

Expansión volumétrica en mangueras oleohidráulicas

Volumetric expansion for hydraulic hoses

Francisco Javier Henao Castañeda^{1*}, Mario Hoyos Mesa²

Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia
 frajahec@utp.edu.co,
 marhoyos@utp.edu.co

Resumen— El presente informe muestra la determinación de la expansión volumétrica en mangueras oleohidráulicas, su influencia en sistemas de potencia fluida y el análisis matemático de los resultados.

Palabras clave— arámida, fluoropolímero, poliuretano, trenza, volumétrica

Abstract—This report treats about the determination of hydraulic hose's volumetric expansion, its influence on fluid power systems and mathematical analysis of the results.

Key Word — Aramid, braid, fluoropolymer, polyurethane, volumetric

I. INTRODUCCIÓN

Las mangueras son una opción muy común en los sistemas hidráulicos ya que simplifican la plomería [5] y permiten el movimiento relativo entre componentes interconectados por ellas (válvulas y actuadores). En el comportamiento de las mangueras hidráulicas, su vida útil depende de factores tales como presión de rotura, presión de trabajo, presión de prueba, temperatura, radio de curvatura, vibración y flexión, compatibilidad de fluidos y resistencia química [4]. Sin embargo, las mangueras hidráulicas, presentan el fenómeno de expansión volumétrica con el aumento de la presión.

Por otro lado, el conocimiento y divulgación del tema de la expansión volumétrica en mangueras hidráulicas no es muy abundante en nuestro medio.

En este trabajo se define la expansión volumétrica para mangueras hidráulicas y se analizan los factores que la determinan al igual que sus efectos en el desempeño de equipos oleohidráulicos. Se hace además una revisión de literatura y la discusión correspondiente acerca de diferentes métodos y normas relacionadas con la determinación de la expansión volumétrica en mangueras hidráulicas.

Finalmente se hace un análisis de los resultados obtenidos experimentalmente respecto a los que proporciona el fabricante.

II. CONTENIDO

A. Expansión volumétrica en mangueras hidráulicas y sus efectos

La expansión volumétrica es un parámetro importante para el análisis y diseño de sistemas oleohidráulicos en lo relacionado con la rapidez de respuesta y la precisión de su funcionamiento. También está estrechamente relacionada con las características constructivas de las mangueras hidráulicas; especialmente en el refuerzo (ver figura 1) que es el que permite diferenciar una manguera de otra. Este refuerzo [6] es como el músculo de la manguera ya que le proporciona la resistencia necesaria para afrontar la presión o vacío a la cual va a ser sometida. Los tres tipos básicos de refuerzo que se utilizan son: Trenzado, espiral y helicoidal (ver figura 2).

B. Definición de expansión volumétrica en mangueras hidráulicas

La expansión volumétrica en mangueras hidráulicas se define como la variación o deformación que éstas presentan dimensionalmente cuando se someten a cierta presión. Esto quiere decir que su diámetro y su longitud experimentan ciertos cambios concretamente en el refuerzo (parte de la manguera que está entre el tubo y la cubierta).

Los factores que afectan la expansión volumétrica son:

Fibras del refuerzo. Que dependen del material de las fibras y de su módulo elástico, del encogimiento con el calor y del número de vueltas.

Especificaciones de la trenza (si se construyen bajo trenzado vertical). Tiene que ver con la capa o capas de la trenza, el diámetro y el volumen que ocupan dichas trenzas y el balance de tensión en la trenza.

Estado de composición del caucho y de las fibras. Se trata de la adherencia del caucho a las trenzas mientras se están tensionado.

Vulcanización. El caucho que recubre las trenzas se calienta y se mezcla con azufre con el fin de volverlo más duro y resistente al ataque químico pero sin perder su elasticidad natural. Estos factores se muestran en la figura 3.

Además de los factores ya mencionados, influyen notablemente en la expansión volumétrica de las mangueras hidráulicas, la presión y el refuerzo. Éste último lleva un ángulo neutro en la trenza (es el que se forma con el cruce de dos espiral o hilos) con el fin de que dicha expansión no sea muy notable. El significado de este ángulo se describe a continuación.

C. Ángulo neutro

Se define como ángulo neutro, el ángulo óptimo que le confiere a la manguera la resistencia para que su variación dimensionalmente (diámetro y longitud) sea la mínima cuando se somete a diversos cambios de presión (ver figura 4). El ángulo neutro está relacionado con tres tipos de fuerzas en un sistema hidráulico. Estas son:

i. **Fuerza de reacción radial.** Es la fuerza que ejerce la manguera para evitar el aplastamiento del tubo. La magnitud de esta fuerza es directamente proporcional a la presión aplicada P y al radio de la manguera R.

ii. **Fuerza de reacción tangencial.** Para comprender el funcionamiento de esta fuerza, se debe considerar la manguera como una composición de dos secciones o cascos longitudinales (ver figura 5). El efecto de la presión interna es tratar de separar estas dos secciones. Es allí donde actúa la fuerza de reacción tangencial oponiéndose a dicho efecto. Esta fuerza depende por lo tanto de la presión p, de la longitud del hilo L y del diámetro D del tubo. La fuerza tangencial se determina mediante la ecuación 1.

