

ESTUDIO DE LA HERMETICIDAD EN JUNTAS TIPO ESPIGA-CAMPANA EN TUBERÍAS PLÁSTICAS

J. Cortés-Pérez, D. Becerril G.,
Centro Tecnológico Aragón, FES Aragón, Universidad Nacional Autónoma de México.
Av. Rancho s/n, col. Impulsora, Cd. Nezahualcoyotl, Edo. de México.
Tel. 56 23 0970, Fax: 56 23 08 64
jacop@correo.unam.mx, d_becerril@hotmail.com

J. Raigosa V., R. Cornejo T.
Sociedad de Fabricantes Nacionales de Tuberías de Polietileno y Polipropileno S. C.
Carretera a villa de García Km. 0.8, Santa Catarina, Nuevo León.
Tel: (81) 86 25 45 00
juan.raigosa@adsmexicana.com, roberto.cornejo@adsmexicana.com

RESUMEN

Se presenta un estudio teórico-experimental sobre la hermeticidad en juntas tipo espiga-campana en tuberías plásticas. Las pruebas realizadas comprenden la elaboración de muestras de campanas con sección constante maquinadas a partir de tubos de PVC con pared constante. Las muestras fabricadas fueron instrumentadas con galgas extensométricas en tres puntos de interés distribuidas a lo largo del eje longitudinal del tubo y sometidas a presión interna mediante la aplicación de aire comprimido. Así mismo se elaboró un modelo numérico en el que se simuló las condiciones de prueba. Los resultados obtenidos permitieron identificar los parámetros mecánicos que intervienen en la hermeticidad de la junta y elaborar propuestas de mejora.

ABSTRACT

A theoretical-experimental study on bell-spigot type joints in plastic pipes is presented. The experimental tests were made on PVC pipes with constant wall giving them the geometry of bell and spigot. The samples were instrumented with three uniaxial strain gauges placed along their longitudinal axis and subjected to internal pressure with compressed air. In addition, a numerical model of the bell was created and simulated with similar conditions to those found in the experimental samples. The results allowed identifying the main parameters of the hermetic test and provided the elements to elaborate a set of specifications for obtain better hermetic properties as well.

NOMENCLATURA

PVC Cloruro de polivinilo
PE Polietileno
PEAD Polietileno de Alta Densidad
 Φ Diámetro

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la utilización de tuberías plásticas tiene una larga historia que se remonta a la década de los años veinte y desde entonces se incrementa año con año. Lo anterior, es debido a que estas tuberías ofrecen una importante alternativa para reducir costos y facilitar el manejo en el campo. Las primeras tuberías plásticas fabricadas en el mundo fueron hechas con cloruro de polivinilo (PVC) las cuales se comenzaron a utilizar en 1923 en Alemania, y posteriormente las tuberías fabricadas con polietileno (PE) empleadas en Europa desde mediados del siglo pasado [1 y 2].

El continuo crecimiento en la demanda de tuberías plásticas está íntimamente ligado al desarrollo de distintas áreas científicas que ha permitido que su empleo se extienda a diversas aplicaciones, ya que, se han mejorado las propiedades físicas y químicas de las resinas utilizadas así como su rendimiento mecánico/estructural. Dichos desarrollos han ampliado cada vez más su campo de aplicación sustituyendo a tuberías de materiales convencionales, como pueden ser el acero o el concreto. Como es de esperarse, los accesorios y los métodos de unión utilizados han tenido que adaptarse a esta evolución debido a las características propias de las tuberías plásticas.

En México el empleo de tuberías plásticas tiene más de 30 años, no obstante, su utilización se había limitado a aplicaciones en las cuales las exigencias mecánicas no eran importantes. Sin embargo, en los últimos años se ha visto una creciente tendencia a emplear tuberías de polietileno en sistemas de agua potable, gas y drenaje. Es claro que las ventajas de las tuberías plásticas son las que han motivado su uso masivo y entre los factores que han favorecido su empleo en aplicaciones para drenajes, destaca el sistema de unión que muchas de ellas emplean. Dicho sistema es el denominado: espiga-campana el cual suman una ventaja a las tuberías plásticas debido a que facilitan su instalación. Dicha ventaja se refleja en menores tiempos invertidos para el montaje de grandes redes de tuberías en las cuales se unen un gran número de tramos, generalmente de 6 m, con mucha facilidad.

