

# ESTUDIO DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR EN UN SISTEMA DE BOMBEO DE HIDRÓGENO LÍQUIDO

### Henry Fernando Torres Molano (1), Armando Gallegos Muñoz (2)

1 [Ingeniería Mecánica, Universidad Santo Tomas] [Henrytorrea @ gmail.com]

2 [División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] [gallegos@ugto.mx]

## Resumen

Se presenta el estudio de la transferencia de calor en un sistema de bombeo de hidrógeno líquido bajo condiciones criogénicas (bajas temperaturas y altas presiones) por medio de un modelo de elementos finitos, desarrollado en el software NX Siemens®, con la finalidad de poder comparar los resultados experimentales de las temperaturas del fluido a lo largo de la tubería, con aislante y sin aislante. En el estudio se consideran las temperaturas de entrada y salida en la tubería, obtenidas experimentalmente, teniendo en cuenta las propiedades del hidrógeno líquido, del tubo y del aislante, buscando la mayor aproximada entre los resultados obtenidos. Además se analizó la transferencia de calor que existe entre el medio ambiente y el sistema, considerando la conducción y la convención de calor, determinando la distribución de temperatura en función de la dirección radial.

### Abstract

It present the study of heat transfer in a pumping system liquid hydrogen under cryogenic conditions (low temperatures and high pressures) using a finite element model, developed in the NX Siemens® software, with the finality of compare the experimental results fluid temperatures along the pipe, with insulator and without insulator. The study considered the inlet and outlet temperatures in the pipe, obtained experimentally, knowing the properties of liquid hydrogen, the tube and the insulator, searching that between results obtained are approximate. Addition analyzes the heat transfer between the environment and the system, considering the heat conduction and heat convention, determining the temperature distribution in the radial direction function.

**Palabras Clave** 

Criogénicas; hidrógeno líquido; Elementos Finitos; Aislante; Tubería.



# INTRODUCCIÓN

La mayor importancia del hidrógeno líquido ha sido mostrada en su aplicación como combustible en el transbordador espacial. A pesar de su gran dificultad de manipulación, debido a que requiere un manejo y seguridad especial, hoy en día el uso del hidrógeno líquido ha aumento en la industria. Por esto la industria automotriz lo ha comenzado implementar como combustible, apostando a nuevos avances, como un vehículo impulsado por celdas de hidrógeno [1].

Viendo la necesidad de implementar el hidrógeno como combustible, es necesario tener un sistema de transporte que sea seguro y confiable, donde se contemplen diferentes formas de transporte como: gas comprimido, líquido criogénico o como hidruros metálicos [2].

El hidrógeno líquido criogénico es la forma más fácil de transportarlo, ya que su densidad es menor, debido a que se comprime a altas presiones, y debido a esto es mucho más económico para una empresa transportar el hidrógeno en estado líquido.[3]

Debido a las características del hidrógeno líquido criogénico, es importante definir los materiales del sistema, principalmente aquellos que tienen propiedades térmicas como: súper aislante, aislamiento al vacío con escudo de nitrógeno líquido, vació más espuma y vació más múltiples capas. Se puede seleccionar cualquiera de los anteriores modelos, pero para seleccionar alguno lo más importante es la conductividad térmica [1, 4].



FIGURA 1: Tubería con aislante.[5]

El sistema de transporte de hidrógeno líquido, a través de la tubería, tiene preferentemente una transferencia de calor en la dirección radial desde el medio ambiente al fluido, gobernada por los modos de transferencia de calor de conducción y convección.

# **MATERIALES Y MÉTODOS**

Para la solución de este proyecto se aplicaron 2 software (Refprop y Nx Siemens).

El Refprop se utilizó para determinar las propiedades del hidrógeno líquido a medida que va aumentando la temperatura manteniendo una presión de 18.93 bars. Las propiedades del hidrógeno líquido en función de la temperatura y a la presión mencionada, se muestran en las figuras 2-5.



FIGURA 2: Grafica de la Conductividad térmica vs temperatura



FIGURA 3: Grafica de la densidad vs temperatura.





FIGURA 4: Grafica del calor específico vs temperatura.



FIGURA 5: Grafica de la viscosidad vs temperatura.

Se utilizó el software Nx Siemens para realizar la simulación, a través de elementos finitos. Se desarrolló un modelo simplificado de la tubería, analizándola por tramos.



FIGURA 6: Modelo simplificado de la tubería con aislante.

Las dimensiones del modelo simplificado para analizar la tubería con y sin aislante térmico se muestran en la tabla 1. Estas dimensiones se consideraron de acuerdo al modelo experimental estudiado.

#### Tabla 1: Dimensiones del modelo.

	PARAMETRO	Valor (mm)
1.	Diámetro externo aislante.	300
2.	Diámetro externo tubería.	14
3.	Diámetro fluido.	10
4.	Longitud total.	9370
5.	Longitud del tramo.	937

Las propiedades del hidrógeno líquido aplicadas al modelo desarrollado en Nx Siemens se determinan en el software Refprop, además se agregan las propiedades del aislante y el tubo, teniendo en cuenta las propiedades con las cuales se realizaron la experimentación.

