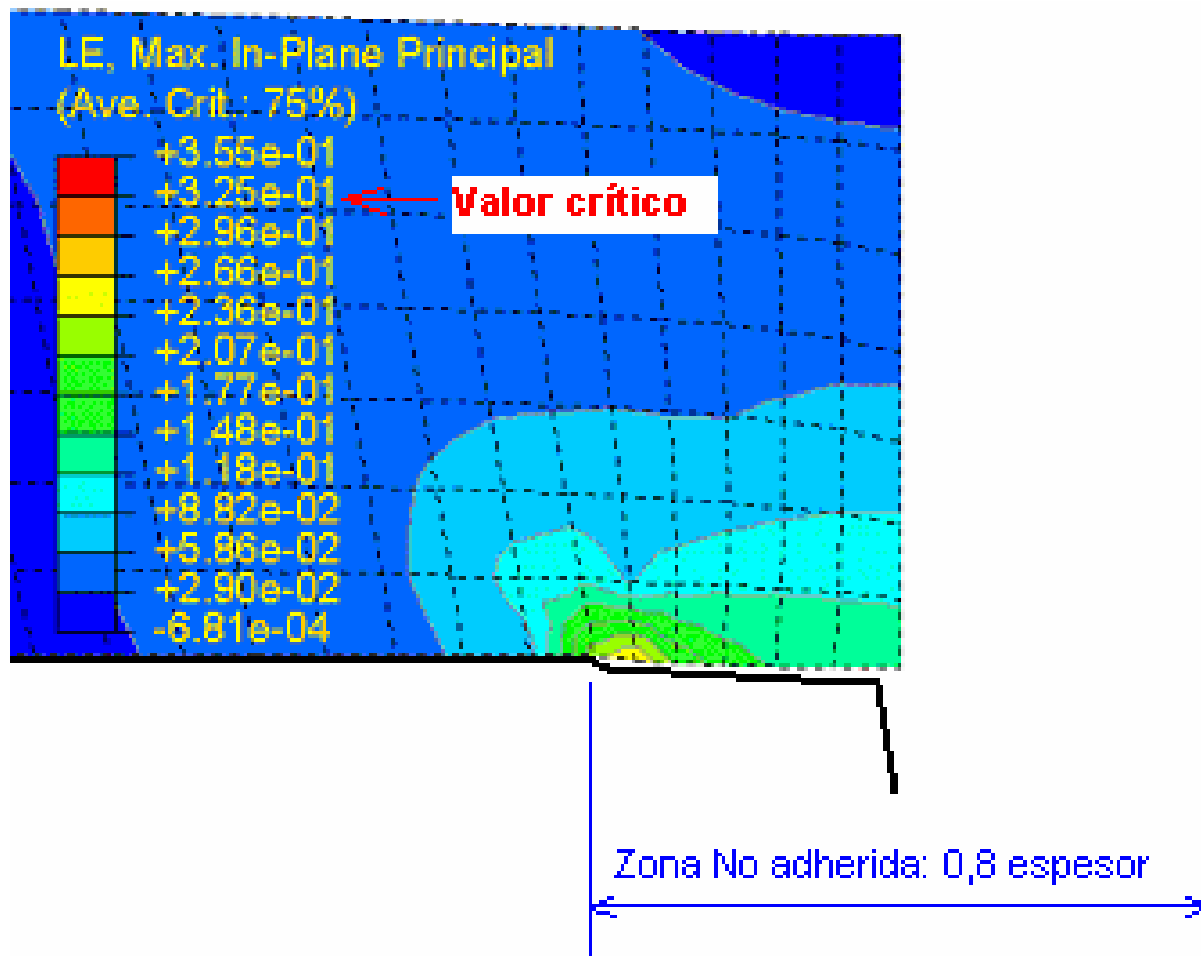


Fig. 20. Deformaciones logarítmicas en el recubrimiento (zona No adherida =0,8 espesor).

5. CONCLUSIONES

De los resultados de los estudios experimentales, y numéricos del cilindro realizados previamente, se pudo determinar la conveniencia de utilizar una protección resistente a los ácidos capaz de deslizarse por sobre la superficie del PRFV:

De esta manera se propuso la solución descrita en este trabajo concluyéndose en las tres siguientes reivindicaciones que genera esta idea patentada [19]:

1) **Recubrimiento flotante de protección contra ácidos**, aplicado a recipientes de presión y cilindros de GNC reforzados externamente con PRFV, que se caracteriza por su elasticidad y por no adherirse fuertemente a la superficie externa del PRFV, debido a su baja capacidad de adhesión a la resina o debido a la aplicación previa de una capa de un agente antiadherente, logrando este recubrimiento protector, la capacidad de deslizarse por sobre la superficie del PRFV ante deformaciones grandes en este último, en especial en las zonas de las grietas en la resina cuando se abren por la presurización interna del cilindro o recipiente, evitando así que el recubrimiento se deforme concentradamente sobre la apertura de grietas y se rompa, e impidiendo de esta manera que las fibras de vidrio tensionadas queden expuestas al ambiente que puede contener ácidos que la ataquen.