En realidad, existe una buena cantidad de sistemas de unión que se han desarrollado para asegurar la hermeticidad en redes de tuberías de los cuales el sistema espiga-campana hasta ahora ha sido poco considerado [3, 4 y 5]. No obstante, las ventajas que ofrece dicho sistema justifican plenamente su uso y por ello resulta importante realizar estudios que conduzcan a mejorar su desempeño en cuanto a la hermeticidad. En general, el diseño de una junta, así como el análisis de su eficiencia, no se reporta en la literatura técnica debido principalmente a que forma parte la propiedad industrial de las empresas y por ello es registrado como patente o bien se mantiene en secreto.

El sistema de unión tipo espiga-campana, como se puede ver en la Figura 1 consiste esencialmente de tres elementos:

- Un casquillo integral en un extremo del tubo.
- Una espiga que se desliza al interior del casquillo.
- Un empaque circular fabricado en un material elastomérico.

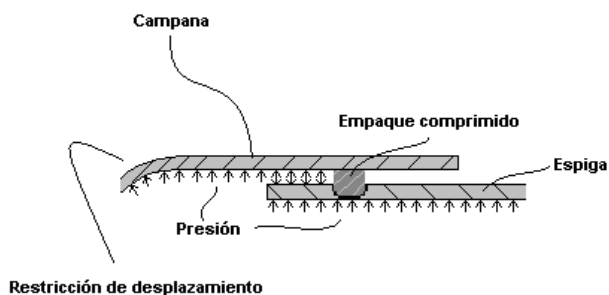
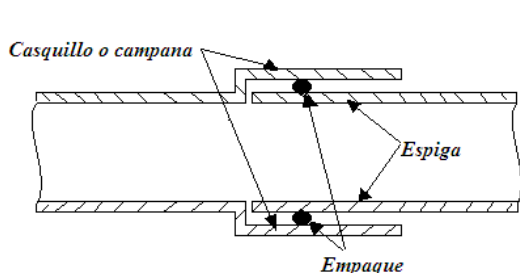


Fig.1 Esquema genérico que muestra los elementos que componen una junta tipo: espiga-campana.

Fig. 2 Cargas aplicadas sobre la campana

En muchos casos el empaque va montado fijamente en la espiga y se inserta el conjunto en el casquillo, también llamado “campana”, de tal manera que la interferencia mecánica que se genera entre el empaque y la campana induce un sello hermético.

De hecho, muchas empresas que actualmente producen tuberías con este tipo de unión, han propuesto diversas configuraciones orientadas en dicho sentido. En México se puede encontrar una amplia gama de diseños de campanas, sin embargo, es poco lo que se ha estudiado al respecto, ya que dichos diseños provienen de tecnologías extranjeras donde si bien se realiza investigación intensa en esta área poca información es transferida a los permisionarios.

En términos generales, la hermeticidad de una junta se refiere a su capacidad de soportar presiones internas sin que se presente fuga del fluido contenido. En particular, en las juntas tipo espiga-campana, se ha observado que la fuga se presenta cuando la campana sufre desplazamientos perimetrales de magnitud tal que se pierde contacto entre ésta y el empaque, es decir, se pierde la interferencia mecánica. Aunque existe una teoría que aborda el problema de tuberías presurizadas bajo condiciones de frontera diversas, los casos resueltos no corresponden con el de la campana debido a que en dichos casos la presión interna y la sección transversal del tubo, a lo largo de su eje longitudinal, son constantes [6, 7 y 8].

En el caso de la campana, se presenta un cambio abrupto de la sección transversal en la transición campana-tubo así como un sistema de cargas compuesto por una presión localizada en una región perimetral inducida por el empaque y una presión constante que sólo actúa en la región limitada por el empaque como se muestra en la Figura 2. No obstante lo anterior, se puede asegurar que el sistema de cargas que actúan sobre la campana induce en ella expansión perimetral y flexión axisimétrica [6].

En la práctica, la hermeticidad de una campana se evalúa mediante una prueba en la cual el conjunto espiga-campana es sometido a presión y vacío acompañado de una deflexión y de un des-alineamiento. En México dichas pruebas son obligatorias para todos productos que emplean el sistema de unión tipo espiga-campana bajo la norma ASTM D3212. En realidad, dicha norma pretende simular condiciones reales a las que trabaja la tubería, sin embargo, no considera que el conjunto se defleca perimetralmente cuando es confinado. Es importante mencionar que en México la investigación en tuberías plásticas es incipiente a pesar de que este sector industrial representa más de 2000 millones de pesos anuales mientras que en países desarrollados, como Estados Unidos y Canadá, se realiza una intensa investigación en el área [9].

