

Informe de registro	
id	10-Biblioteca-Bibliografia
Tipo	Tesina <input type="checkbox"/>
Título	Diseño de una sección de ensayos para determinación de temperaturas de vaina, velocidad de circulación del refrigerante y pérdida de carga en canales combustibles tipo MTR para el reactor RA6 <input type="checkbox"/>
Autor	Callet-Bois Andres <input type="checkbox"/>
Ubicacion	IDB-CAC <input type="checkbox"/>
Editorial	IDB <input type="checkbox"/>
Ano	04-2008 <input type="checkbox"/>
ISBN	0 <input type="checkbox"/>
Observaciones	Director: Vazquez Luis/ Ottaviani Anahí Estudio experimental para determinar pérdidas de carga, coeficientes de transferencia de calor, velocidades de circulación del refrigerante y temperaturas alcanzadas en las vainas combustibles para las condiciones de operación previstas del reactor RA-6. ESPECIALIZACIÓN EN REACTORES Y CICLO DE COMBUSTIBLE NUCLEAR <input type="checkbox"/>



Instituto de Tecnología Nuclear

**"DISEÑO DE UNA SECCION DE ENSAYOS PARA DETERMINACION DE
TEMPERATURAS DE VAINA, VELOCIDAD DE CIRCULACIÓN DEL
REFRIGERANTE Y PERDIDA DE CARGA EN CANALES COMBUSTIBLES TIPO
MTR PARA EL REACTOR RA6"**

**ESPECIALIZACIÓN EN REACTORES NUCLEARES Y SU CICLO DE
COMBUSTIBLE**

Nombre Alumno: Andrés Caillet-Bois
Director de Trabajo Final: Luis Vazquez
Anahí Ottaviani



UNSAM
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SUR

***“DISEÑO DE UNA SECCION DE ENSAYOS PARA DETERMINACION DE
TEMPERATURAS DE VAINA, VELOCIDAD DE CIRCULACIÓN DEL
REFRIGERANTE Y PERDIDA DE CARGA EN CANALES COMBUSTIBLES TIPO
MTR PARA EL REACTOR RA6”***

Trabajo final presentado para optar al título de
“Especialista en Reactores Nucleares y su Ciclo de Combustible”

Nombre Alumno: Andrés Caillet-Bois
Director de Trabajo Final: Luis Vazquez
Anahí Ottaviani

Abril – 2008

Índice

Introducción	4
Objetivos	5
Desarrollo	5
Diseño de la sección de ensayo	7
Diseño del canal combustible	7
Entrada al canal	10
Salida del canal	10
Placas calefactoras	11
Instrumentación	16
Resultados a obtener	17
Conclusiones	19
Referencias	20

Introducción

En un reactor nuclear es de vital importancia mantener la temperatura del combustible por debajo de un valor aceptable. En el caso de reactores tipo piscina, donde el refrigerante está a baja presión, la presencia de vapor en los canales combustibles es inaceptable debido a las perturbaciones neutrónicas que provocaría. Por esta razón la temperatura de ebullición es la limitante desde el punto de vista termohidráulico y es establecida como la temperatura máxima que podrá alcanzarse en la superficie de la vaina. La forma de lograr esto es conseguir un diseño del sistema de refrigeración que permita una velocidad de circulación del refrigerante en los canales combustibles adecuada, para extraer la potencia generada sin sobrepasar el límite en la temperatura mencionado.

El RA-6 es un reactor nuclear de investigación tipo piscina con elementos combustibles tipo MTR (formado por placas planas), refrigerado por agua liviana, en flujo descendente, de una potencia de 500 KW

El aumento de potencia a 3 MW previsto requiere aumentar el caudal del refrigerante que circula por el núcleo. Las cañerías del primario están empotradas en el hormigón, por lo cual no se pueden cambiar. Esto hace que, para aumentar el caudal, haya que aumentar la velocidad de circulación. A su vez el aumento de velocidad trae aparejado vibraciones en la estructura, por lo tanto hay una limitación en la velocidad máxima de circulación. Esta limitación del caudal en el circuito primario conlleva una limitación de las velocidades del refrigerante por los canales combustibles. Los valores de velocidades estimados predicen un régimen de escurrimiento transitorio ($Re < 10000$) en los canales combustibles.

