

PROPIEDADES TÉRMICAS DE GAP FILLER SOMETIDO A PRESIÓN

BOTTA, SONIA A.^{*1} - BREME, JUAN ANDRÉS² - MARTÍNEZ, MARIANO A.³

*sonia_botta@hotmail.com

^{1 a 3} Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ingeniería
U.I.D G.E.M.A. - Departamento de Aeronáutica
Calle 116 y 48 (C.P. 1900)
Tel.: 221 424-4851 ó 425-8911 int. 145
La Plata, Buenos Aires, Argentina

RESUMEN

El presente trabajo surge de la necesidad de conocer la variación de la transferencia de calor de diferentes materiales de interfase térmica de aplicación espacial al ser deformados bajo presión. Esto se debe a que esta variación no está simplemente dada por la relación teórica, $Q = \frac{K.A}{L} \Delta T$, sino que es una relación no lineal. Por lo tanto, basándose en un ensayo anterior y adaptándolo a las condiciones disponibles, se obtuvo la impedancia térmica para varios porcentajes de deformación. Luego, mediante el planteo de un modelo de deformación, se propuso una estimación teórica de la influencia de la deformación sobre la impedancia térmica, buscándose, de forma numérica, una relación teórica que aproxime el valor de esta impedancia para otros valores de deformación no ensayados.

1.- INTRODUCCION

Los materiales de interfase térmica, también llamados *gap fillers*, son de vital importancia en aplicaciones donde pueden quedar pequeños espacios entre componentes de un determinado sistema. Si se requiere conducir calor de manera eficiente entre dichos componentes, los espacios vacíos entre ellos son indeseados, dado que el aire oficia de aislante. Aquí es donde entran en juego los materiales de interfase, ya que rellenan los espacios vacíos, permitiendo que el calor sea conducido de forma más eficiente entre los componentes para luego ser disipado por el mecanismo apropiado.

Debido a que las condiciones y la configuración del sistema en el cual los materiales de interfase actuarán pueden ser muy variados, se plantea el interrogante de si dichos materiales trabajarán de forma similar bajo las distintas condiciones de sollicitación y si, consecuentemente, es factible utilizar con seguridad los datos proporcionados por el fabricante para cualquiera de estas.

El caso de aplicación sobre el que se basa este trabajo consiste en un *filler* ubicado entre una caja de electrónica y el soporte sobre el cuál se instala dicha caja, y a partir de esto surge la necesidad de reducir el espesor del material de interfase para poder ser colocado adecuadamente. En este caso, se abarca un área significativamente mayor a la utilizada por el fabricante en sus ensayos, con lo cual se cree que las propiedades térmicas pueden variar considerablemente, ya que el fabricante da los datos en función de la presión y no la deformación.

Por ende, se buscará obtener datos de impedancia térmica para un rango de valores de deformación y, a partir de los valores obtenidos, ver la factibilidad de la construcción de una curva que permita predecir valores de impedancia para deformaciones intermedias.

2.- METODOLOGIA

En primer lugar, a partir del *filler* a utilizar en el caso de aplicación, se adquirieron éste y

otros *fillers* de características similares para poder compararlos entre sí.

El objetivo del ensayo es obtener los valores de impedancia del material de interfase basados en las ecuaciones (2), (3) y (5) dadas en la sección 3.1. Para ello es necesario conocer valores de potencia aplicada, área de contacto y gradiente de temperaturas en las caras de la interfase.

En esta sección se detallan el procedimiento para la obtención de los datos de interés, mientras que en las secciones 3.3 a 3.5 y 3.7 se detallan otros aspectos de interés como ser dispositivos de ensayo, dimensionado de potencias, criterios de estabilización, etc.

Dada la disponibilidad de materiales y herramientas para realizar el experimento, no fue posible simular las condiciones exactas de operación del *filler*, como, por ejemplo, el vacío, dado que no se cuenta con una cámara de termovacío. A pesar de esto, se cree que para los parámetros a estudiar esto no es necesario, ya que se estima que no se verán influenciados de manera importante por las condiciones ambientales.

El ensayo fue realizado en una sala con temperatura y humedad controladas, ya que se notó que la convergencia del mismo se ve sensiblemente afectada por las fluctuaciones en la temperatura ambiente.