En el presente trabajo se aborda la temática de la hermeticidad atendiendo dos aspectos fundamentales que constituyen la base del diseño de juntas tipo espiga-campana: a) El análisis del comportamiento mecánico del conjunto durante pruebas de presión interna y a partir de ello, b) La identificación de los parámetros que influyen en la hermeticidad de este tipo de juntas.

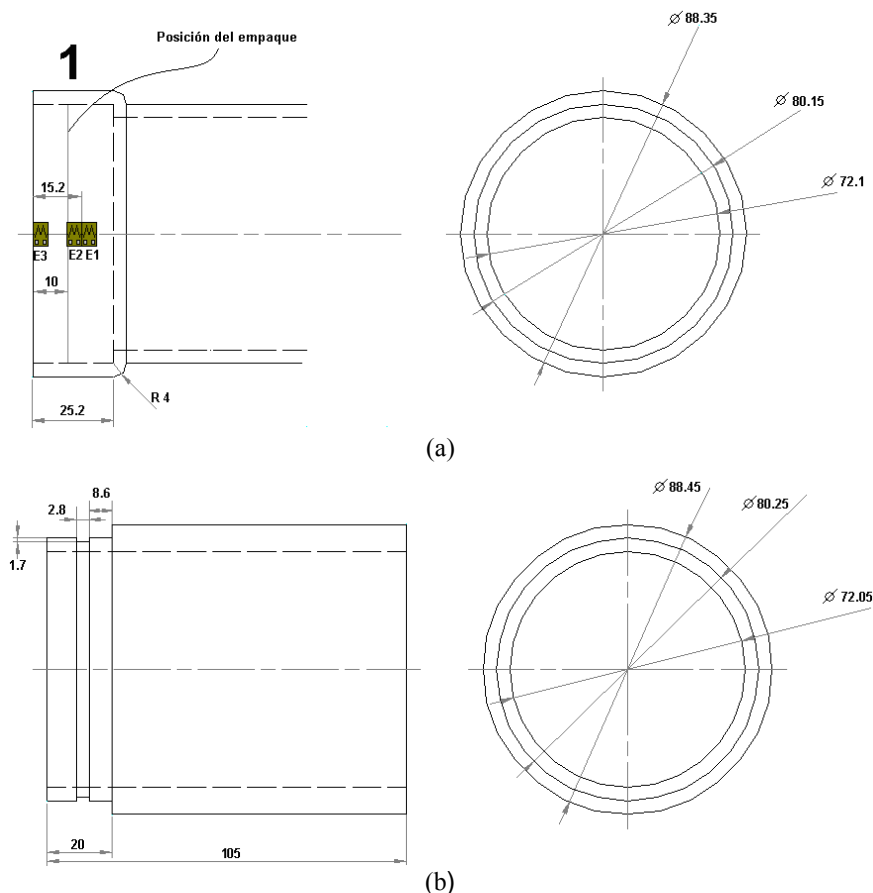


Fig. 3 Geometría de la campana (a) y la espiga (b) maquinadas a partir de un tubo de pared constante de 8 mm. de espesor.

DESARROLLO

Modelo experimental

A partir de un tramo de tubería de PVC con pared constante de 8 mm se maquinaron un conjunto de campanas como se muestra en la Figura 3. Un tramo de tubería fue maquinado para funcionar como espiga de tal manera que se generó una pequeña ranura para alojar al empaque.

Cada campana fue instrumentada con tres galgas extensométricas tipo: EA-06-060LZ-120 (Vishay Micro-Measurements). Las posición y orientación de los extensómetros en cada campana se muestran en la Figura 3a. Asimismo, se utilizó un arreglo de medio puente para compensar por temperatura debido a que los extensómetros utilizados presentan diferente coeficiente de expansión térmica que el material de las muestras [10].

El sistema espiga-campana fue montado en un banco de pruebas, como el que se muestra en la Figura 4, y sometido a una presión interna mediante una bomba de aire. Empleando un equipo P3500 de la marca Vishay, se midieron y registraron las deformaciones de cada uno de los extensómetros colocados en las campanas para diferentes valores de presión la cual fue medida con un manómetro tipo Burdon,

Por otro lado, se obtuvieron 3 tramos pequeños del tubo y se instrumentaron con dos extensómetros, uno en la parte superior y el otro en la parte inferior. Las muestras fueron sujetas a cargas de flexión en un arreglo en catilever. Estas pruebas fueron realizadas para determinar las propiedades mecánicas del material las cuales se emplearon para realizar los modelos numéricos.