En la extracción de calor de las placas de los elementos combustibles, el proceso de transferencia de calor determinante, es la convección forzada; el coeficiente de transferencia de calor, h , se obtiene por correlaciones empíricas. Las correlaciones existentes son generalmente para canales circulares. Cálculos realizados por personal de Termohidráulica del CAB muestran que *podría llegarse a temperaturas inadmisibles* en las placas exteriores de los elementos combustibles; es decir velocidades demasiado bajas en los canales formados entre dos elementos combustibles debido a resistencias hidráulicas elevadas en la salida de estos canales (cambio brusco de geometría de rectangular a circular).

Las razones mencionadas en los párrafos anteriores generaron un requerimiento de un estudio experimental para determinar pérdidas de carga, coeficientes de transferencia de calor, velocidades de circulación del refrigerante y temperaturas alcanzadas en las vainas combustibles para las condiciones de operación previstas del reactor RA-6.

La presente tesina muestra el diseño, fabricación y ensamble de la sección de ensayos necesaria para realizar el mencionado estudio experimental.

coeficientes de incerteza. Reduciendo la incerteza en la correlación de transferencia se puede aumentar considerablemente el margen al ONB.

Para tal fin se solicitó la realización de experiencias a fin de determinar el coeficiente de transferencia de calor dentro de los rangos de espesores de canal, temperatura y velocidades de refrigerante de los núcleos de trabajo que pueda tener el RA-6.

Las condiciones de trabajo solicitadas fueron las siguientes:

- Se deberá simular las condiciones de placas calefactoras paralelas, que formen canales de entrada rectangulares, con una presión de entrada de 1,72 bar.
- Agua desmineralizada.
- Temperatura del fluido a la entrada: 10 a 38 °C.
- Canales rectangulares con espesores de 2,7 y 3,9 mm.
- Placas de 6 x 61,5 cm de área activa.
- Flujos de calor: 24 – 50 W/cm².
- Velocidad de circulación del refrigerante 0,7 – 2,0 m/s.

Para dicho ensayo el Departamento cuenta con un laboratorio con un circuito termohidráulico de baja presión, a continuación se puede ver un esquema del mismo.

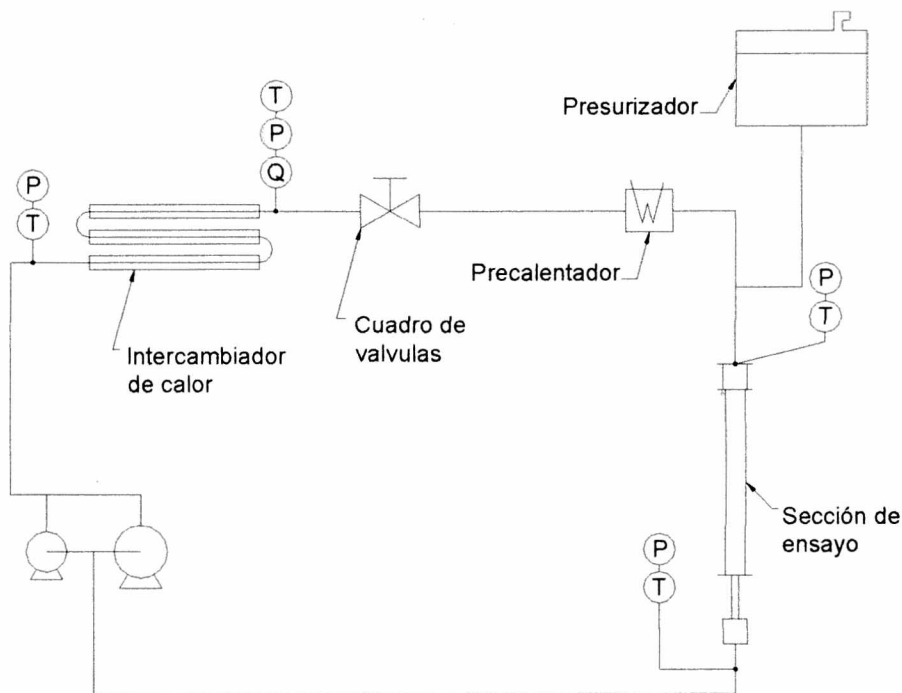


Figura 1

El circuito cuenta con un intercambiador de calor tipo doble tubo, donde el refrigerante secundario (lado carcasa) evacúa el calor generado en una torre de enfriamiento, un cuadro de tres válvulas para regular el caudal, un filtro, un precalentador eléctrico, un presurizador (el cual tiene una columna de agua de 6 m o se le puede inyectar aire comprimido para llegar a la

presión deseada), un espacio libre para colocar la sección de ensayo deseada y dos bombas impulsoras (una de alto y otra de bajo caudal).

