

## ESTUDIO DE TUBOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

B. Bucki Wasserman y E. M. Braganza

Universidad Tecnológica Nacional - Unidad Académica Confluencia

J.M. de Rosas y J. Soufal - 8318 Plaza Huincul - FAX : 099-63292 - E-mail: bucki@rioncgro.com.ar

### RESUMEN

Optimizar el modelado matemático de un sistema de tubos de transferencia de calor, para simular y verificar los resultados a obtener con diferentes materiales, fluidos y condiciones de temperatura, a fin de ser aplicados los mismos a la construcción futura de equipamientos de calefacción para invernáculos en la zona de influencia de la Unidad Académica donde se desarrolla el presente trabajo. - Primera parte -

### INTRODUCCION

Basados en los primeros trabajos realizados por Guagler, R.S. (1) en 1942 y en la plena convicción y experiencia de que en la transferencia de calor por medio de tubos de transferencia de calor, radica un sistema potencial de calefacción y refrigeración -Dunn, P. y Reay, D.A. (2)- de bajo costo, alta eficiencia y con un factor de contaminación ambiental prácticamente nulo, es que se ha comenzado con la investigación de las variables de diseño para su aplicación.

Esta primera parte abarca la simulación de diferentes condiciones de diseño y sus resultados, indicados a través de los gráficos que se presentan a continuación. En ellos podemos observar en cada caso la variación de la cantidad de fluido, Asselman, G.A.A. y Green, D.B. (3), los límites transporte de calor : sónico, por trabajo y por ebullición; variaciones de las resistencias térmicas de evaporador , condensador y total; y datos que resultan de cálculos intermedios tales como diámetro de espacio ocupado por fase vapor, Freggens, R.A. (4), área de la sección transversal de la fase vapor, temperatura promedio de la fase vapor, número de Reynolds y número de Mach proyectados, coeficiente de fricción del líquido y del vapor, presión hidrostática normal y axial , presión máxima de bombeo efectiva, factor de transporte de calor por capilaridad, conductividad térmica efectiva de la malla, relación de la presión capilar/hidrostática.

### MATERIALES , METODOS Y DESCRIPCION DEL SISTEMA

A través del modelo matemático desarrollado en el Brace Research Institute, McGill University, Quebec, Canadá e iniciado los trabajos experimentales del mismo, se decide seguir el siguiente esquema de etapas de trabajo:

Ejecutar el modelo matemático con tantas variables como sean posible para comprobar sus resultados. (6 meses).

Fabricar alternativamente tubos de transferencia de calor para la verificación de los resultados obtenidos.(2 años)

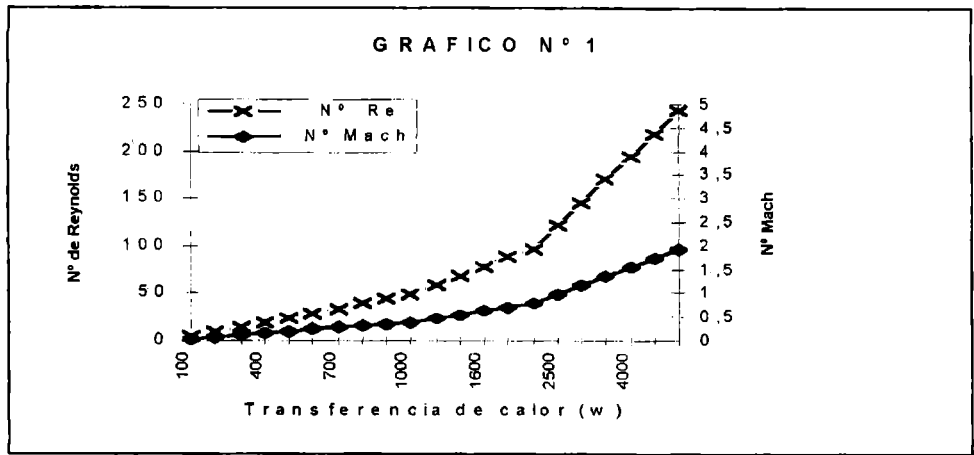
Resultados y conclusiones.

