

Espesores técnico económicos de aislamiento térmico para el transporte de petróleo por tuberías

Technical thermal insulation thicknesses for transporting oil through pipelines

Olga Pérez Maliuk¹

RESUMEN:

Se establecen parámetros racionales de espesor de aislamiento térmico para tuberías conductoras de petróleo crudo pesado, teniendo en cuenta criterios económicos y técnicos; para ello se tiene en consideración la influencia del espesor de aislamiento en las pérdidas de energía para diferentes diámetros de tuberías. Los resultados evidenciaron que para los sistemas de transporte de petróleo, el espesor de aislamiento racional es 0,08 m para todos los diámetros de tubería que se encuentran en el rango entre 0,08 y 0,3 m, partiendo de los costos energéticos, las propiedades termofísicas del fluido y los componentes de la conductora.

Palabras claves: parámetros técnico económicos, aislamiento térmico, diámetro de tubería.

ABSTRACT:

Rational parameters of thermal insulation thickness of conductive pipe heavy crude oil are set, taking into account economic and technical criteria; for it takes into account the influence of the thickness of insulation in energy losses for different pipe diameters. The results showed that for oil transportation systems, sound insulation thickness is 0,08 m for all pipe diameters are in the range from 0,08 to 0,3 m, based on energy costs, the thermophysical properties of the fluid and the conductive components.

Key words: Economic technical parameters, thermal insulation, pipe diameter.

Recibido 8 de febrero del 2018; revisión aceptada 26 de marzo 2018

¹ Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Moa, Holguín, Cuba operezm@ismm.edu.cu

INTRODUCCIÓN

El petróleo constituye uno de los recursos naturales más utilizado por el hombre para satisfacer sus necesidades y mejorar sus condiciones de vida. Su aplicación es amplia y variada por lo que resulta indispensable el estudio del proceso de extracción y transporte de este [8].

La realización de estudios en el campo de los sistemas de transporte por tuberías para diferentes tipos de combustibles permite detectar de forma preliminar las diferentes características y deficiencias que existen entre las investigaciones realizadas, las teorías existentes y los múltiples elementos que están presentes en el transporte de petróleos pesados por sistemas de tuberías [2].

En el análisis de trabajos relacionados con este tema [6] se identifica y analiza los diferentes aspectos que tributan al proceso de transporte por tuberías como sistema integrado; y cuyo análisis se basa en la obtención del gradiente de presión creado entre el inicio y el final de un tramo de tubería, teniendo en cuenta el comportamiento reológico del fluido, el petróleo crudo cubano; incorporando en el análisis el gradiente de temperatura que evidencia el fluido al transportarse, lo que conduce a un flujo no estacionario. El análisis de los costos por consumo de energía en el transporte de petróleo es esencial en la toma de decisiones para la operación y diseño de estas instalaciones, sin embargo en la mayoría de los casos no se ha considerado la relación entre el diámetro de la tubería y el costo de esta para casos de diseño de instalaciones [8].

La elaboración del modelo físico – matemático del movimiento de suspensiones de mineral por tuberías, basado en los resultados de las investigaciones de las propiedades reológicas y la determinación de las pérdidas específicas de presión para el movimiento de dichas suspensiones en régimen turbulento. En el trabajo se realiza una valoración económica donde se considera el precio de la tubería, pero presenta adaptaciones que no se ajustan a los precios actuales de las tuberías [9].

A partir del modelo físico – matemático, [10] se propone un sistema de cálculo y evaluación de las instalaciones de hidrot transporte, donde tiene en consideración los costos por concepto de energía eléctrica consumida por los motores, el mantenimiento y los gastos de inversión por el cambio de las tuberías. Sin embargo el autor no precisa los costos de tuberías en dependencia del diámetro, aspecto este que influye considerablemente en los costos totales de instalación para condiciones actuales de explotación.

Con relación a los procesos de transferencia de calor, en [5], se recoge la temática relacionada con la teoría general de la transferencia de calor y masa, se conceptualizan ampliamente las leyes y principios físicos relacionados con la transmisión del calor y contribuye a la comprensión de las mismas en sus más diversas formas [3].