Diseño de la sección de en ensayo

La sección de ensayo cuenta con las siguientes partes, el canal, los calefactores, las placas soportes, la instrumentación y la aislación térmica. El canal tiene tres componentes, el canal propiamente dicho, la entrada y la salida; los calefactores también tienen tres componentes, las *placas calefactoras* propiamente dichas, los bornes y la aislación eléctrica. A continuación haremos una descripción de cada uno de ellos, de su diseño y su fabricación, algunas piezas se están fabricando mientras se realiza la tesina. Dado los tiempos de fabricación, el ensayo se realizará luego de presentada la tesina.

Diseño del canal combustible

El elemento combustible tipo MTR está formado por 19 placas rectangulares paralelas separadas por una estructura portante en los laterales. En la figura 2 se pueden observar las dimensiones características de las placas combustibles con su zona activa.

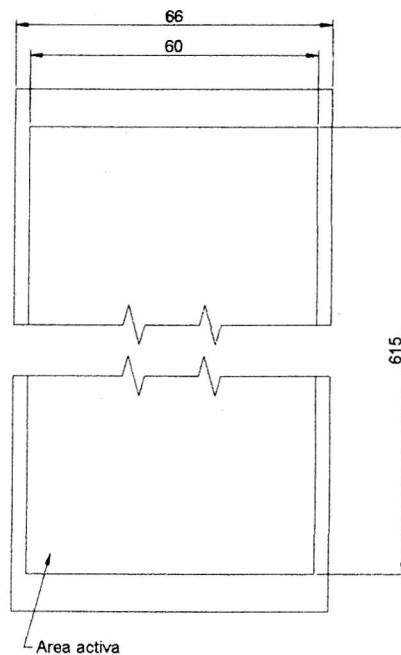


Figura 2

Para posicionar los elementos combustibles y para permitir el pasaje del refrigerante que circula entre EECC (elementos combustibles), el reactor cuenta con una grilla con agujeros grandes y pequeños (ver figura 9). Los EECC se posicionan insertando la boquilla en los agujeros grandes en forma vertical uno al lado del otro, quedando entre dos EECC un canal de refrigeración (canal exterior), a su vez dentro de cada combustible cada par de placas forman los canales de refrigeración interiores. Los espesores de de cada uno son 3,9 y 2,7 mm

salida ($\varnothing = 26,5 \times 1,65$ mm) se le soldó una brida en el extremo superior. Para representar la salida de la grilla, se utilizará un caño de diámetro $\varnothing = 3$ " Schedule 5S (84,7 mm).

Al final del caño de mayor diámetro, se le soldará un tapón con una rosca de $\frac{3}{4}$ " en el centro para colocarle un "racord" para poder conectar una manguera que cierre el circuito termohidráulico.

Considerando el conjunto de la sección de ensayo se dilatara por la temperatura, se lo dejara libre en el extremo inferior para que se dilate sin generar ningún tipo de sollicitación mecánica.

Placas calefactoras

Para simular el calor de fisión se calentaran las paredes del canal por efecto Joule a través de una placa calefactora.

El laboratorio cuenta con un rectificador de corriente de 80 KW, el motivo por el que se utiliza corriente continua es que la corriente alterna podría generar ruido eléctrico en la señal de las termocuplas lo que provocaría una lectura errónea de la temperatura medida.

Las características externas del rectificador son corriente máxima $I_{\max} = 2000$ A y la tensión máxima $V_{\max} = 40$ Vcc. Ripple menor al 3 % de 0 Vcc a 40 Vcc.

El rectificador cuenta con un sistema de control el cual puede dejar la tensión, la corriente o la potencia constante. Asimismo se le puede establecer distintas rampas de potencia, pero para nuestro ensayo en particular no será necesario.

Para las placas calefactoras se utilizó una chapa de acero inoxidable AISI 304, una para cada cara del canal (dos), con las siguientes dimensiones y propiedades físicas:

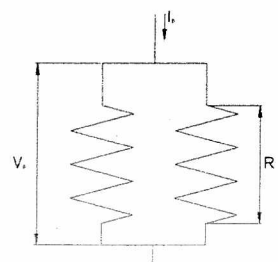
$e = 0.5$ mm	Espesor de la chapa
$a = 66$ mm	Ancho del canal
$l = 615$ mm	largo activo del canal
$\rho = 0,000072$ ohm * cm	Resistividad a 20 °C
$R = \frac{\rho * l}{e * a}$	Resistencia de una placa calefactora
$R = 0.013$ ohm	

Hay dos posibles configuraciones para conectar las placas, en serie o en paralelo, a continuación se muestran los cálculos realizados para elegir la opción que mejor se adecua a nuestra fuente de energía.