El tubo de transferencia de calor es muy similar en su diseño primario a un sistema termosifón, con la diferencia que las capas internas de fina malla metálica, en nuestro caso de cobre, están arrollados concéntricamente y fijadas en el interior del tubo, obligando de esta manera retornar el condensado al evaporador mediante la acción de fuerzas debidas a la capilaridad; esto independiza al tubo de transferencia de calor de su posición relativa.

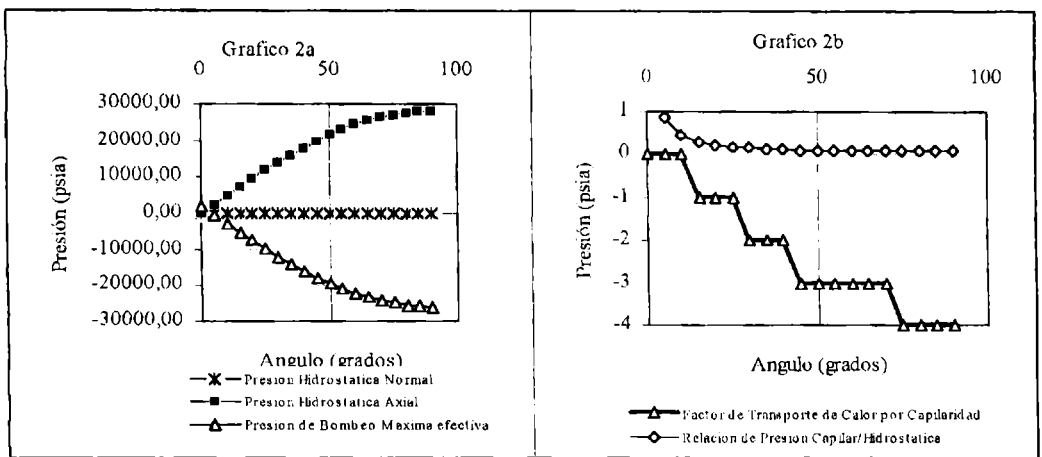
### RESULTADOS

El primer gráfico que presentamos como resultado de nuestro modelo, analizamos la variación de dos variables adimensionales como el número de Reynolds y el de Mach, gráfico N° 1. Observando el presente gráfico podemos ver que ambas curvas, que tienen la misma tendencia y prácticamente la misma pendiente en todos sus puntos, difieren únicamente debido al cambio de escalas para una y otra.

Para poder visualizar mejor las diferentes curvas obtenidas se han separado las mismas, por un lado las variaciones de presión hidrostática normal y axial, y la presión de bombeo máxima efectiva en el gráfico 2a; mientras que en el gráfico 2b vemos las variaciones de la relación de presión capilar / hidrostática y la del factor de transporte por capilaridad (afectado por la fuerza de gravedad). En el primero de los gráficos podemos observar que mientras la presión hidrostática normal se mantiene prácticamente constante entre 0° y 90°, no sucede así con la presión hidrostática axial, la cual crece siguiendo una función del tipo parabólica. En el gráfico 2b solamente se han incluido las variaciones que sufre la relación presión capilar / hidrostática cuya traza responde igualmente a una rama de la función parabólica tendiendo al valor de presión cero; mientras que el factor de transporte de calor por capilaridad decrece en forma escalonada a medida que los tubos toman la posición vertical. Esto nos permite en conjunto con las demás variables que analizamos diseñar el ángulo de posicionamiento de los tubos para un mejor aprovechamiento del sistema y la fuente de calor - solar -