En la selección del espesor de aislamiento térmico para tubería con trazas de vapor bajo criterios técnicos y económicos, [2] hace un estudio de los diferentes espesores de aislamiento térmico para sistema de transporte de combustible por tubería con trazas de vapor, lo cual permite disminuir los elevados consumos energéticos por concepto de pérdidas de calor, y bajo criterios económicos realiza la selección del espesor de aislamiento, técnico adecuado.

A su vez [3] realizan una evaluación técnica del sistema de transporte por tuberías donde desarrolló un modelo matemático que permite seleccionar el espesor de aislamiento térmico para tuberías de trasiego de petróleo con traza de vapor, el cual incorpora características termofísicas y de flujo del combustible trasegado. Utilizando el valor de espesor obtenido por el modelo y normalizado, para manta de lana de roca Spintex 322-G-70S, realiza un análisis comparativo entre una instalación con traza de vapor y otra con las tuberías dispuestas de forma independiente, evidenciándose en la primera una reducción de las pérdidas energéticas, un mejoramiento de las condiciones de flujo y una disminución del gradiente de temperatura del combustible.

Se puede encontrar que se han desarrollado [8] relaciones funcionales para variaciones de diámetros de tuberías y espesores de aislamiento durante el transporte de petróleo crudo cubano. Se parte del estudio experimental donde se hace la caracterización en cuanto al comportamiento reológico del fluido.

De estos estudios se establece como objetivo obtener los modelos, bajo criterios técnico económicos apropiados, para la evaluación, explotación y proyección de los sistemas de transporte del petróleo crudo cubano o fluidos similares.

2. Materiales y métodos

Los costos de inversiones y operación constituyen el elemento fundamental en una empresa, sobre los que recae el objeto de trabajo del personal técnico, puesto que ellos indican desde el punto de vista financiero cuan eficiente puede ser la misma. Los procesos relacionados con el transporte de combustible no están exentos de este elemento y en vista de que gran parte de las instalaciones de transporte de petróleo no permiten la instalación de trazas de vapor, el análisis

del aislamiento térmico constituye un elemento esencial en el transporte de este tipo de fluidos para garantizar la viscosidad adecuada que permita gasto mínimo de energía.

La selección del diámetro de tubería y el espesor adecuado de aislamiento térmico constituyen la problemática a estudiar que aseguren las características técnicas del transporte del fluido y a su vez resulte económicamente idóneo [3].

2.1. Costos incurridos en el proceso de transporte

Mediante el análisis de los costos de operación del sistema de transporte, se conduce a la determinación de los parámetros racionales de operación, ya sea, la velocidad racional, el diámetro económico de la tubería o la temperatura racional de transporte en el caso del transporte de fluidos de elevada viscosidad, como en el caso del petróleo pesado [3]; [6] y [8].

Son característicos en la formulación del problema de racionalización del transporte de fluidos, el costo atribuible a las tuberías (costos fijos) y el costo energético en cuanto a costos de explotación (costos variables) [1]; [4] y [7]. El costo asociado a las pérdidas de calor en que se incurre al transportar el fluido se expresa por la siguiente ecuación [6]:

$$C_{pE} = q^T \cdot E \cdot Z \cdot 10^{-3} \quad (1)$$

Donde: C_{pE} - Costo por pérdidas de calor; (CUC/año·m), E - Costo de la energía; (CUC/kW·h), Z - Tiempo de funcionamiento de la instalación al año; (h/año), q^T - Pérdidas de calor del interior al exterior del conducto; (W/m).

Según [6] para elaborar la metodología de cálculo para la determinación del espesor racional del aislante térmico en los sistemas donde se trasiega petróleo se parte del análisis reológico del fluido.

La determinación de un espesor de aislamiento capaz de mantener una temperatura estable del fluido trasegado, responde mayormente a parámetros técnicos. Para mantener esa estabilidad del transporte, debe establecerse un flujo constante de calor que garantice el intercambio térmico; para lo cual se torna imprescindible establecer el espesor correcto del aislamiento.