iii. **Fuerza de reacción longitudinal o axial.**

Supóngase que se coloca un tapón en un extremo de la manguera y ésta se somete a cierta presión interna p. El efecto de esta presión p sobre la manguera es producir un alargamiento. La fuerza de reacción axial es la que se crea en ese momento haciendo oposición a ese sometimiento. La magnitud de esta fuerza de reacción está relacionada con el área del supuesto tapón y el valor de la presión aplicada. La fuerza axial se determina mediante la ecuación 2. Para calcular el ángulo neutro se desenvuelve una espira y se mide su altura a lo largo de la línea central del tubo exteriormente como se indica en la figura 4. Esta espira debe soportar las fuerzas de reacción tangencial y axial.

Al hacer coincidir θF con θ se obtiene un valor para el ángulo neutro de $57^{\circ} 44' 28''$. Jan Hölcke [1] establece que construir la manguera con un valor del ángulo neutro diferente al arriba indicado, tiene los siguientes efectos sobre el diámetro, la longitud y el volumen de la misma, a saber: al variar este ángulo hacia valores menores, permite a la manguera aumentar el diámetro y reducir su longitud al

aplicar presión. Cuando la variación ocurre hacia un valor mayor, entonces se da el caso contrario, disminución del diámetro y aumento de su longitud. Esta explicación se aprecia en la tabla 1.

Ecuación 1 $F_r = \frac{L \cdot D}{2} \cdot p$

Ecuación 2 $F_a = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot p$

Ecuación 3 $\beta_r = -v_r \cdot \frac{\Delta p}{\Delta v_r}$

Ecuación 4 $\Delta v_r = Q \cdot \Delta t$

Ecuación 5 $\frac{1}{\beta_r} = \frac{1}{s+1} \left(\frac{1}{\beta_o} + \frac{s+1}{\beta_m} + \frac{s}{\beta_g} \right)$

Ecuación 6 $\frac{1}{\beta_r} = \frac{1}{\beta_o} + \frac{1}{\beta_m}$

Ecuación 7 $\Delta v_{tot} = v_{tot} \cdot \frac{\Delta p}{\beta_m} = \frac{E}{L} \cdot \Delta v_m$

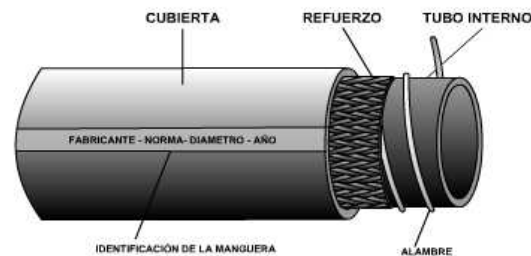


Figura 1. Partes principales de una manguera hidráulica.

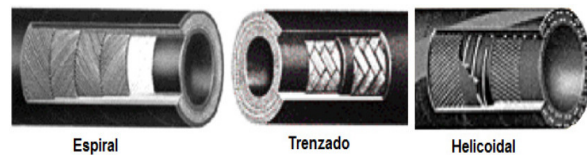


Figura 2. Tipos de refuerzo en mangueras hidráulicas.

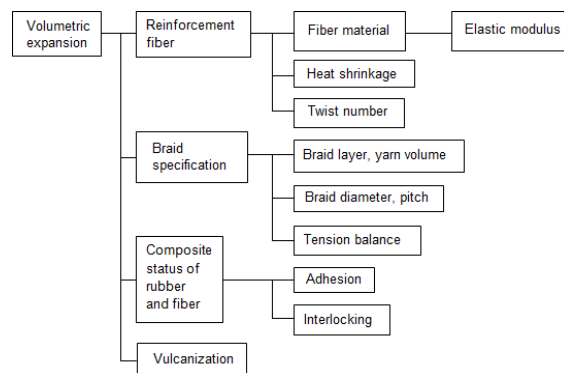


Figura 3. Factores que afectan la expansión volumétrica.