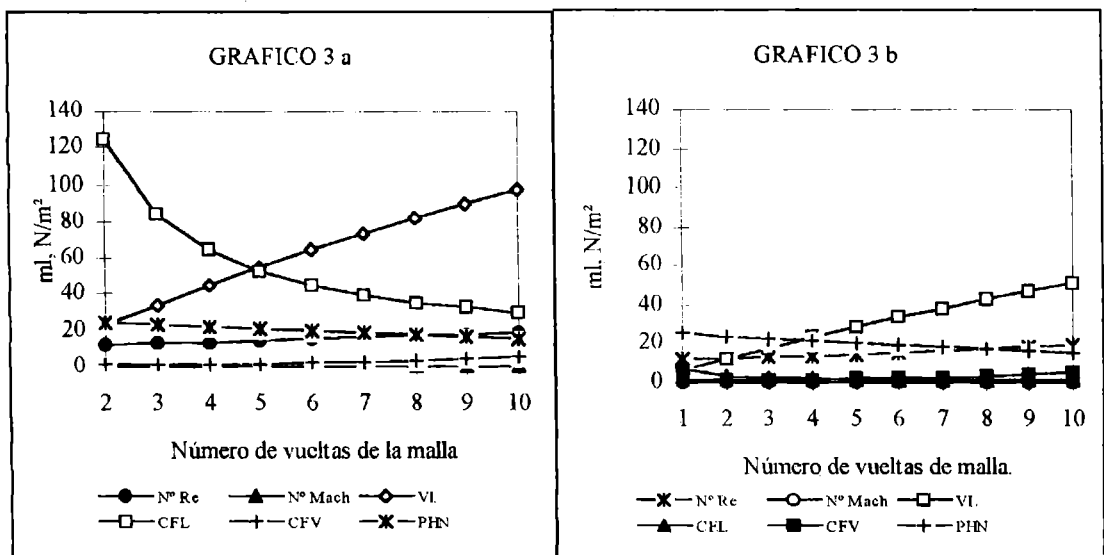


Variación del N° de Reynolds del N° de Mach en función de la variación de transferencia de calor



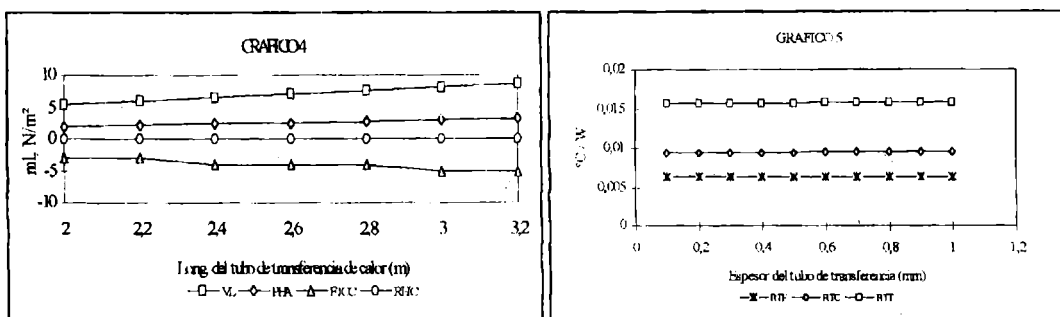
Variación de las presiones en función del ángulo de inclinación de los tubos

Como se puede observar comparando los mismos valores en ambos gráficos 3a y 3b las curvas que representan como cada una de las variables analizadas para diferentes tipos de mallas de alambre de cobre arrolladas sobre si mismas y fijadas en el interior de los tubos de transferencia son similares en sus tendencias, viéndose solamente reducidos en su valor absoluto aquellos que corresponden al gráfico 3b debido al número de hilos por unidad de superficie (mesh).



Análisis de variables en función del número de Mesh de la malla arrollada corresp. a 100 y 200 Mesh

Se puede observar en este gráfico que los parámetros analizados varían en forma similar a lo visto en los gráficos 2 y 3 (a y b) inclusive la forma escalonada del factor de transporte de calor por capilaridad en consecuencia, mientras el volumen de líquido aumenta linealmente con la longitud del tubo de transferencia, la presión hidrostática axial sufre el mismo tipo de incremento, pero su pendiente es menor no así el factor de transporte de calor por capilaridad.