De [6] se tiene en cuenta la expresión matemática de conducción que relaciona las resistencias en el balance de energía para la tubería.

En el caso del costo de la instalación de tubería se recomienda la expresión:

$$C_F = \left[\frac{C_{aisl} + C_{mant}}{V_{u.aisl}} \right] \quad (2)$$

Donde:

C_F - Costo fijo de aislamiento de las tuberías; (CUC/año·m), C_{aisl} – costo específico de la tubería; (CUC/m), C_{mant} – costo de mantenimiento de la tubería; (CUC/m), $V_{u.aisl}$ – vida útil del aislamiento; (año).

Los costos totales constituyen la sumatoria de todos los costos en que incurre la empresa durante el periodo de explotación de la instalación y se expresa:

$$CT_i = (q^T \cdot E \cdot Z \cdot 10^{-3}) + \left[\frac{C_{aisl} + C_{mant}}{V_{u.aisl}} \right] \quad (3)$$

Esta ecuación define el proceso de evaluación de un sistema de transporte de petróleo por tubería, teniendo en consideración los costos por pérdida de calor y por el aislamiento térmico de las tuberías, para diferentes diámetros de tubería y un tiempo de vida del aislamiento de 10 años. Los valores utilizados se presentan en la tabla 1.

Tabla1: Resultados obtenidos para sistemas sin trazas de vapor (δ - espesor de aislamiento térmico; D-diámetro de tubería).

δ (m)	D (m)	q^T (W/m)	δ (m)	D (m)	q^T (W/m)
0,04	0,08	13,10	0,04	0,2	26,1
0,05		11,20	0,05		21,8
0,06		9,9	0,06		18,9
0,07		9	0,07		16,8
0,08		8,3	0,08		15,2
0,1		7,3	0,1		13
0,04	0,1	15,40	0,04	0,25	31,1
0,05		13	0,05		25,9
0,06		11,5	0,06		22,4
0,07		10,4	0,07		19,9
0,08		9,5	0,08		17,9
0,1		8,3	0,1		15,2
0,04	0,15	20,9	0,04	0,3	35,7
0,05		17,5	0,05		29,8
0,06		15,3	0,06		25,7
0,07		13,7	0,07		22,7
0,08		12,4	0,08		20,5
0,1		10,7	0,1		17,3

3. Resultados y discusión

A pesar de que los sistemas de transporte de combustible con trazas de vapor son eficientes, no son los más difundidos y es por ello que se hizo necesario realizar un estudio del espesor de

aislamiento para sistemas de transporte sin trazas de vapor. Las pérdidas de calor para sistemas sin trazas de vapor fueron calculadas por la expresión obtenida por [3].

3.1 Obtención del espesor técnico económico racional para sistemas de transporte sin trazas de vapor

Estas pérdidas de calor fueron determinadas para diferentes espesores de aislamiento y diferentes diámetros de tuberías [8]. Una vez obtenidas las mismas, fueron determinados los costos por pérdidas energéticas, los costos de aislamiento para los diferentes espesores, teniendo en consideración el precio de estos en el mercado internacional, el de inversión y los costos totales.

La figura 1 muestra la relación entre el espesor de aislamiento y las pérdidas de calor donde se observa que mientras mayor es el espesor de aislamiento, menores son las pérdidas de calor para cada diámetro de tubería.