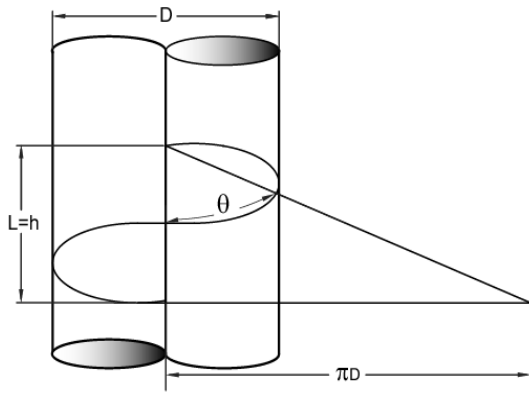


Figura 4. Visualización del ángulo neutro

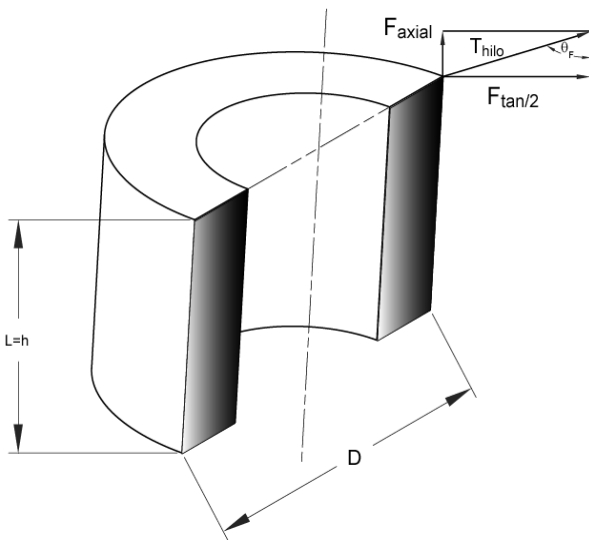


Figura 5. Aplicación del sistema de fuerzas en un extremo del casco.

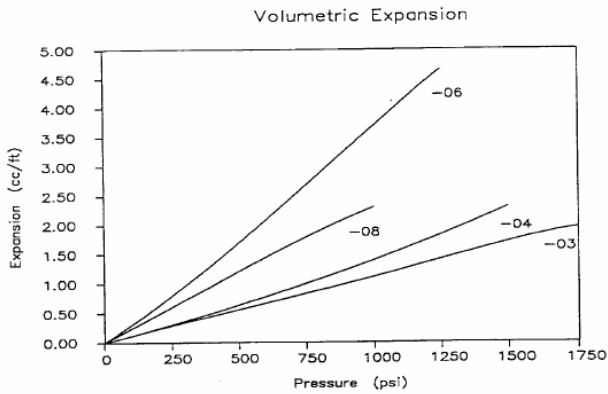


Figura 6. Expansión volumétrica para la manguera TrueFlex 3R30

38LV VOLUMETRIC EXPANSION

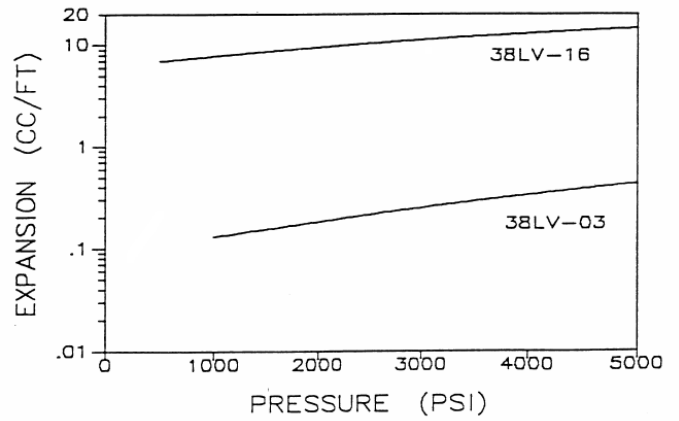


Figura 7. Expansión volumétrica para la manguera Eaton Sinflex 38 LV

34CU VOLUMETRIC EXPANSION

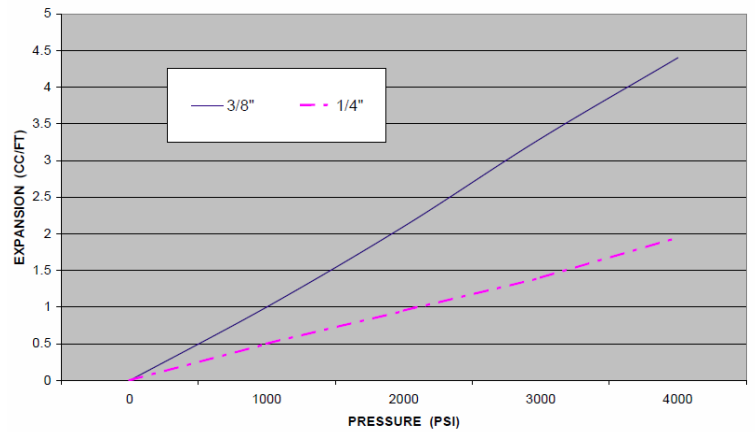


Figura 8. Expansión volumétrica para la manguera Sinflex 34 CU

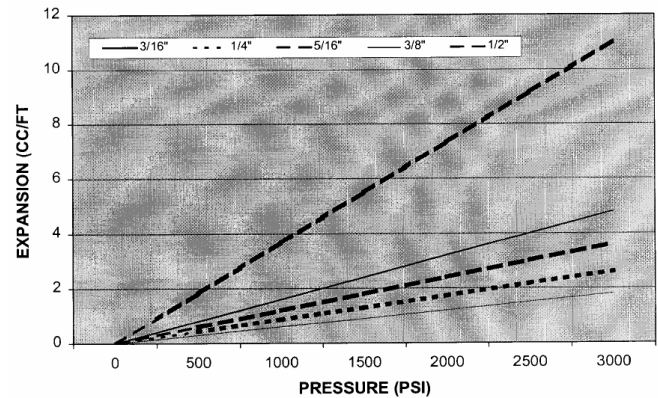


Figura 9. Expansión volumétrica para la manguera Eaton 37 AL

Part No. #	DN size		mm		inch		Max. Working Pressure MPa / psi	Min. Burst Pressure MPa / psi	Min Bend Radius mm	Weight kg/m	Volumetric Expansion ml/m
573X-3	5	-03	4,8	3/16	8,9		21,0 3000	83,0 12000	51	0,04	2,3
573XL-3	5	-03	4,8	3/16	8,9		21,0 3000	83,0 12000	51	0,05	1,8
573X-16	25	-16	25,4	1	37,3		21,0 3000	83,0 12000	254	0,80	38,0