Fig. 4 Montaje experimental del conjunto espiga-campana.

Modelo numérico

Modelo geométrico

Para la simulación de las campanas sometidas a presión se elaboraron modelos seccionados (en tres elementos) en un programa CAD con las geometrías y dimensiones mostradas en la Figura 5 y posteriormente fueron exportados al programa "Algor" que emplea el Método del Elemento Finito (MEF) para el cálculo de esfuerzos, deformaciones y desplazamientos. Asimismo, en la Figura 5 se presentan las nomenclaturas utilizadas para el modelo.

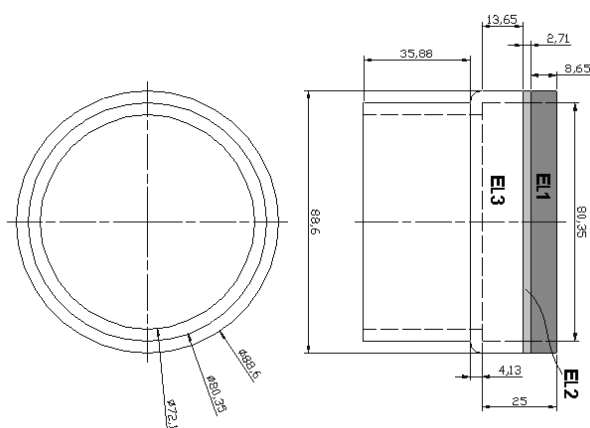


Fig. 5 Geometría y dimensiones modelo MNC1-PI-00-CF

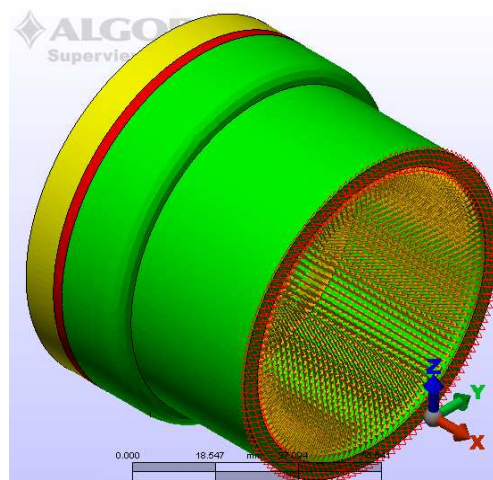


Fig. 6 Cargas y restricciones en el modelo MNC1-PI-DE-CF-i.

Mallado

Se realizó un análisis tipo “tensión estática con modelos de materiales lineales” asumiendo que se obtendrá un resultado aproximado. Definida esta condición, los modelos para las campanas se mallaron con elementos tridimensionales y con un tamaño de la malla del 40% (parámetros del programa) generándose con esto una malla semi-fina para cada uno de los modelos y para sus elementos (contacto tipo pegado entre elementos). Con esto se busco obtener resultados confiables en la simulación sin utilizar demasiado tiempo de máquina.

Cargas aplicadas y restricciones

Con la finalidad de simular, con la mayor aproximación posible, las condiciones de carga presentes en las pruebas experimentales y dado que el programa Algor permite trabajar con superficies, se aplicaron presiones en las superficies internas con magnitudes diferentes en cada uno de los elementos de los modelos mostrados en la Figura 5. Las condiciones de cada sección fueron: a) Presión nula en la sección EL1, b) Presión de superficie igual a 100 Psi (0.6896 N/mm²) en la sección EL2 y c) Presión de superficie igual a 30 Psi (0.2069 N/mm²) en la sección EL3. Los criterios para definir las presiones en las secciones mencionadas fueron las siguientes:

- La sección EL1 corresponde con el extremo libre de la campana donde no hay presión aplicada,
- En la sección EL2 la presión aplicada corresponde con la que se induce debido a la contracción de la sección de transversal del empaque asociada a la diferencia entre el diámetro interior de la campana y el diámetro del empaque montado en la espiga.
- En la sección EL3 la presión aplicada corresponde con la que establece la norma ASTM 3212 para una prueba de hermeticidad en juntas tipo espiga-campana de tuberías plásticas.