3.- DESARROLLO

3.1.- Definiciones

Es sabido que, para cuerpos en contacto por medio de un material de interfase, la resistencia térmica total no depende únicamente de la propia resistencia aportada por el material en sí mismo, sino que se compone, a su vez, de lo que se denomina resistencia de contacto [1]. Esta resistencia se da debido a que las superficies, al tener rugosidad, no están en contacto perfecto entre sí, sino que existen pequeños espacios entre ellas que pueden ser rellenados por aire o suciedad, los cuales mayor resistencia a la conducción de calor. La resistencia térmica total está dada por:

$$R_{Tot} = R_{teórico} + R_{contacto} \quad (1)$$

Luego, reemplazando la forma teórica de la resistencia en la ecuación (1):

$$R_{Tot} = \frac{L}{K \cdot A} + R_{contacto} \quad (2)$$

Con el objetivo de obtener un resultado más generalizable, se utiliza como parámetro de estudio la impedancia térmica, definida como la resistencia total por unidad de área, como muestra la ecuación (3).

$$\mu = \text{Impedancia térmica} = R_{Tot} \cdot A \quad (3)$$

Por lo tanto, en régimen estacionario, el cálculo de flujo de calor entre dos cuerpos está dado por la siguiente relación:

$$Q = \frac{A \cdot \Delta T}{\mu} \quad (4)$$

De esta manera, si se conoce la potencia entregada al sistema y el área de contacto, midiendo el valor del gradiente de temperatura entre las caras de la interfase, es posible calcular la impedancia térmica. Éste es el método que se seguirá al momento de realizar la medición de dicha propiedad, tal como define la ecuación (5).

$$\mu = \frac{A \cdot \Delta T}{Q} \quad (5)$$

3.2.- Justificación de la experiencia

Si bien es de esperar que la impedancia disminuya con el aumento de la deformación del material de interfase, se cree que es necesaria la realización del ensayo por las siguientes razones:

- Se busca conocer cuál es el factor contribuyente más importante a esta disminución de impedancia, si es la resistencia que se da por contacto o la teórica, simplemente por la reducción del espesor.

- El ensayo se realiza tomando como referencia uno similar realizado con anterioridad [2], pero que se llevó a cabo en condiciones ambientales diferentes. Con esto, se busca ensayar el material bajo condiciones similares a las realizadas por el fabricante para ver si los datos aportados en

las hojas de datos son aceptables y, a su vez, analizar qué sucede si las condiciones de uso son diferentes, como el vacío en el espacio.

- Por último, en el ensayo de referencia mencionado sólo se tomaron mediciones para dos deformaciones, por lo que se buscará ampliar el rango, tendiendo a menores deformaciones, ya que es de interés en el caso particular descrito.

3.3- Consideraciones previas a la realización del ensayo

De acuerdo con la ecuación (5), se hace necesario conocer tres datos para el cálculo de la impedancia térmica: el área de contacto de la interfase, el flujo de calor aportado y la diferencia de temperatura entre las caras de la interfase.

El valor de la diferencia de temperatura entre las caras de la interfase se obtiene directamente como salida del ensayo. Lo importante es mantener lo suficientemente lineal (unidireccional) y constante el flujo de calor aportado al sistema, de manera que los resultados obtenidos tengan una precisión adecuada. Para lograr esto se tienen en cuenta una serie de consideraciones mencionadas a continuación.

En primer lugar, el área de interfase no debe ser demasiado grande; caso contrario, el calor podría distribuirse de forma indeseada en una dirección diferente a aquella en la cual se quiere medir el gradiente de temperatura. En segundo lugar, el dispositivo de ensayo debe estar adecuadamente aislado para evitar pérdidas de calor tanto por convección como por radiación. Las pérdidas por radiación en el caso bajo estudio son pequeñas, pero aquellas por convección pueden ser considerables.

En cuanto a la potencia a aplicar y el área de contacto, se tomaron como parámetros las del ensayo mencionado en la referencia [2]. Se mantiene una potencia aplicada de 20W y, en cuanto al área de contacto, se toma una un poco menor a la utilizada en la experiencia de referencia para poder tomar los datos de manera adecuada. Dicha área de contacto es de 16 cm².

3.4.- Dispositivo de ensayo

La configuración del dispositivo de ensayo consiste en un apilamiento tal como se describe a continuación: un primer elemento de aluminio, con forma de prisma rectangular, al cual se le aplica potencia, luego el material de interfase y un tercer elemento de aluminio consistente en un prisma rectangular junto a una barra, que actuará como disipador. Dicha configuración se muestra en la Figura 1. Los anchos de cada elemento fueron determinados para obtener un flujo de calor lo más constante posible.