Figura 10. Expansión volumétrica para la manguera Parflex 573X/573XL

Part No. #	DN size		mm		inch		Max. Working Pressure MPa / psi	Min. Burst Pressure MPa / psi	Min Bend Radius mm	Weight kg/m	Volumetric Expansion ml/m
593-12	20	-12	15,9	3/4	28,4		21,0 3000	83,0 12000	178	0,70	16,1
593-16	25	-16	25,4	1	36,8		22,4 3250	90,0 13000	203	1,00	37,7

Figura 11. Expansión volumétrica para la manguera Parflex 593

Part No. #	DN size		mm		inch		Max. Working Pressure MPa / psi	Min. Burst Pressure MPa / psi	Min Bend Radius mm	Weight kg/m	Volumetric Expansion ml/m
575X-3	5	-03	4,8	3/16	10,9		34,5 5000	138,0 20000	38	0,07	5,2
575X-4	6	-04	6,3	1/4	12,9		34,5 5000	138,0 20000	51	0,10	6,9
575X-6	10	-06	9,5	3/8	16,5		34,5 5000	138,0 20000	76	0,13	10,2
575X-8	12	-08	12,7	1/2	20,6		34,5 5000	138,0 20000	102	0,20	15,1

Figura 12. Expansión volumétrica para la manguera Parflex 575X

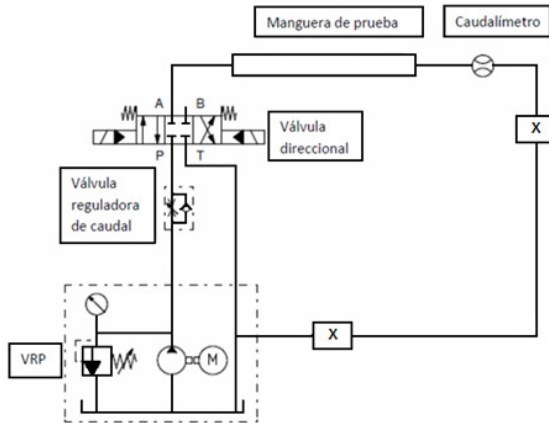


Figura 13. Circuito hidráulico aplicando el método indirecto.



Figura 14. Caudalímetro STAUFF PPC-04/12-SFM-015.



Figura 15. Transductor de presión SPT-5000-N04-420-MD.

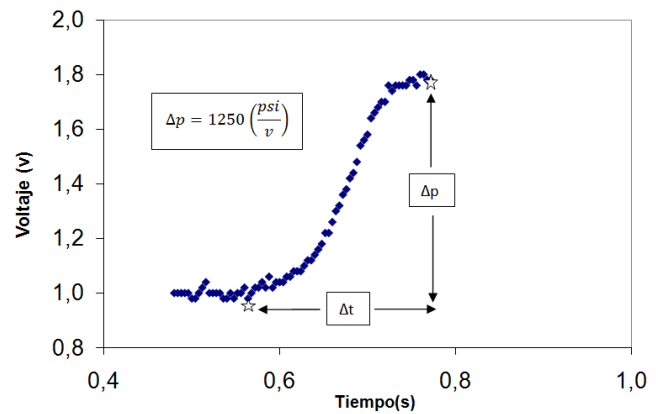


Figura 16. Aumento de la presión en el tiempo.