Si utilizamos la configuración en paralelo estamos limitados por la corriente.

$I_p = 2000$ A Corriente máxima disponible

$R_{tp} = \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R} \right)^{-1}$ Resistencia total en paralelo



$$R_{tp} = 6,709 * 10^{-3} \text{ Ohm}$$

$$V_p = I_p * R_{tp}$$

Tensión máxima obtenida

$$V_p = 13.41 \text{ V}$$

Con estas características se obtiene el siguiente flujo calórico

$$\phi_p = \frac{\left(\frac{I_p}{2}\right) * V_p}{a * l}$$

Flujo máximo obtenido en paralelo

$$\phi_p = 33,07 \text{ W/cm}^2$$

Con esta configuración se puede obtener la primera condición impuesta al ensayo, 24 W/cm², pero no se puede cumplir con el flujo máximo, 50 W/cm².

Para la configuración en serie estamos limitados por la tensión

$$V_s = 40 \text{ Vcc.}$$

Tensión máxima disponible

$$R_{ts} = 2 * R$$

Resistencia equivalente en serie

$$R_{ts} = 0,027 \text{ ohm}$$

$$I_s = \frac{V_s}{R_{ts}}$$

Corriente máxima obtenida

$$I_s = 1490,51 \text{ A}$$

Con estas características se obtiene el siguiente flujo calórico

$$\phi_p = \frac{I_s * \left(\frac{V_s}{2}\right)}{a * l}$$

Flujo máximo

$$\phi_s = 73,44 \text{ W/cm}^2$$

Con esta configuración se puede llegar hasta el flujo máximo pedido.

Las corrientes asociadas a los flujos máximos y mínimos son

$$\phi_{\min} = 25 \text{ W/cm}^2$$

$$I_{\min} = \sqrt{\frac{\phi_{\min} * a * l * 2}{R_{ts}}}$$

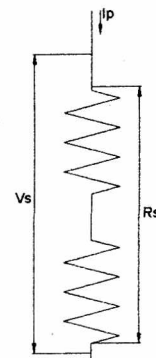
$$I_{\min} = 869,62 \text{ A}$$

$$\phi_{\max} = 50 \text{ W/cm}^2$$

$$I_{\max} = \sqrt{\frac{\phi_{\max} * a * l * 2}{R_{ts}}}$$

$$I_{\max} = 1229,83 \text{ A}$$

Para transportar la energía eléctrica desde el rectificador hasta las placas calefactoras se utilizarán conexiones eléctricas flexibles y electrodos de cobre soldados a las placas calefactoras. Los electrodos de cobre se diseñaron para tener una resistencia muy baja y no



generar calor en zonas no activas. Dado que el electrodo es de cobre y las placas calefactoras son de acero inoxidable, la unión entre ambos será a través de soldadura para tener una resistencia de unión muy baja. El método de soldadura será el Brazing, éste es el proceso en el que dos metales se unen con el uso de calor y un material de aporte que se funde a una temperatura por encima de los 430 °C aprox, dependiendo del material de aporte, pero por debajo del punto de fusión de los metales bases a ser soldados. El material de aporte será aleación de plata (A3), el formado serán varillas, esta aleación tiene un bajo punto de fusión 730 °C, el material fundente recomendado para soldar acero inoxidable y cobre es Flux 31 N. Junto con los especialistas en Brazing del ENDE se está analizando el procedimiento óptimo para realizarlo.

Los inconvenientes que se presentan para realizar el trabajo son: alineación de las placas para que cuando se coloquen en el canal queden paralelas; la diferencia de masa entre el electrodo y la chapa hace que el electrodo se tenga que calentar por separado dificultando el centrado de la chapa una vez que llegó a temperatura; como la chapa tiene una dimensión preferencial muy importante y se llevará a temperatura sólo sus extremos, esto producirá un gradiente térmico importante en la chapa, provocando un revire de la chapa por tensiones térmicas, estas son inevitables pero hay que minimizarlas; por último para que el material de aporte fluya correctamente y la soldadura sea en toda la superficie, hay que mantener un pequeño espacio entre el electrodo y la chapa, de alrededor de 1 mm, esto se logra colocando dos tornillos de unión entre la chapa y el electrodo (estos tambien sirven para el centrado de las placas).