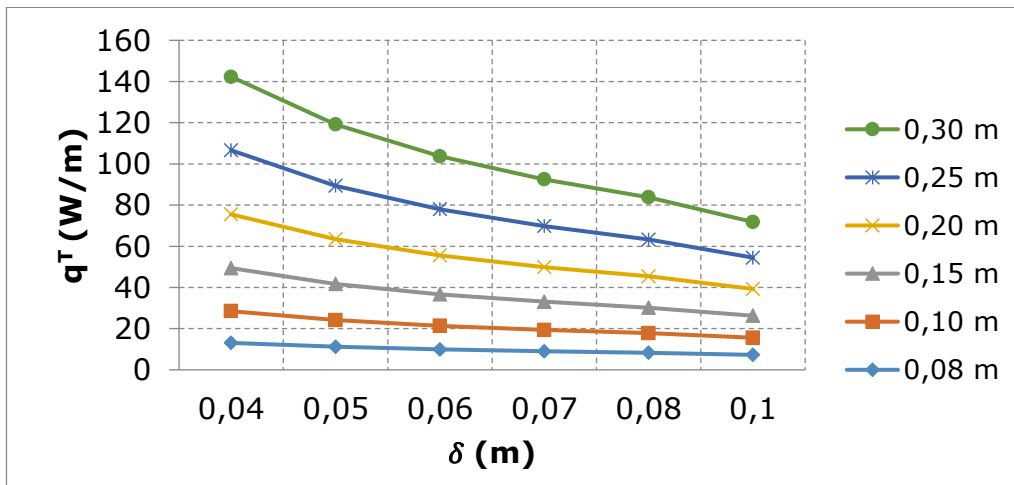


Figura 1. Relación entre las pérdidas específicas de calor y el espesor de aislamiento

La figura 1 muestra la relación que existe entre las pérdidas de calor para los diferentes diámetros de tubería y el espesor de aislamiento, mientras menor es el diámetro de tubería menores son las pérdidas para cada espesor de aislamiento.

Cuando se analizan el valor de las pérdidas energéticas con respecto al espesor de aislamiento podemos comprobar que estas también disminuyen con el aumento del espesor de aislamiento, como se muestra en la figura 2.

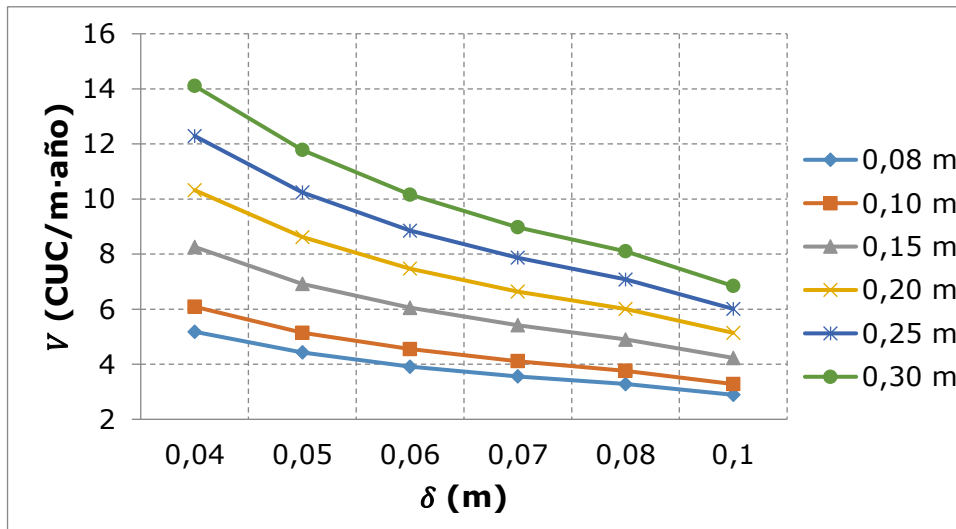


Figura 2. Valor de las pérdidas energéticas con relación al espesor de aislamiento

Para cada diámetro de tubería el valor de las pérdidas energéticas disminuye con el aumento del espesor de aislamiento y mientras menor es el diámetro, menores son las pérdidas energéticas.

La influencia de la temperatura en las pérdidas energéticas, donde se observa una disminución de estas pérdidas energéticas con el aumento de la temperatura ambiente y un aumento de las mismas con el aumento de la temperatura del vapor, en sistemas de transporte de combustible con trazas de vapor. Igual comportamiento obtuvo al analizar las pérdidas energéticas al aumentar la temperatura del petróleo [3].

El análisis, asociado a las pérdidas energéticas, en el costo de calentamiento del combustible; donde plantea que este está influenciado por la correlación entre el incremento de la temperatura y el flujo másico de vapor en el intercambiador de calor, para el caso particular de intercambiadores de calor de tubo y coraza [6].