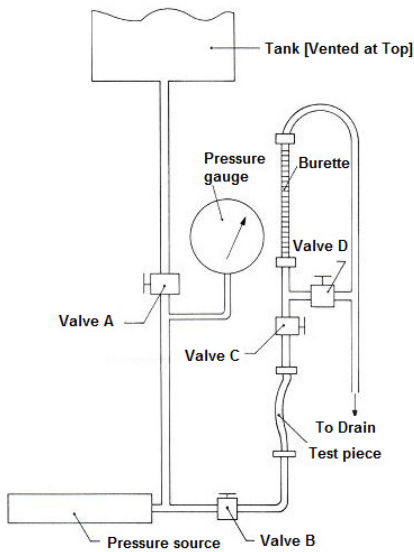


Figura 17. Aparato para medir la expansión volumétrica

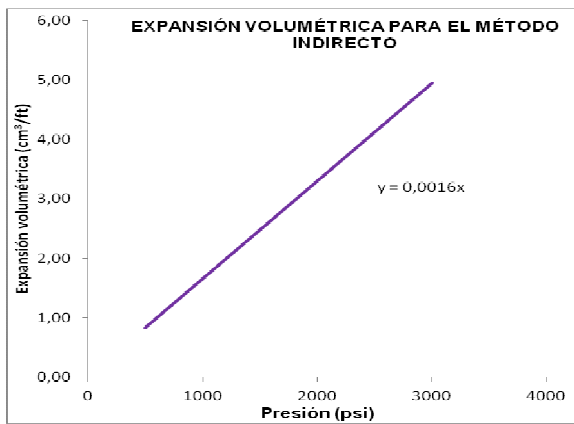


Figura 18. Expansión volumétrica método indirecto

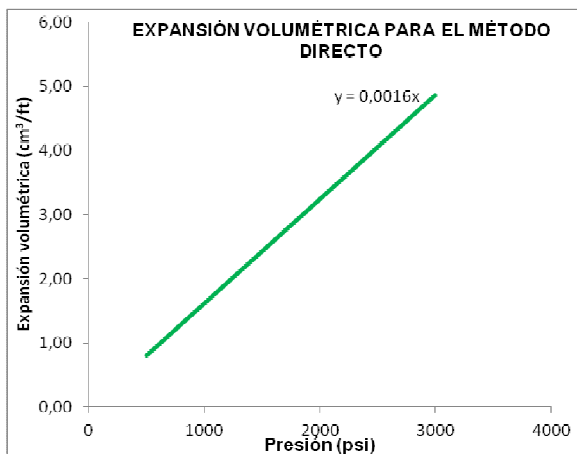


Figura 19. Expansión volumétrica método directo

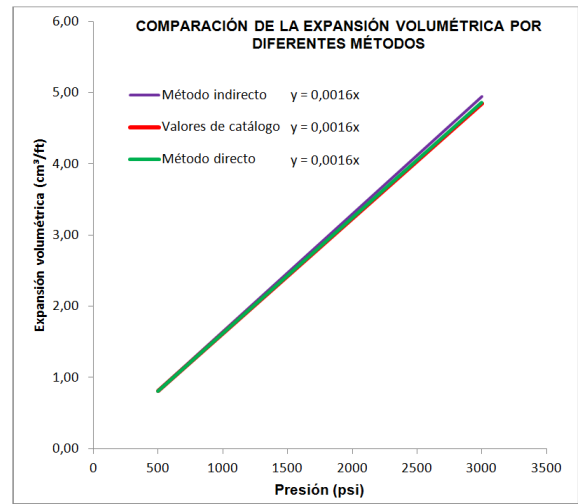


Figura 20. Comparación de métodos

Ángulo neutro	Cambios en la manguera al aplicar presión		
	Longitud	Diámetro	Volumen
Descendente	Disminuye	Aumenta	Aumenta
Ascendente	Aumenta	Disminuye	Aumenta

Tabla 1. Cambios en la manguera ante variaciones del ángulo neutro

Presión (Psi)	500	3000
Expansión volumétrica (cc/ft)	0.90	4.89

Tabla 2. Valores correspondientes al método indirecto

Presión (Psi)	500	3000
Expansión volumétrica (cc/ft)	0.89	4.80

Tabla 3. Valores correspondientes al método directo

D. Información de fabricantes sobre la expansión volumétrica en mangueras hidráulicas

A pesar de la poca información comercial sobre la expansión volumétrica, algunos fabricantes la dan a conocer en sus catálogos. Durante la presente revisión bibliográfica se encontraron valores de expansión volumétrica para las siguientes mangueras:

- i. **TrueFlex Hose 3R30.** Las características para esta manguera hidráulica termoplástica son las siguientes: Para los tamaños entre -03 y -06 (3/16 y 3/8 de pulgada) el refuerzo es helicoidal con dos capas superpuestas de fibra sintética y para -08 (1/2 pulgada) el refuerzo es una sola capa de fibra sintética mediante trenzado vertical. Los valores de expansión volumétrica a varias presiones para esta manguera se muestran en la figura 6.