El proceso no se realizara en horno como en un principio se pensaba, como se dijo en el párrafo anterior, se calentará el electrodo de cobre con un soplete, cuando llegue a la temperatura deseada en todo su volumen, recién ahí se calentará la chapa.

El área de contacto entre el electrodo y la placa es de 30 x 60 mm. Asimismo el electrodo tiene un ala a cada lado para alojar un bulón. El fin del mismo es sujetar el conjunto electrodo – placa calefactora y alinearla con su homónimo del otro lado del canal.

Como la conexión de las placas es en serie, los bulones de conexión en los electrodos superiores deberán estar aislados. Para ello, se hicieron unos bujes de teflón.

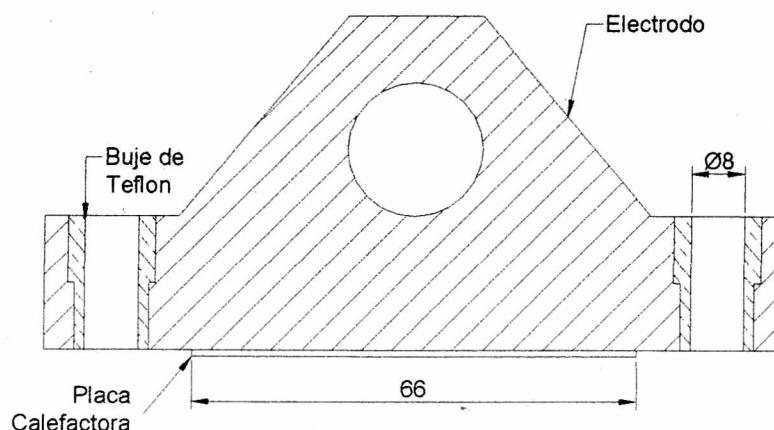


Figura 7

En la figura 7 se muestra un corte del conjunto electrodo - placa calefactora. Donde se puede observar el agujero central para la conexión flexible y los bujes de teflón.

Estas placas calefactoras le transmitirán al canal el flujo calórico por conducción. Como el canal es de aluminio, por lo tanto conductor eléctrico, se deberán aislar eléctricamente las placas del canal. Para ello entre los mismos se intercala una lámina de 0,2 mm de Micanita, con ello se asegura la aislación eléctrica. La Micanita tiene un coeficiente de transferencia de calor de $k = 0,3 - 0,1 \text{ W/m K}$.

Para asegurar que el contacto entre la placa calefactora y el canal sea absoluto, no quede aire entre ellos, ya que ello produciría una disminución de la capacidad de la transferencia de calor y por lo tanto una temperatura muy alta en la placa calefactora pudiendo llegar a fundirla, se le coloca una placa soporte de aluminio. Esta placa soporte se coloca a lo largo, entre los dos electrodos de un mismo lado, sin llegar a tocarlos.

Esta placa soporte cumple dos funciones, la primera es la que mencionamos en el párrafo anterior, y la segunda es la de soportar el conjunto calefactor (electrodo - placa calefactora). Para ello la placa sobresale de la estructura del canal 12 mm de cada lado, allí se alojan 7 bulones distribuidos equidistantemente en todo su largo (610 mm). Estos bulones se ajustan contra la placa soporte del otro lado del canal. También a esta placa soporte hay que intercalarle una lámina de macanita, por las mismas razones que en el canal combustible. Se esta evaluando la posibilidad de colocarle en lugar de micanita un aislante de mayor espesor para que el flujo de calor sea predominantemente hacia el canal.

Por otro lado se le hará una aislación térmica a todo el conjunto, con fibra de vidrio arrollada para minimizar la pérdida de calor hacia el exterior. En la figura 8 se muestra un corte del conjunto.