Sin embargo cuando se realiza el análisis de los costos asociados al espesor de aislamiento podemos comprobar que estos aumentan con el aumento del espesor de aislamiento. En la figura 3 se muestra la relación de costo de aislamiento por metros de tubería y el espesor de aislamiento.

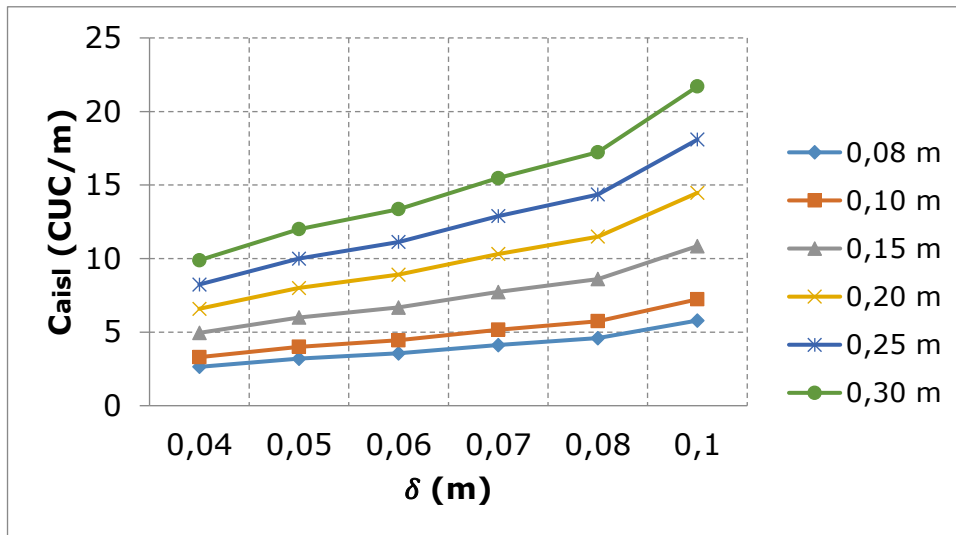


Figura 3. Relación del costo de aislamiento por metro de tubería y el espesor de aislamiento.

Esta (figura 3) muestra que a medida que aumenta el diámetro de tubería aumentan los costos de aislamiento asociados a la cantidad de material empleado en el perímetro de aislamiento.

En la figura 4 se observa el comportamiento de los costos de inversión por metro de tubería al año y el espesor de aislamiento, donde estos costos aumentan con el espesor de aislamiento.