Por medio de un *heater* (resistencia calefactora), se aplica calor a la cara externa del primer elemento de aluminio, el cual, por sus propias características, homogeneiza el flujo de calor que pasa hacia el material de interfase, haciéndolo lo más unidireccional posible.

El tercer elemento de aluminio es el que se comporta como sumidero térmico, disipando calor por radiación y convección. De esta manera, se logra tener un gradiente de temperaturas en las caras adyacentes a la interfase, el cual se mide por medio de dos termocuplas tipo T.

Por otra parte, para minimizar las pérdidas de calor antes de que el mismo llegue al sumidero, se recubrieron los elementos antes mencionado con *multilayer insulation* (MLI). Este recubrimiento se da en las zonas próximas al material de interfase, que es donde se debe mantener estrictamente el flujo de calor lo más unidireccional posible. También se apoyaron los extremos del elemento que actúa de sumidero térmico sobre material aislante para que la disipación de calor sea estrictamente con convección y radiación hacia el ambiente y no por conducción.

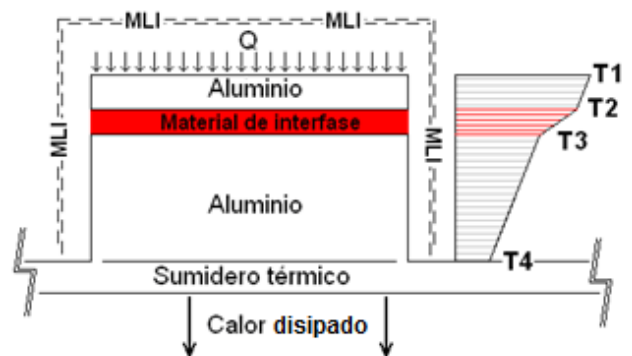


Figura 1. Configuración del ensayo.

Para verificar tanto la potencia aplicada como el área de contacto y el espesor de los elementos de aluminio, tal que el flujo de calor se mantenga aproximadamente unidireccional, la posición de los sensores de temperatura sea correcta y el funcionamiento del material aislante sea adecuado, se realizó una simulación en un software térmico. El gradiente de temperaturas obtenido sobre el *filler* se muestra en la Figura 2. Además, en la Figura 3 se observa que el flujo de calor en la sección del dispositivo donde se coloca el material de interfase es aproximadamente lineal.

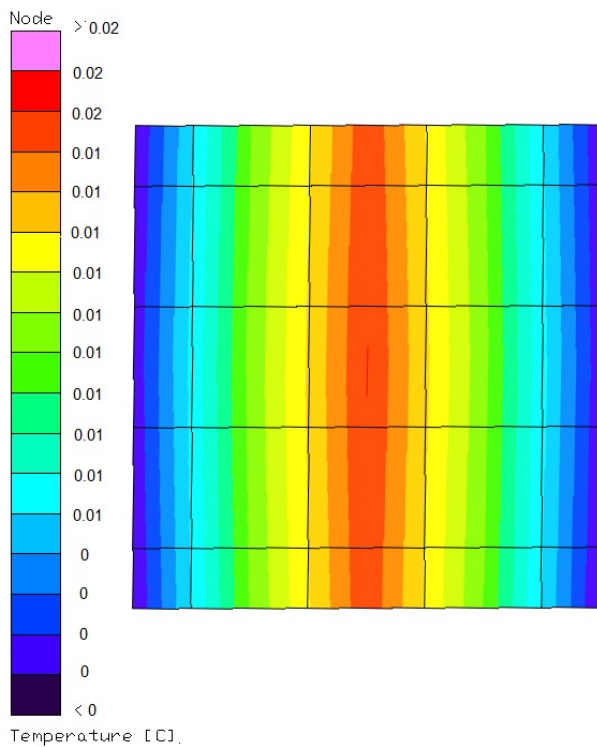


Figura 2. Simulación computacional del gradiente de temperaturas sobre el *filler*.