Tabla 1 Muestra empleadas en el estudio

Identificación de la muestra	Tipo de prueba	Prueba practicada
C1-PVC-00-CF-1 C1-PVC-00-CF-2	Experimental “	Presión interna “
PVC-F-1 PVC-F-2 PVC-F-3	“ “ “	Flexión en cantilever “ “
MNC1-PI-00-CF-1 MNC1-PI-00-CF-2	Númérico “	Presión interna “

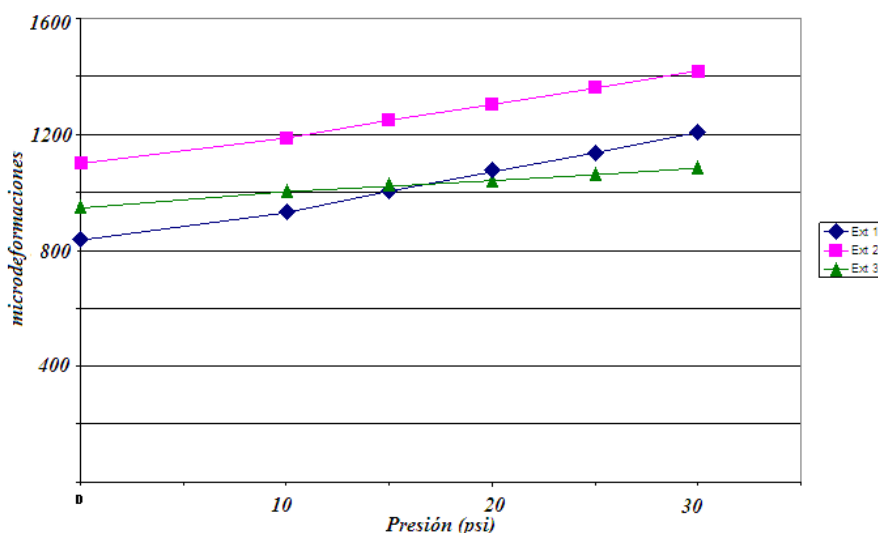
Por otro lado, se restringieron los desplazamientos y las rotaciones en un extremo de cada uno de los modelos. Las condiciones de carga y restricciones se muestran en la Figura 6 para el modelo MNC1-PI-00-CF-i. Como se mencionó anteriormente, las propiedades mecánicas empleadas en el modelo numérico fueron las que se obtuvieron de las pruebas realizadas a las muestras de material ensayadas en flexión.

En la Tabla 1 se presenta una relación de las muestras tanto numéricas como experimentales empleadas en el presente estudio.

RESULTADOS

En la Figura 7, se muestran las curvas deformación-presión correspondiente a cada extensómetro colocado en la campana denominada PVC-00-CF-1. En dichas curvas se aprecia que la variación de la deformación con la presión, incrementa aproximadamente a la misma razón para el extensómetro 1 y 2 (E1 y E2) pero es diferente para el caso del extensómetro 3 (E3). De hecho es claro que la razón de crecimiento de la deformación en el extensómetro 3 es menor que el de los dos primeros extensómetros lo cual puede asociarse al cambio abrupto de la presión.

Por otro lado, en la Tabla de la misma Figura 7 se muestran los valores máximos de deformación que se obtuvieron en cada extensómetro que corresponde con una presión de 30 lb/in². Asimismo se aprecia claramente en dicha Tabla que las deformaciones más altas corresponden con el extensómetro E2, que se colocó en la región del empaque, y la más baja corresponde con el extensómetro E3 que fue colocado en el extremo libre de la campana.



Ext. 1 (μ ϵ)	Ext. 2 (μ ϵ)	Ext. 3 (μ ϵ)
1200	1410	1090

Fig. 7 Comportamiento deformación-presión obtenido en la prueba practicada a la muestra C1-PVC-00-CF-1

Cabe destacar que en las mismas curvas de la Figura 7, se aprecia claramente que la deformación inicial, para los tres extensómetros, es considerablemente alta respecto a las deformaciones máximas obtenidas al aplicar la presión máxima. Dicha deformación corresponde con la que sufren los extensómetros debido a la inserción de la espiga en la campana y al montaje de la muestra en el banco de pruebas. Una prueba realizada a la muestra C1-PVC-00-CF-1 durante la inserción y el montaje mostró que las deformaciones mayores se alcanzan en la inserción mientras que en el montaje y el ajuste en el banco de pruebas se presenta un incremento mucho menor en comparación con respecto a las deformaciones registradas en la inserción.