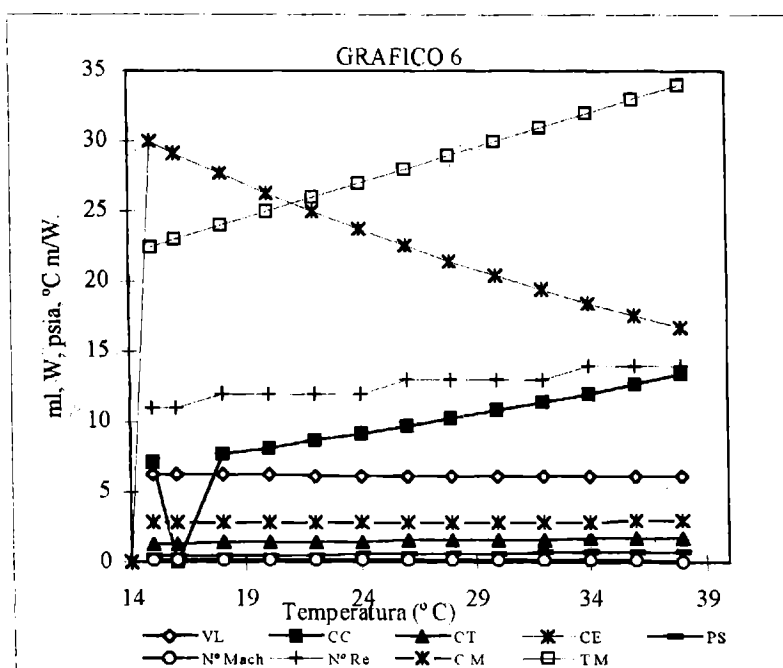


**Análisis de parámetros en función de la longitud del tubo de transferencia de calor**

**Variación de las resistencias térmicas en función del espesor del tubo de transferencia**

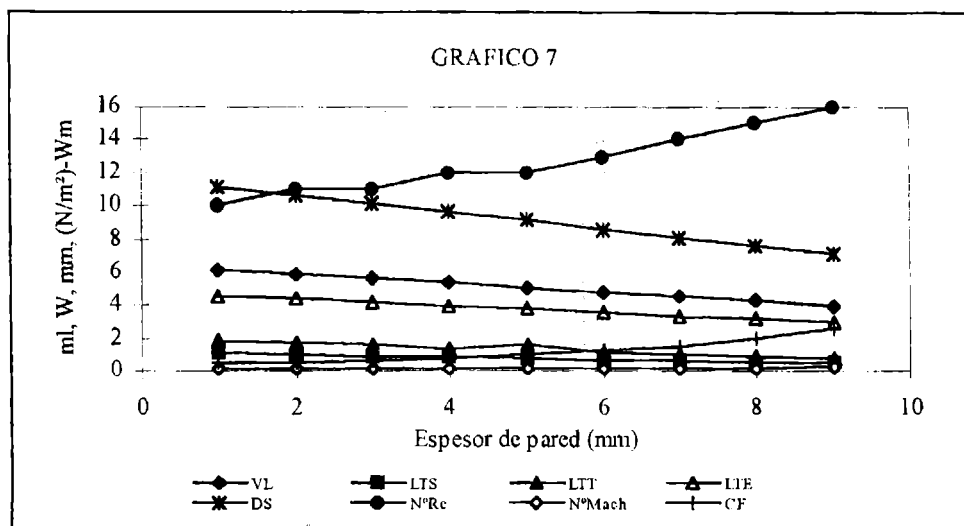
Podemos observar en el gráfico 5 que las diferentes resistencias térmicas del evaporador, condensador y total, prácticamente no se ven afectadas por la variación del espesor del tubo de transferencia de calor, ya que la incidencia recién se hace notar en la cuarta decimal de un valor menor que cero, por consiguiente esto nos permitirá efectuar el diseño y construcción con materiales del tipo standard o por lo menos fácilmente obtenibles.