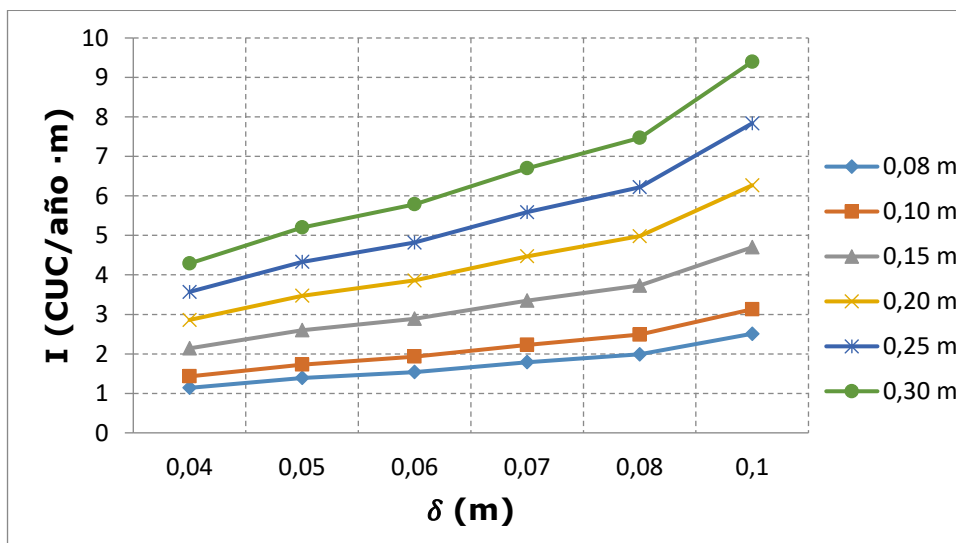


Figura 4. Costos de Inversión con relación al espesor de aislamiento

El costo de aislamiento por metro de tubería tiene un comportamiento creciente con relación al espesor de aislamiento, es decir; a medida que aumenta el espesor de aislamiento aumenta el costo del aislamiento por metro de tubería. Para una mejor comprensión se puede observar la figura 5 que mostramos a continuación.

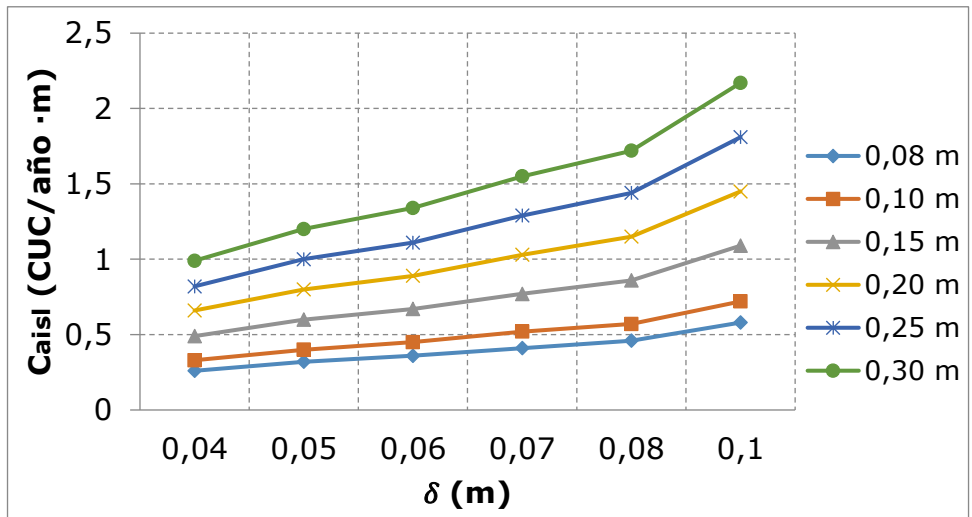


Figura 5. Costo de aislamiento con relación al espesor de aislamiento

En la figura 6 se muestra que para diferentes diámetros de tubería las pérdidas de calor y los costos del aislamiento van disminuyendo a medida que aumenta el espesor de aislamiento hasta llegar al espesor de 0,08 m donde, a pesar de que las pérdidas de calor continúan disminuyendo, los costos de 1 m de aislamiento aumentan. Esto nos indica que el espesor de aislamiento técnico económico racional, para los diferentes diámetros de tubería analizados, es de 0,08 m.