Por otro lado, en la Figura 8, se muestran los resultados de deformación normal ϵ_{yy} obtenidos de la simulación numérica realizada al modelo MNC1-PI-00-CF-1 que fue elaborado considerando una presión interna de 30

lb/in² y una presión del empaque de 100lb/in². En dicha Figura se aprecia que hay consistencia con los resultados experimentales dado que las máximas deformaciones ocurren en la región cercana al empaque (extensómetro E2) y las mínimas en el extremo libre de la campana (extensómetro E3). No obstante lo anterior, analizando los valores de la Tabla que se muestra en la Figura 8b se aprecia que las deformaciones calculadas por el programa son considerablemente menores que las que fueron medidas en las pruebas experimentales.

Para aclarar la dispersión encontrada, se repitió el estudio numérico pero separando las cargas del empaque y la presión interna. En la Figura 9, se muestran los patrones de deformación obtenidos en esta prueba para la que denominamos muestra MNC1-PI-00-CF-2. A diferencia de la muestra MNC1-PI-00-CF-1, se determinó la carga generada por el empaque induciendo deformaciones del mismo orden de magnitud que la encontrada experimentalmente con lo cual se encontró que la presión aplicada por el empaque a la campana fue de 375 lb/in², es decir casi 4 veces mayor que la estimada originalmente y más de 10 veces más que la presión interna. Este resultado es de gran importancia para el presente trabajo debido a que muestra claramente un caso de la llamada “experimentación numérica” ya que el modelo numérico fue retroalimentado con resultados experimentales. Como se mencionó anteriormente, el valor de la presión que ejerce el empaque sobre la campana fue estimado, originalmente, considerando las propiedades mecánicas del material así como la contracción de su sección transversal asociada a la diferencia de diámetros entre el empaque montado en la espiga y el diámetro interior de la campana. De no haber retroalimentado el modelo numérico con datos experimentales se hubiera incurrido en un error grave en la simulación del comportamiento de la campana.

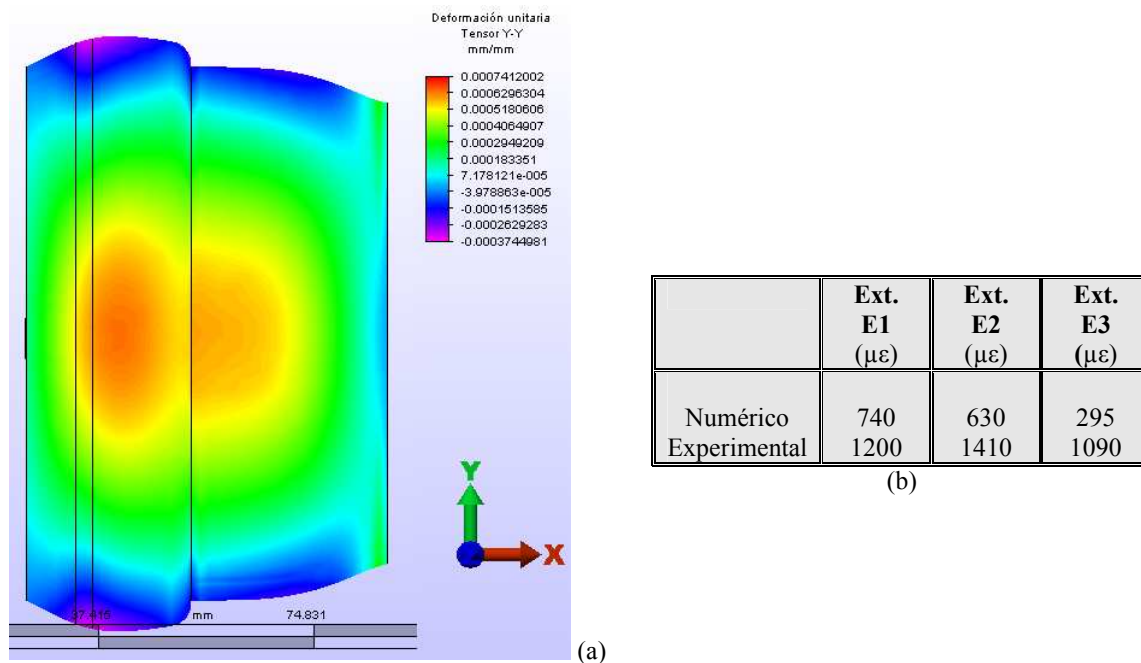
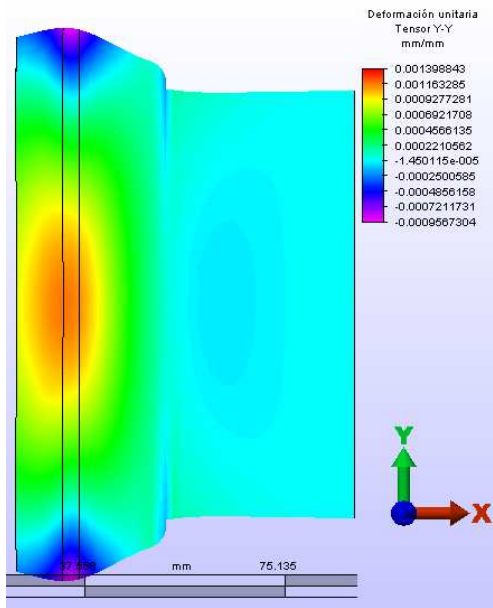