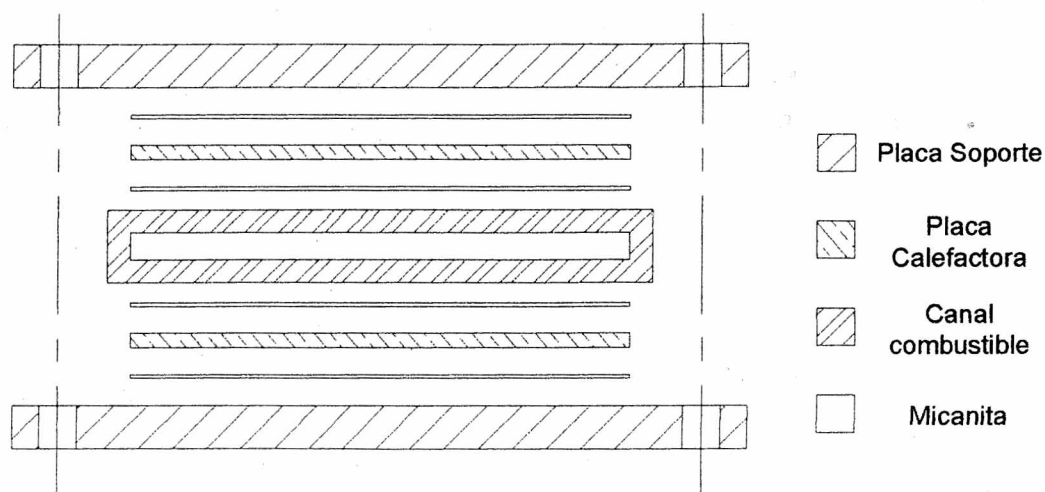


Figura 8

El torque que se le tendrá que aplicar a los bulones vendrá dado por el peso del conjunto Placa soporte - Lámina de Micanita - Placa calefactora - Electrodo, (material de aporte de la soldadura y bulones). Los mismos pesan

Placa soporte 0,47 kg

Lámina de Micanita	9,41 g (x 2 = 18,82 g)
Placa Calefactora	0,177 kg
Electrodo	0,85 kg (x 2 = 1,7 kg)
Material de aporte máx posible	5,4 g (x 14 = 75,6 g)

Cada conjunto pesa en total 2,44 kg. Haciendo un calculo sencillo veremos que la cantidad de bulones sobra holgadamente, ya que son simplemente para lograr un apriete uniforme. Haciendo un diagrama de cuerpo libre e igualando las fuerzas sobre el cuerpo vemos que los 14 bulones deberán hacer una fuerza tal que sea superior a la fuerza de gravedad. El coeficiente de fricción estático es aproximadamente $\mu = 0,2$.

$$\mu * F = m * g \quad \text{Siendo } g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$F = \frac{m * g}{\mu} = \frac{2.44 \text{ kg} * 9.81 \text{ m/s}^2}{0.2} \quad \text{Siendo F la fuerza que se deberá aplicar a los bulones para que el conjunto no se deslice.}$$

$$F = 119,75 \text{ N}$$

$$A = L * e * 2 \quad \text{Área de contacto}$$

$$A = 61 \text{ cm} * 0,72 \text{ cm} * 2$$

$$A = 878,2 \text{ cm}^2$$

$$N_t = 119,75 \text{ N} / 878,2 \text{ cm}^2$$

$$N_t = 0,136 \text{ N/cm}^2 \quad (1,36 \text{ KPa})$$

$$N = 0,136 \text{ N/cm}^2 / 14$$

$$N = 0,0097 \text{ N/cm}^2 \quad (0,097 \text{ KPa})$$

La resistencia límite mínima a la tensión de un bulón clase 4.6 es $S_p = 225 \text{ MPa}$, se estaría muy por debajo de lo que cada bulón podría soportar.

El torque que se le debería aplicar a cada bulón será

$$T = K * d * F$$

Donde $K = 0,18$ factor de momento de apriete con lubricación

$$d = 0,5 \text{ cm} \text{ diámetro del bulón}$$

$$T = (0,18 * 0,5 \text{ cm} * 119,75 \text{ N}) / 14$$

$$T = 0,769 \text{ N} * \text{cm}$$

En la figura 9 se puede ver un despiece del conjunto del canal combustible, placas calefactoras, electrodos, placa soporte y micanita (la cual no aparece por ser e un espesor muy delgado)