Se inicia la modelación tomando en cuenta las condiciones de fronteras, iniciales y ambientales, que se muestran en la Tabla 2.

#### Tabla 2: Condiciones del modelo.

PARAMETRO	Valor	Unidades
<ol> <li>Presión atmosférica.</li> </ol>	1	atm
2. Temperatura ambiente.	300	К
3. Delta de presión.	0.001	KPa
4. Flujo másico.	0.0027	Kg/s
5. Rango de temperaturas.	33.89- 57.03	к

Aplicando las condiciones al modelo, se puede obtener una distribución de temperaturas en función del espesor, Figura 7a, así como también la temperatura a lo largo de la tubería, Figura 7b. En estas figuras, se tiene un aislante térmico.





FIGURA 7: (a) Distribución de temperatura en el espesor, (b) Temperatura a lo largo de la tubería.

# **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Para el análisis del sistema de transporte de hidrógeno líquido, se dio a conocer un cambio de temperatura a lo largo de la tubería, debido a que el sistema está expuesto a una temperatura ambiente donde se tiene una convección libre, observando que el sistema sin aislante gana más temperatura, que el sistema con aislante.



FIGURA 8: Comparación de temperaturas en el primer instante a lo largo del sistema.

En la Figura 8, donde la temperatura inicia en 33.89 K se observa en los dos casos (Con aislante y sin aislante), que la incrementa teniendo una diferencia menor a un grado Kelvin (1 K), entre los valores experimentales y la simulación realizada.



#### FIGURA 9: Comparación de temperaturas en el último instante a lo largo del sistema.

En la Figura 9, donde la temperatura inicia en 49.77 K, para ambos casos (Con aislante y sin aislante), se tiene una mínima diferencia entre los valores experimentales y del modelo numérico teniendo aislante térmico, sin embargo, para el caso sin aislante térmico, existe una diferencia de 6 K, esto se puede deber al coeficiente convectivo propuesto para el análisis en el modelo numérico.

El sistema con aislante térmico tiene una distribución de temperaturas a lo largo de la dirección radial donde se observa un incremento de temperatura como se muestra en la Figura 10.



FIGURA 10: Perfil de temperaturas.

La Figura 10, Se puede analizar y ver una comparación entre los distintos estados del



modelo, por esto se puede ver cómo, la conducción transferencia de calor por V convección, ayuda a que el hidrógeno líquido aumente su temperatura, gracias al medio ambiente, que se encuentra a 300 K. En el primer estado (Inicial), es en el momento donde se observa el perfil de temperatura al inicio de la tubería de 9.37 metros, en este estado se puede aclarar que hay un aumento considerable del punto inicial al final, debido a esto el segundo estado (final) es el instante que tiene la temperatura más elevada.

### CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta el modelo desarrollado y comparando los resultados con datos experimentales, se puede mencionar que un modelo numérico simplificado que pueda calcular la temperatura del hidrógeno a lo largo de la tubería, permite conocer la distribución de la temperatura, tanto del hidrógeno como en el aislante que se utiliza para tomar estrategias donde el hidrogeno no gane mucho calor del medio ambiente. Fue posible realizar este estudio al tomar en cuenta las propiedades de los materiales utilizados y las del fluido, así como también al definir las condiciones iniciales. ambientales y de frontera del sistema.

El modelo de elementos finitos planteado se puede realizar para diferentes estudios de la transferencia de calor en un sistema de bombeo, sin importar el fluido. Lo importante para un sistema como éste, es conocer las propiedades del fluido y de los materiales como la tubería y el aislante utilizado.

Industrialmente se puede decir que un proceso de transporte de hidrógeno a condiciones criogénicas es muy costo, pero el realizar este tipo de estudios puede ser benefico para el medio ambiente como para la misma empresa, debido a que puede reducir los costos y obtener más ganancias, este proyecto busca difundir y explicar la importancia de otra energías, por lo cual se realizó un estudio completo buscando la mejor forma de implementarlo en un futuro.

### AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a la universidad de Guanajuato y al Doctor Armando Gallegos que fueron aquellos me dieron la oportunidad de ser participante del verano de investigación, para poder crecer como persona y profesionalmente.

# REFERENCIAS

[1] G. Hortelano, "Anexo C," 2014.

[2] H. Américo and A. Visintin, "HIDRÓGENO, COMBUSTIBLE DEL FUTURO: ¿POR QUÉ, CÓMO Y DÓNDE?," 2010.

[3] S. M. Aceves, F. Espinosa-Loza, E. Ledesma-Orozco, T. O. Ross, A. H. Weisberg, T. C. Brunner, and O. Kircher, "Highdensity automotive hydrogen storage with cryogenic capable pressure vessels," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 35, no. 3, pp. 1219– 1226, 2010.

[4] S. M. Aceves, G. Petitpas, F. Espinosa-loza, and E. Ledesma, "Compact, Inexpensive and Safe Hydrogen Storage in Cryogenic Pressure Vessels," vol. 1, p. 19, 2010.

[5] Y. A. Çengel, *Transferencia de calor y masa*. 2007.