Se hace muy importante para el diseño final del sistema de calefacción por tubos de transporte de calor propuesto, los resultados que se observan en el presente gráfico, en especial en los que atañe a la temperatura promedio de la zona de vapor, como así también los tres límites de transporte que se estudian mediante el modelo matemático y cuyo comportamiento coincide con valores ya predichos por otros autores como así también concuerdan con las variaciones observadas y analizadas en los gráficos arriba expuestos.



**Análisis de variables en función de de la variación de la temperatura en el evaporador**

En el gráfico N° 7 podemos observar como se comportan las diferentes variables de diseño en función de la variación del diámetro del tubo de transferencia de calor, manteniéndose este siempre del mismo material, con un espesor constante de pared. Podemos observar que el N° de Reynolds aumenta en forma pronunciada no sucediendo lo mismo con el de Mach, ambas variables adimensionales de diseño, mientras que también el diámetro del espacio ocupado por el vapor generado disminuye. Las demás variables siguen comportándose de la misma manera que lo vienen haciendo en las anteriores evaluaciones matemáticas.



### Análisis de variables en función de la variación del diámetro interior de los tubos manteniendo espesor constante

#### CONCLUSIONES

Esta primera faz de nuestro estudio nos permite encarar el diseño de un sistema de tubos de transferencia de calor, con un criterio basado en cuales serán las propiedades que deberán ser tenidas en cuenta para ello y cual es la mayor influencia que presentan ellas en la eficiencia de los mismos.

Para el diseño se prestará especial atención en los siguientes factores :

Capacidad de líquido en los tubos.

Longitud y pulido interior de los mismos a fin de optimizar el N° de Reynolds y de Mach.

Utilización de una cantidad adecuada de arrollamientos de malla de cobre independizándonos del N° de Mesh.

Inclinación de los tubos como así también su longitud total como así también las de la zona de evaporación y condensación . De todas maneras esta primera faz del estudio no ha incluido el análisis con diferentes líquidos. hecho este que se comenzará a efectuar antes de la elección del líquido óptimo para los ensayos definitivos.

#### REFERENCIAS DE LOS GRAFICOS

VL : Volumen de líquido en el tubo ( ml )	LTS : Limite de transporte sónico x 10 E 3 ( W )
DS: Diámetro espacio vapor ( mm )	LTT: Limite de transporte por trabajo x 10 E 3 ( W )
N° Re: Número de Reynolds (adim)	LTE: Limite de transporte por ebullición x 10 E 5 ( W )
N° Mach: Número de Mach (adim)	CF : Conductividad térmica efectiva de malla (°C m /W )
PHN: Presión hidrostática normal ( N/m <sup>2</sup> )	CFL: Coeficiente de fricción del Líquido (N/m <sup>2</sup> ) / (W-m)
PHA: Presión hidrostática axial (N/m <sup>2</sup> )	CFV: Coeficiente de fricción del vapor (N/m <sup>2</sup> ) / (W-m)
FTCC: Factor de transporte de calor por capilaridad	RHC : Relación de presión capilar / presión hidrostática
RTE : Resistencia térmica del evaporador (°C/W)	RTC : Resistencia térmica del condensador (°C/W)
RTT : Resistencia térmica total (°C / W )	PSV : Presión de saturación del vapor ( psia )
CC : Capacidad calorífica ( W )	CT : Limite de trãns. calor p/trabajo ( W )
CM : Conductividad térmica de la malla (°C m /W)	CE : Limite de transp. calor p/ebullición ( W )

#### BIBLIOGRAFIA:

- (1) Gaugler, R.S. U.S.Patent Applic. Dec. 12.1942 U.S.Pat. n° 2350348 June 6, 1944
- (2) Dunn, P. y Reay, D.A. Heat pipes - Pergamon Press Ins. New York - U.S.A. - 1976
- (3) Asselman, G.A. and Green, D.B. The heat pipe - An applied tecnology. Phillips Tech. Reiew 1972
- (4) Freggens, R.A. -Experimental determination of wick properties for heat pipes - 4th I.E.C.E.C