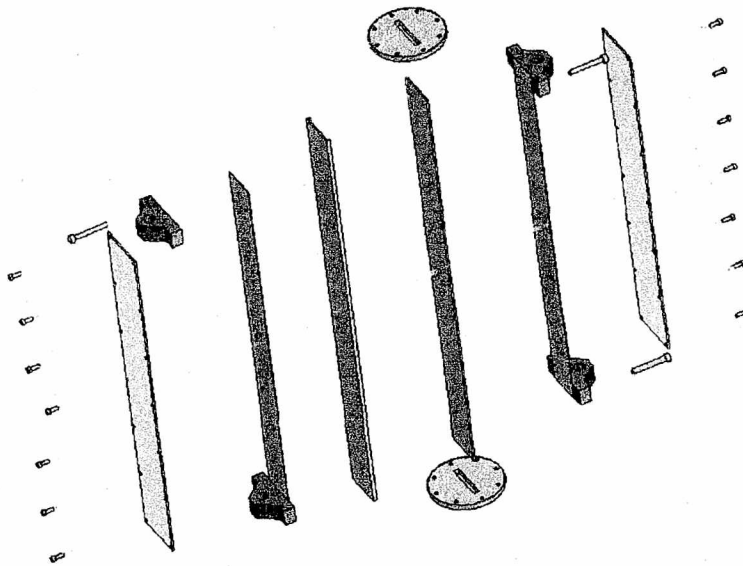


Figura 9

Instrumentación

Lo parámetros a medir en el ensayo serán temperatura, presión, caudal, corriente y tensión. Para el caudal se utilizará un caudalímetro tipo turbina, marca MAC modelo TBL-2000, que está fijo en el circuito termohidráulico, a la salida del intercambiador de calor. Este caudalímetro tiene un rango de 1,5 a 80 l/min (LPM) con una exactitud de $\pm 0,5 \%$. Nuestro requerimiento es 0.7 – 2.0 m/s, que para nuestras secciones son 8,03 LPM para el menor caudal en la sección menor y 29,3 LPM para el mayor caudal en la sección mayor (siendo el área de los canales 191,4 y 244,2 mm²) por lo tanto cumple perfectamente con los rangos que necesitamos. Para regular el caudal tenemos tres válvulas conectadas en paralelo, dos esclusas de 1" y de 1/2" y una aguja de 1/4", para tener un control grueso mediano y fino del caudal. Aparte en las bombas disponemos de válvulas esféricas de by-pass para tener un primer control del mismo, si es que se utilizan las dos bombas.

Para medir la presión usaremos sensores de presión diferenciales y puntuales. Se colocarán a la entrada y a la salida del intercambiador de calor, no tiene que ver con el ensayo pero los aprovecharemos para caracterizar al mismo. Otra toma de presión se pondrá antes de la válvula de aislamiento arriba de la sección de ensayo, en la sección de ensayo y por último a la salida de las bombas.

En el conjunto de ensayo se colocaron 3 tomas de presión, una en la entrada y dos a la salida, en el canal no se colocaran tomas.

La toma de presión en la puesta en velocidad consta de tres tubos de 1/4" con rosca, dispuestos a 120° y conectados en serie por medio de mangueras, para tener una presión media, ya que la sección tiene un gran diámetro. El medidor de presión que se utilizará en esta posición será uno de presión absoluta con un rango de 0 a 150 bar marca Rosemount.

Las dos tomas de presión al final de la sección se pondrán en el caño, al comienzo y al final del mismo, las tomas serán tubos de ¼" soldadas al caño de 1". El instrumento que se utilizará sea una Endress and Hauser DeltBar de Pmax 160 bar y ΔP 6 bar.

También se hará cuadro de válvulas par poder medir las distintas presiones entre los distintos puntos.

El parámetro más importante dentro del ensayo es la temperatura, tanto del refrigerante como de la pared. Para obtener la temperatura del refrigerante a la entrada de la sección se utilizará una termocupla tipo k de Ø 3 mm colocada en el circuito termohidráulico antes de la válvula de aislación. El circuito termohidráulico tiene tomas de entrada, caños de ¼" roscados en el extremo. Las termocuplas que se colocaran utilizarán el sistema Swagelok.

Para medir la temperatura en la pared, se utilizarán 5 (cinco) termocuplas compactadas tipo k, junta caliente aislada, de Ø 1 mm. Para colocar dichas termocuplas en el canal, se le hicieron canaletas a 45° respecto a la horizontal, las canaletas son de sección rectangular de 1,2 mm de espesor y con una profundidad de 2 mm. Lo óptimo hubiese sido hacer las canaletas de sección semicircular para tener mayor contacto de la pared con la termocupla, pero el taller donde se realizaron no poseía una fresa de perfil semicircular de diámetro 1,2 mm. La inclinación es para que no se desprendan por el peso propio. Cuando se coloquen las termocuplas se le pondrá grasa siliconada para no tener aire y lograr una buena transferencia de calor desde el aluminio de la pared del canal hacia la termocupla, y luego se pestañará con un punzón la canaleta para sujetar la termocupla. Se colocaron 5 (cinco) termocuplas en cada canal, las cuales se distribuyeron a lo largo del canal y en las distintas caras, si tomamos como eje z a la dirección vertical hacia abajo y el origen la zona activa, las cotas a las cuales se colocaron las termocuplas son:

$$\begin{aligned} Z_{10} &= 245 \text{ mm} & Z_{40} &= 430 \text{ mm} \\ Z_{20} &= 310 \text{ mm} & Z_{50} &= 595 \text{ mm} \\ Z_{30} &= 365 \text{ mm} \end{aligned}$$

Como se puede ver no es una distribución homogénea de las termocuplas, esto se debe a que las mayores temperaturas se obtendrán en la zona inferior del canal, por lo tanto es la zona de interés nuestro.