- ii. **Eaton Sinflex 38 LV.** La parte interna del tubo está construida de un polímero sin costura reforzado con fibra sintética y la parte externa es una cubierta lisa de poliuretano. El refuerzo es una fibra sintética aplicada sobre el tubo en dos maneras: Las fibras para el tamaño -03 (3/16 de pulgada) son en espiral, envueltas en cuatro capas y adheridas al tubo. Las fibras para el tamaño de 1 pulgada son de tipo trenzado y van adheridas al tubo en dos capas, cada una con trenzas recubiertas con fibra sintética. Los valores de expansión volumétrica para esta manguera se muestran en la figura 7.
- iii. **Eaton Sinflex 34 CU.** En este tipo de manguera termoplástica, el tubo es un fluoropolímero reforzado con fibra sintética recubierto de poliuretano. El refuerzo es una fibra sintética de color natural de tipo trenzado que va adherido al tubo en múltiples capas. Los valores de expansión volumétrica para esta manguera se muestran en la figura 8.
- iv. **Eaton 37 AL.** Esta manguera hidráulica es termoplástica y no conductiva. Se adhiere al tubo de poliéster un refuerzo trenzado en una sola capa recubierta con fibra sintética. Los valores de expansión volumétrica para esta manguera se muestran en la figura 9.
- v. **Parflex 537X/537XL Medium Pressure Hose.** El refuerzo para esta manguera está construido mediante trenzado vertical con una única capa hecha con trenzas uniformes de fibra sintética de alta resistencia. Existe un símbolo para la expansión volumétrica en mangueras hidráulicas. Este se muestra en la figura 10 junto con los respectivos valores para la presión máxima de trabajo.
- vi. **Parflex 593.** Es una manguera para alta presión. El refuerzo está construido por dos capas mediante trenzado vertical, la primera es de fibra de arámida de alta resistencia a la tracción y la segunda es de alambre de acero de alta resistencia a la tracción. Los valores de expansión volumétrica para este tipo de manguera con diámetro de tubo de 1 pulgada y 3/4 se muestran en la figura 11.
- vii. **Parflex 575X.** Esta manguera para alta presión se construye mediante trenzado vertical con una o dos capas de fibra sintética de alta resistencia a la tracción. Los valores de expansión volumétrica para la presión máxima de trabajo se muestran en la figura 12.

III. MÉTODOS DE MEDIDA DE LA EXPANSIÓN VOLUMÉTRICA

La expansión volumétrica de mangueras hidráulicas se puede determinar por dos métodos: método indirecto [2] y método directo [3].

A. Método indirecto.

Se toma una longitud de manguera L y se procede de la siguiente manera:

Con un circuito hidráulico como el de la figura 13, se ajusta la válvula reguladora de caudal con ayuda del caudalímetro tipo turbina STAUFF PPC-04/12-SFM-015 que se muestra en la figura 14. Se ajusta la presión con la válvula reguladora de presión (VRP en la figura 13) y se reemplaza el caudalímetro por un transductor de presión SPT-5000-N04-420-MD como el que se muestra en la figura 15. Por último, se bloquea la salida a tanque indicada con X-----X.

Se registra la evolución de la presión en el tiempo en un osciloscopio digital donde se entregan los valores de Δp y Δt . Los valores de Δp se calculan de acuerdo al rango de operación del transductor de presión como se muestra en la figura 16.

Si el sistema se considera libre de aire o gases disueltos, (o sea que $s=0$) la ecuación 5 queda convertida en la ecuación 6 donde $\hat{\rho}_0$ es el módulo del aceite, $\hat{\rho}_m$ es el módulo de la manguera y $\hat{\rho}_g$ es el módulo del gas o aire.

Luego se puede calcular el módulo de compresibilidad efectivo de todo el sistema (manguera y fluido) mediante la ecuación 3, donde v_t es el volumen del fluido dentro de la manguera y Δv_t se calcula por medio de la ecuación 4.

Como ya se conocen los módulos del aceite (de la norma ISO 6370) y el efectivo, se procede a despejar el módulo de la manguera de la ecuación 6.

El cambio de volumen dentro de la manguera Δv a cierta presión p equivale a la expansión de la manguera por unidad de longitud y se obtiene a partir de la ecuación 7.

B. Método directo.

Se puede determinar directamente la expansión volumétrica por un procedimiento descrito en la norma ISO 6801:1983, donde se especifica un método para la determinación de la expansión volumétrica de mangueras hidráulicas bajo presión hidrostática. Es decir, que para algunos volúmenes específicos de algún fluido, a menudo se busca que la variación de la capacidad volumétrica de la manguera a una presión requerida, ocurra solo en pequeñas cantidades.

IV. ANÁLISIS MATEMÁTICO DE LOS RESULTADOS

A. Método indirecto.

El cambio de volumen del aceite dentro de la manguera hidráulica (expansión volumétrica) tiene un comportamiento lineal respecto al aumento de presión; por lo tanto, se puede calcular una expresión matemática para el método indirecto solamente con el registro de dos puntos en la toma de datos con el fin de encontrar un modelo matemático que se ajuste al tipo

de manguera de prueba (en este caso EATON SINFLEX 37AL-06 NONCONDUCTIVE SAE R7 3/8" ID 2250 PSI WP 155 BAR) para determinar la expansión volumétrica a cualquier presión de servicio. En la figura 18 se muestran los valores experimentales correspondientes al método indirecto. Estos valores se registran en la tabla 2 y al graficarlos, dan como resultado la siguiente expresión matemática: $Y=0.0016X$, que corresponde a la ecuación de la recta que pasa por los puntos de presión 500 y 3000 PSI.

Con éste modelo, es posible encontrar la expansión volumétrica Y a un valor determinado cualquiera de presión X , basta con reemplazar dicho valor en la ecuación. Por ejemplo si se desea calcular la expansión volumétrica de la manguera en cuestión a 1750 PSI, se debe multiplicar 0.0016×1750 y el resultado será $Y=2.8\text{cc/ft}$.