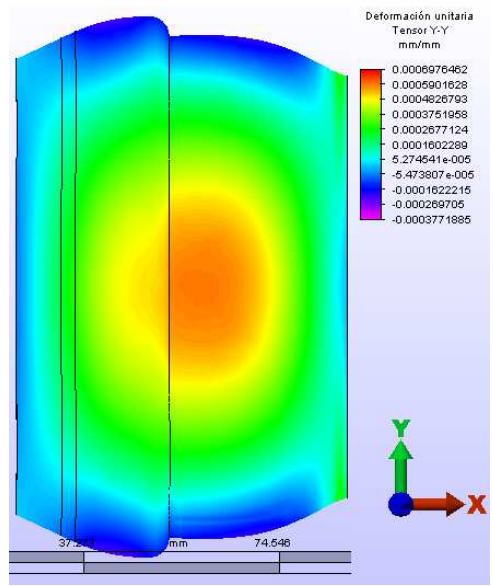
Fig. 8 Distribución de la deformación ϵ_{yy} obtenidos para el modelo MNC1-PI-00-CF-1 a) Resultados gráficos, b) deformaciones aproximadas en la región donde se colocaron los extensómetros en el modelo experimental.

El resultado anterior muestra claramente que la carga principal sobre la campana es debida al empaque y no a la presión interna como comúnmente se especula. Como se muestra claramente en la Figura 9a la carga del empaque, a diferencia del caso de la presión interna, provoca una apertura de la campana en su extremo libre lo cual promueve la fuga del conjunto. Así mismo, se observa que la deformación máxima, y por tanto el esfuerzo, se localiza en la región donde se aplica la carga y no en la transición campana tubo donde se presenta un cambio abrupto de sección.

Por otro lado, se aprecia en la Figura 9b, correspondiente con la carga de presión interna únicamente, que la deformación sigue un patrón similar al que se reporta en el problema de presión axisimétrica para el caso del tubo presurizado con un extremo bridado [6]. Como se ve en la Figura 9b, la deformación máxima, y por lo tanto el esfuerzo, se localiza en la región cercana a la transición campana-tubo y va disminuyendo hacia el extremo libre de la campana donde la deformación es prácticamente nula.



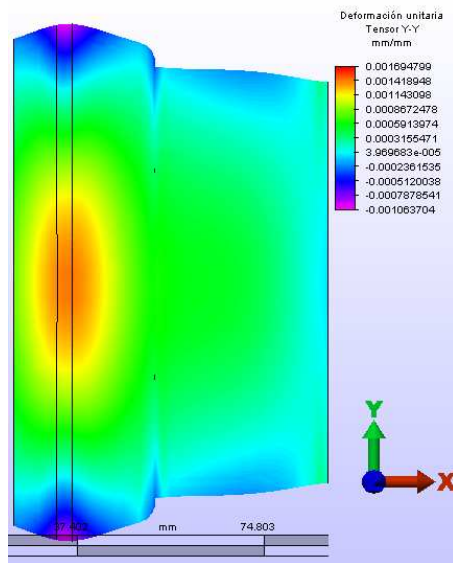
(a)



(b)

	Ext. E1 ($\mu\epsilon$)	Ext. E2 ($\mu\epsilon$)	Ext. E3 ($\mu\epsilon$)
Numérico	1000	1100	925
Experimental	800	1100	950

Ext. E1 ($\mu\epsilon$)	Ext. E2 ($\mu\epsilon$)	Ext. E3 ($\mu\epsilon$)
420	267	0



(c)

	Ext. E1 ($\mu\epsilon$)	Ext. E2 ($\mu\epsilon$)	Ext. E3 ($\mu\epsilon$)
Numérico	1250	1500	850
Experimental	1200	1410	1090

Fig. 9 Distribuciones de deformación ϵ_{yy} correspondientes la muestra numérica MNC1-PI-00-CF-2 para los casos de carga: a) sólo la presión del empaque de 375 lb/in², b) sólo la presión interna de 30 lb/in² y c) ambas cargas aplicadas simultáneamente.