Resultados a obtener

Para obtener el flujo calórico entregado por las placas tenemos que medir la corriente y la tensión en las placas. Para medir la corriente contamos con un Shunt, esto es una resistencia calibrada la cual no varía su resistencia con la temperatura, el mismo se coloca en serie a la placa y se mide la caída de tensión en el mismo. Con eso se obtiene la corriente que está circulando por las placas.

Para obtener el coeficiente de transferencia de calor usaremos las siguientes fórmulas:

1) - Flujo calórico

$$\phi = \frac{I * V}{a * l_c * 2} \quad (1)$$

Donde: V = Tensión

I = Corriente

a = Ancho de la placa calefactora

l_c = Longitud calefactora

2) –Temperatura del refrigerante (T_r) en el canal en una cota determinada z

$$T_r(z) = T_e + \left(\frac{Pc * z * \phi}{S * v * Cp * \rho} \right) \quad (2)$$

Donde: T_e = Temperatura de entrada al canal

Z = Cota elegida

ϕ = Flujo calórico

S = Superficie de pasaje del refrigerante

v = Velocidad del refrigerante

C_p = Calor específico

ρ = Densidad del refrigerante

Pc = Perímetro calefactor ($2*a$)

3) – Coeficiente de transferencia de calor

A partir de la siguiente fórmula se obtiene el coeficiente de transferencia de calor

$$\phi = h * [T_p(z) - T_r(z)]$$

Donde: $T_p(z)$ = Temperatura de la pared

Por lo tanto el coeficiente de transferencia de calor

$$h = \frac{\phi}{T_p(z) - T_r(z)} \quad (3)$$

Para obtener el coeficiente de transferencia de calor se debe proceder de la siguiente manera, se fija la presión de entrada a través de la columna de agua del circuito termohidráulico, se fijan los distintos caudales requeridos, en realidad nuestras condiciones son de velocidades de circulación, por medio del cuadro de válvulas de regulación y por último se fijan las tensiones y corrientes necesarias para los distintos flujos calóricos requeridos.

A través de la ecuación (1), se calcula el flujo térmico. Con este dato se calcula la temperatura del refrigerante en el canal $T_r(z)$ para las distintas cotas Z_{10} , Z_{20} , Z_{30} , Z_{40} y Z_{50} con la ecuación (2).

Se registran las temperaturas de la pared con las 5 (cinco) termocuplas correspondientes a las cotas anteriormente mencionadas, las cuales habrá que corregir debido a que no son exactamente esas las temperaturas de la pared.

Por último se utiliza la ecuación (3) para obtener el coeficiente de transferencia de calor.

Conclusiones

Todos los objetivos de la tesina, diseño, fabricación y ensamble de la sección de ensayo, se lograron en su totalidad. Quedaría pendiente para terminar el trabajo solicitado, realizar un *procedimiento de ensayo* y ejecutarlo para poder obtener el coeficiente.

Para tener en cuenta una vez realizados los ensayos, habría que hacer un análisis de óxido que presenta dicho canal, si es que lo tiene dado que la calidad del agua que utilizaremos no es la misma que la que se utiliza en el reactor, ya que el óxido de aluminio tiene una conductividad térmica muy baja. Para ello se puede seccionar el canal y mandarlo al laboratorio de materiales, que están trabajando en el tema, para verificar la capa de óxido que se formó.

Referencias

- (1) Frank Kreith, "Principles of heat transfer", 2ª edición, 1965
- (2) Joseph E. Shigley – Charles R. Mischke, "Diseño en ingeniería mecánica", 5ª edición, 1990.
- (3) J. P. Holman, "Transferencia de calor", 1999
- (4) <http://www.matweb.com> , propiedad de los materiales
- (5) http://www.roymech.co.uk/Useful_Tables/Tribology/co_of_frict.htm#coef,
coeficientes de fricción