B. Método directo.

La máquina para la medición directa de la expansión volumétrica se ha construido bajo un estándar internacional, que mediante su calibración garantiza valores muy confiables. Por ejemplo, algunos de los valores que aparecen en la literatura son iguales y otros pocos difieren en cantidades mínimas de los obtenidos en las pruebas realizadas en el laboratorio.

Al graficar los valores registrados en la tabla 3, se encuentra el modelo matemático correspondiente que resulta ser igual al del método indirecto, es decir $Y=0.0016X$.

De manera similar al caso anterior, se puede encontrar la expansión volumétrica para cualquier valor de presión deseada. Los valores de la tabla 3 se muestran en la figura 19.

Al hacer la comparación de los dos métodos con el estándar de producto, se encuentra que los tres modelos matemáticos son prácticamente idénticos según se aprecia en la figura 20 donde los valores encontrados mediante la práctica coinciden con los del fabricante.

V. CONCLUSIONES

La determinación de la expansión volumétrica permite conocer la capacidad que tienen las mangueras de aumentar dimensionalmente ante diversos cambios de presión. La repetitividad de este fenómeno tiene efectos sobre la vida útil de las mangueras debido a que las fibras o alambres que conforman el refuerzo, además del tubo y la cubierta, se ven sometidos continuamente a esfuerzos de tracción y de compresión.

La expansión volumétrica, se tiene en cuenta en el diseño y montaje de circuitos hidráulicos en cuanto al análisis de

respuesta tanto bajo presión hidrostática como para efectos transitorios.

La expansión volumétrica de las mangueras hidráulicas sirve para solucionar problemas de aumentos de presión en algunos sistemas hidráulicos (sobre todo en maquinaria pesada como tractores y retro excavadoras). Un gran número de fallas en componentes hidráulicos son causadas por sobrecargas o aumentos súbitos de presión. Estas sobrecargas están por encima de los ajustes de la válvula de alivio del sistema y se presentan como un evento inverosímil o difícil de probar. Conociendo la expansión de las mangueras hidráulicas se podrían compensar estos aumentos de presión.

REFERENCIAS

- [1] HÖLCKE, Jan. Frequency response of hydraulic hoses. Licentiate thesis. Department of machine design. Royal institute of technology, KTH. Stockholm 2002.
- [2] HOYOS MESA, Mario; MEJÍA CALDERÓN, Luz Adriana; HENAO CASTAÑEDA, Edison. Determinación experimental del modulo de bulk de tuberías flexibles para sistemas oleohidráulicos. Revista Scientia et Technica Año XI, N° 29, diciembre de 2005. UTP. ISSN 0122-1701.
- [3] HENAO CASTAÑEDA, Francisco Javier. Determinación experimental de la expansión volumétrica de mangueras oleohidráulicas. Pereira 2010. Trabajo de grado (Magister en Sistemas Automáticos de Producción). Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ingeniería Mecánica.
- [4] Mangueras hidráulicas [Publicación en línea]. Disponible en URL: <http://www.comeros.com.ar/fichaprod.php?:itemID=787>.
- [5] Mangueras hidráulicas [Publicación en línea]. Disponible en URL: www.coprominltda.cl/hidraulica.html.
- [6] FAJARDO, Salvador. Mangueras, mangueras. Sin parar. Vol. 6. Junio- Julio 2000. [Publicación en línea]. Consultado en: Septiembre 09 2009. Disponible en URL: [http// www. Gates.com.mx](http://www.Gates.com.mx)
- [7] INTERNATIONAL STANDARD ISO 6801. Rubber or plastic hoses. Determination of volumetric expansion. UDC 621.643.33:532.11. First Edition 1983-11-01. Switzerland.
- [8] Hydraulic hose and coupling. Dayco.
- [9] Hydraulic hose. Publicación en línea. Disponible en URL: [http//www.synflexhose.com/frames.cfm?page=hydraulic.cfm](http://www.synflexhose.com/frames.cfm?page=hydraulic.cfm)
- [10] KRAUS, G. Reinforcement of Elastomers (Polymer Engineering and Technology, Interscience Publishers, 1965.