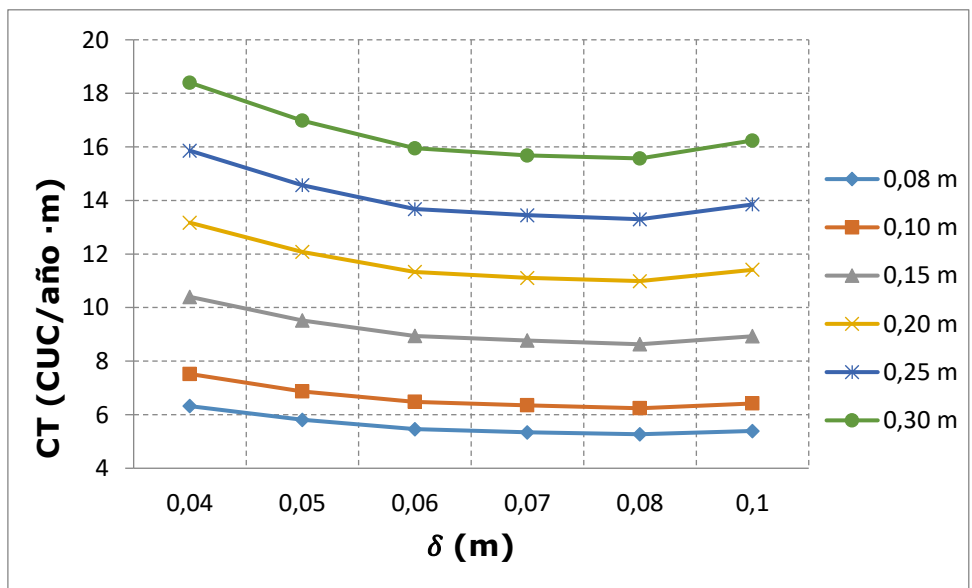


Figura 6. Relación entre espesor de aislamiento y costos

El costo total del sistema aislado se define por la variación de los costos en pérdidas de energía y el espesor de aislamiento, para los diferentes diámetros de tubería según las propiedades del aislamiento y el fluido empleado; en este caso se encuentra el mismo valor mínimo para todos los diámetros de tubería, determinado por las condiciones idénticas de las propiedades del medio termoaislado y el exterior.

5. Conclusiones:

- Para el cálculo del espesor de aislamiento para tuberías en función de su diámetro, el valor de las pérdidas de energía y la inversión en aislamiento, se definen los modelos a partir de las características reológicas y termofísicas del fluido.
- Se determinó que para sistemas de transporte sin trazas de vapor el espesor de aislamiento racional es de 0,08 m para todos los diámetros que se encuentran en el rango entre 0,08 y 0,3 m
- Se determinó que 0,08 m es el espesor de aislamiento técnico económico para todos los diámetros (0,08 - 0,3 m) de tubería debido a que los valores de las pérdidas de energía para ese punto y la inversión de aislamiento presentan condiciones idénticas de las propiedades del medio termoaislado y el exterior.

REFERENCIAS:

- [1] Aguirre A. *et al.*, “*Ingeniería Hidráulica aplicada a los sistemas de distribución de agua*”, Volumen II, eds. U.D. Mecánica de Fluidos - Universidad Politécnica de Valencia - Aguas de Valencia S.A., Valencia, España, 1996.
- [2] Gilbert A., Pérez O., Laurencio H., “*Selección de espesor de aislamiento térmico para tuberías con trazas de vapor bajo criterios técnicos*”, ENERMOA, ISMM, Moa, Cuba, 2012. ISBN: 958-959-16-2067-5.
- [3] Gilbert, A; Laurencio, H; Rodríguez, I; Retirado, Y; Torres, E. “*Selección del espesor de aislamiento térmico para tuberías de petróleo con traza de vapor*”. Holguín : Minería y Geología, 2014, Vol 30. No 1. ISSN 1993 8012. Pág. 62-79.
- [4] Hechavarría, J., “*Optimización del diseño de redes de distribución de agua bajo criterios técnico-económicos*”, Tesis de Doctorado, Universidad de Holguín, 2009. 105h
- [5] Incropera, F. y De Witt, D., “*Fundamentals of heat and mass transfer*”, La Habana; Editorial Pueblo y Educación, 2003.
- [6] Laurencio, A. H. “*Método para la determinación de parámetros racionales de transporte de petróleo crudo cubano CM-650*”. ISMM, Moa. 2012. Tesis doctoral.
- [7] Martínez, V., Monteagudo, J. y Jáuregui, S., “*Mecánica de los Fluidos y Máquinas de Flujo*”, Editorial UniversoSur, Universidad de Cienfuegos, Cuba, 2007

- [8] Pérez M, O. *“Determinación de los parámetros técnico económicos racionales para el transporte de petróleo por tuberías”*. ISMM, Moa. 2013. Tesis de maestría.
- [9] Suárez F, M. *“Determinación de los parámetros del hidrotransporte de las pulpas del mineral serpentinito”*. Tesis de doctorado. ISMM Moa, 1998
- [10] Turro B. A., *“Estudio del Hidrotransporte de las Colas en el Proceso Carbonato Amoniacal”*. Tesis en Opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas. ISMM, Moa, 2002. p.154