Finalmente, en la Figura 9c, donde se muestran las deformaciones de la campana con ambas cargas aplicadas, la del empaque y la presión interna, y se puede ver una mayor consistencia con los resultados experimentales. Así mismo, en dicha Figura, se aprecia cierto efecto de suma de los efectos de las cargas, las del empaque y de la presión interna, por separado donde destaca que la deformación máxima se localiza en la región cercana al empaque y que la deformación en el extremo libre indican un efecto de apertura de la campana. Considerando lo anterior, es claro que si se incrementa la presión interna, dicha apertura del extremo libre incrementará también y la fuga se presentará. Destaca también el hecho de que en ninguno de los dos casos de cargas aplicadas es decir; el caso de la presión interna y el caso de las dos cargas aplicadas, se presentaron en el extremo libre fijo del tubo (que se ubica a la derecha en todos los casos) las mayores deformaciones, lo cual indica que las longitudes de la muestras simuladas fueron apropiadas.

En suma, los resultados obtenidos muestran que el parámetro que más influye en la hermeticidad de las juntas tipo espiga-campana es la presión aplicada por el empaque sobre la campana por lo que se puede afirmar que incrementar el espesor del empaque para mejorar la hermeticidad de la junta es una medida errónea a pesar de que es común emplear esto como una solución.

Considerando lo anterior, es claro que se deben tomar medidas oportunas para disminuir los efectos del empaque en la hermeticidad. Entre las medidas tomadas por diversos fabricantes se encuentran: a) la aplicación de bandas de materiales rígidos en la campana o bien b) colocar el empaque en un alojamiento de la campana en lugar de sobre la espiga. Determinar la eficiencia de dichas medidas implica la realización de estudios específicos en cada caso, sin embargo, es claro que estas medidas no necesariamente son las únicas que pueden ser realizadas ni las más convenientes desde el punto de vista económico y de la facilidad de manufactura. Así mismo, como se mencionó anteriormente, las ventajas que ofrece el sistema de unión tipo espiga-campana justifica plenamente la realización de estudios que conduzcan a mejorar sus propiedades de hermeticidad.

Analizando el comportamiento mostrado en la Figura 9 se puede inferir que una variación en la sección transversal de la campana generará un cambio en la distribución de las deformaciones, y por tanto de los desplazamientos, que podría disminuir el efecto de apertura del extremo libre de la campana. En un trabajo futuro se presentará una serie de propuestas de variación de la sección transversal de la campana que favorecen la hermeticidad de la junta.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el presente trabajo condujeron a las siguientes conclusiones:

- a) Contrario a lo que se esperaba, la carga que el empaque ejerce sobre la campana induce deformaciones 5 veces mayores que las máximas inducidas por la presión interna.
- b) La carga del empaque genera un efecto de apertura del extremo libre de la campana que promueve la fuga.
- c) La carga sobre la campana debida al empaque es la más importante y su efecto es dominante.
- d) Una variación en la sección transversal de la campana puede disminuir el efecto de apertura del extremo libre de la campana y por lo tanto mejorar las propiedades de hermeticidad.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo técnico para elaboración del presente trabajo de: Ing. Alberto Higuera García y C. Antonio González Montaña.

REFERENCIAS

- [1] Moser A.P., "Buried pipe design", Editorial McGraw-Hill, 2001.
- [2] Watkins R. y Anderson L., "Structural mechanics of buried pipes", Editorail CRC press, 2000.
- [3] www.nacobre.com.mx/Man_AP_01-%20Introducción.asp
- [4] Plastic Pipe Institute, PE handbook "capítulo 9 juntas", pp 329-335, www.plasticpipe.org
- [5] Kentish D.N.W., "Tuberías industriales, diseño, selección, cálculo y accesorios", Editorial URMO, 1989.
- [6] Ragab A., "Engineering solid mechanics, fundamentals and applications", Editorial CRS, press, 1999.
- [7] Ugural A.C. y Fenster S.K., "Advanced Strength and applied elasticity", Editorial Prentice Hall, 1994.
- [8] Timoshenko S. and Woinowsky S., "Theory of plates and shells", Editorial McGraw-Hill, 1959.
- [9] www.plasticpipe.org
- [10] Dally J. y Riley W., "Experimental stress analysis", Editorial McGraw-Hill, 1991.