- [11] Freakley P.K., Payne A.R., Theory and practice of engineering with rubber, London, Applied science publishers ltd 1978.
- [12] Standard Methods of testing Rubber Hose for Automotive Hydraulic Brake Systems, American National Standard, ANSI/ASTM D5571-76
- [13] MEJÍA CALDERÓN Luz Adriana. Construcción de un sistema para medir la compresibilidad isotérmica de aceites minerales. Pereira, 2005. Trabajo de grado (Magister en Sistemas Automáticos de Producción). Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ingeniería Mecánica.
- [14] NORMA ESPAÑOLA UNE EN 2680: Mangueras de elastómeros o plásticos. "Determinación de la expansión volumétrica". Madrid. Asociación Española de normalización y certificación (AENOR). 1993. Secretaría del CTN 53 ANAIP y COFACO. CDU 621.643.3-036:620.1:532.11.
- [15] FLEXCO DE COLOMBIA S.A. Documental sobre ángulo neutro en mangueras hidráulicas.
- [16] DYM Clive L. and LITTLE Patrick. El proceso de diseño en ingeniería. México. DF. Editorial Limusa, S.A., 2002. 383 p.
- [17] FLUID POWER DESIGNERS. Lightning reference handbook. Seventh edition. VICKERS, Sperry. Mobile hydraulics manual. M-2990-A. First edition 1967. Page 163.
- [18] TAKASHI Ishikawa, TAKASHI Hirano and SHINICHI Arakawa. Low volumetric expansion brake hose "HTY". Hitachi cable review #23 (August 2004).
- [19] Racores y mangueras hidráulicas [Publicación en línea]. Disponible en URL: www.sbcorporation.com/glossary/index.asp.
- [20] Manual sobre mangueras hidráulicas Parker [Publicación en línea]. Disponible en URL: www.parker.com/hpd/services/techAlert/TechAlert.asp?id=44.34k.
- [21] Oleohidráulica y mangueras hidráulicas [Publicación en línea]. Disponible en URL: www.tecnicaoleohidraulica.com/h_09_mangueras_ident.htm.
- [22] SERRA CASTAÑOS, Roman. Automobiles and Trucks. Hoses and Assemblies for Hydraulic Brakes. Volumetric Expansion Test. NORMA MEXICANA NMX-D-177-CT-1981. Mexico, D.F., April 6, 1981.
- [23] PRODUCT STANDARD 3R30. True fog. U.S.A. True flex hose.
- [24] HOLOWINIA, B. P and E. H, James. Determination of Dynamic Bulk Modulus of Elastomers Using Pressure Measurement. Rubber Chemistry and Technology, Vol. 66. 1993. No. 5, pp. 749-753.
- [25] BURNS, J., Dubbleday, P.S. and TING, R. Y., 1990, "Dynamic Bulk Modulus of Various Elastomers," Journal of Polymer Science: Part B Polymer Physics, Vol. 28, pp. 1187-1205.
- [26] STREETER, Victor L., and WYLIE, Benjamin E., 1976, Fluid Mechanics, McGraw-Hill Book Company, New York, pp. 342.
- [27] NIELD, Adrian. Stainless Braided PTFE vs RUBBER. "Reason for report to establish the benefits of stainless steel braided hose versus rubber hose, specifically when used in brake applications". Head of Engineering. 17th August 2005.
- [28] Expansion Hose for the reduction of Pressure Pulsations. Document Type and Number: United States Patent 5172729 [on line]. Available from Internet: <http://www.freepatentsonline.com/5172729.html>
- [29] PRODUCT STANDARD 37AL NON-CONDUCTIVE HYDRAULIC HOSE. Eaton Performance Plastics-Mantua Plant. 10585 Main Street. Mantua, Ohio 44255. Revision: 7/10/01. Page Number: 1 to 8.
- [30] CODE OF FEDERAL REGULATIONS, Parts 400 to 599 Volume I. Revised as of October 1, 2006. TRANSPORTATION. Material protected by Author's rights. [on line]. Available from Internet: <http://books.google.com.co/books?id=HDHiVcarizQc&pg=onepage=hydraulic%20hose%20expansion&f=false>.
- [31] LAGE SOTO, Juan Carlos. Tecnologías aplicadas a elementos de confort en la vivienda. Sistemas derivados del uso e compresión de gases. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 1 al 3 de julio de 2002. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México.
- [32] TALLER N° 1: Esfuerzo, Tensión y Módulos de Elasticidad. Curso de Física de los Medios Continuos. Universidad de Antioquia Facultad de Educación. Departamento de Enseñanza de Ciencias y Artes. Licenciatura en Matemáticas y Física.
- [33] PUGH, Stuart. Total design-Integrated Methods for Successful Product Engineering, Addison Wesley, 1991.
- [34] Ullman G, David. The Mechanical Design Process, 3ª. Ed., McGraw-Hill, 2003.

[35] TAYLOR, J. R. An Introduction to Error Analysis. The Study of uncertainties in Physical Measurements. University Science Books. 1982.

NORTON, L. Robert. Diseño de Máquinas. Primera Edición. Pág 9-12. 2001 Editorial Prentice Hall.

[36] RICHARD G, Budynas y J. Keith Nisbeth. Diseño en Ingeniería Mecánica. Octava Edición. Pág 4-12. Editorial Mc Graw Hill. 20002.

[37] GATO VILLASUSO, José. Los instrumentos de medida. [Publicación en línea]. Disponible en URL: http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/fisicaInteractiva/medidas/medidas_indice.htm#factor. Diciembre 15 de 2009.

[38] CREUS SOLÉ, Antonio. Neumática e Hidráulica. Segunda Edición. Grupo editor Alfa y Omega, S.A. de C. V., México. ISBN: 978-607-707-152-5.

[39] D. Merkle, B. Schrader, M. Thomes. Hydraulisches Lehrbuch. FESTO DIDACTIC KG, D-7300 Esslinger 1, 1989. ISBN: 3-8127-3287-4.

[40] VILLARONGA MAICAS M. Manual de Oleohidráulica Industrial 935100-A. Sperry Vickers. Editorial Blume. Milanesado, 21-23. Barcelona. España.