2) **Recubrimiento flotante de protección contra ácidos**, aplicado a caños, conductos y tubos reforzados con PRFV, y que se caracteriza por las mismas condiciones de aplicación y funcionamiento

indicadas en 1.

3) **Recubrimiento flotante de protección contra ácidos**, aplicado a todo tipo de elemento estructural que externamente posea PRFV, y que se caracteriza por las mismas condiciones de aplicación y funcionamiento indicadas en 1.

REFERENCIAS

- [1] Elaskar, O., “Propuesta de recubrimiento protector flotante, contra la corrosión ácida”, *II Congreso Argentino de Ingeniería Aeronáutica CAIA*, Córdoba (2010)
- [2] Elaskar, O., Aguirre, L., “Análisis FEM en recipientes de presión de materiales compuestos”, ENIEF 2007, Córdoba (2007)
- [3] Elaskar, O., Aguirre, L., “Estudio numérico y experimental del comportamiento de grietas del material compuesto en recipientes de presión”, *I Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica CAIM*, Bahía Blanca (2008)
- [4] Elaskar, O., Aguirre, L., “Estudio Numérico del Comportamiento de la Protección Flotante en Cilindros de Presión Reforzados con Fibra de Vidrio”, *II Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica CAIM*, San Juan (2010)
- [5] Darsie, D., *Los Plásticos Reforzados con Fibras de Vidrio*, Ed. Americalee (1980)
- [6] Sharples, J., Bouchard, P., “Assessment of crack opening area for leak rates”, *Specialist Meeting on leak before break in reactor piping and vessels*, Lyon, France (1995)
- [7] International Standard, ISO-11439 “Gas cylinders-High pressure cylinders for the on-board storage of natural gas...”, First Edition (2000)
- [8] Int. Journal of Pressure Vessels and Piping, Ainsworth, N°64, ISSN 0308-0161 (1995)
- [9] Colom, F., Pere, P., *Caracterización microestructural mecánica de HDPE/fibras* (1998)
- [10] GNV Magazine, en Internet: www.gnvmagazine.com, en marzo 2007
- [11] Argentoil. S.A., “Informe de ensayo de resistencia a los ácidos según ISO-11439” (2004)
- [12] CSA International, “Basic requirements for compressed natural gas vehicles fuel containers” (2000)
- [13] Universidad de Navarra, Archivo on line, en Internet, www.unav.es, en abril 2006
- [14] INFLEX, Argentoil, “Informe de ensayo mecánico del acero”, Córdoba (2004)
- [15] AIT Asoc. de Inv. Tecnológicas – Elaskar, O., Informe de desarrollo de cilindro de GNC tipo 2, Córdoba (2006)
- [16] British Standard BS-7910, “Fracture and fatigue assessment of flange in metallic structures” (1999)
- [17] ABAQUS/Standard, User Manual v5.4. Hibbit, Karlson & Sorensen, Inc. (1994)
- [18] ABAQUS/Standard, Example Manual, HKS (1994)
- [19] INPI, Solicitud de Patente de Invención Nro. 2009010472, a nombre de O.D. Elaskar. Buenos Aires 07 Diciembre 2009

NEW PROTECTIVE COATING FOR GNV CYLINDERS REINFORCED WITH FIBERGLASS

Abstract – This report concludes with the description of an Invention Patent [1] concerning a protective cover for CNG Compressed Natural Gas) as an immediate application because it is an innovation with possibilities of being transferred to industry, as well as other applications such as gas pressure cylinders, diving cylinders, rockets receptacles, aeronautics pressure reservoirs, etc. This work was the result of a series of studies, tests and research performed under the framework of a project funded by the Ministry de C y T (Science and Techniques Ministry) of the province of Cordoba. The invention consists of an acid-resistant elastic cover capable of sliding over a pressure cylinder’s surface which is made of plastic reinforced with fiberglass (PRFV) It protects it from corrosion under stress produced in the fiberglass when exposed to acid agents.

Keywords – Protection, Fiberglass, Pressure vessel, CNG (Compressed Natural Gas).