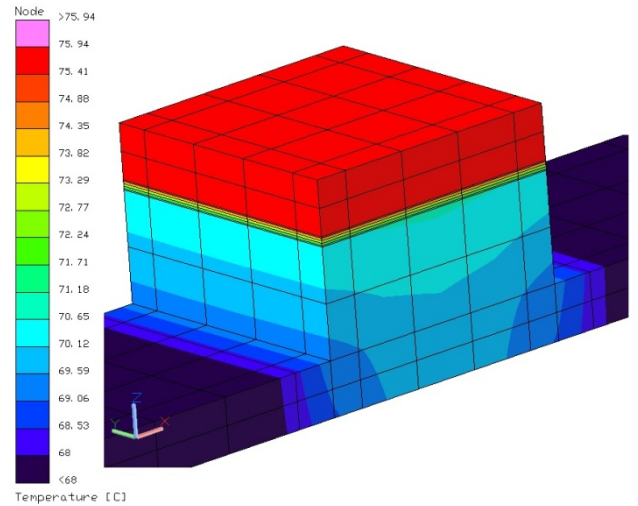


Figura 3. Flujo de calor sobre la sección de interés.

Por otra parte, para poder deformar el material de interfase, se hizo necesario contar con un sistema de apriete a través del cual poder ejercer presión. Dicho sistema de apriete consiste en dos tornillos con tuercas que, al girar las tuercas, éstas desplazan dos barras que son las encargadas de presionar los elementos de aluminio y, consigo, el material de interfase. Estas barras son de fibra de vidrio G10 que, al ser un material muy aislante, minimiza el intercambio de calor entre el elemento superior y el dissipador y éstos y los tornillos, garantizando que no se pierda la unidireccionalidad del flujo de calor aplicado. El detalle de este sistema de apriete se puede ver en la Figura 4.

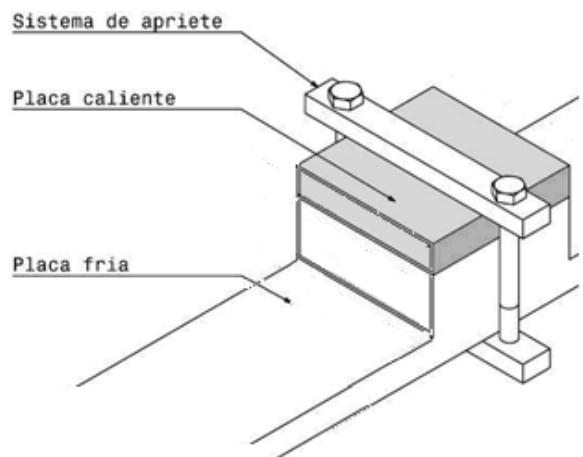


Figura 4. Esquema del sistema de apriete.

3.5.- Criterio de equilibrio térmico

Como ya se mencionó, para este ensayo se debe medir la diferencia de temperaturas en las caras de la interfase. El mismo debe ser medido en régimen estacionario, es decir, cuando se ha alcanzado el equilibrio térmico entre el calor entrante y el calor disipado.

Debido a que la respuesta transitoria del dispositivo de ensayo sólo llegará a la temperatura de régimen estacionario cuando el tiempo tienda a infinito, se debe adoptar un límite donde se pueda considerar que las temperaturas llegaron a una convergencia. En la práctica, este límite suele estar condicionado por la precisión de los instrumentos de medición, la exactitud requerida en los resultados y/o las perturbaciones del medio. Sólo cuando las temperaturas hayan alcanzado su valor en régimen estacionario, el gradiente de temperatura será lineal y, con estos datos, se podrá calcular la impedancia térmica.

En este caso se notó que, si bien las temperaturas alcanzan un valor oscilante alrededor del que se considera el correspondiente al del régimen estacionario luego de un determinado tiempo, el delta de temperaturas entre las caras de la interfase converge a un valor fijo en un tiempo mucho menor. De todas formas, si bien se podría detener cada ensayo en el tiempo para el cual la diferencia de temperaturas alcanza un valor prácticamente constante, se continúa hasta que las temperaturas en ambas caras de la interfase alcanzan valores levemente oscilantes respecto de su valor de equilibrio térmico.

3.6.- Materiales de interfase utilizados

Los materiales de interfase utilizados son los que se encuentran disponibles comercialmente para el caso de aplicación real mencionado anteriormente y se listan a continuación:

- Therm-A-Gap 574A ⁽¹⁾
- Therm-A-Gap 579A ⁽¹⁾
- Therm-A-Gap 579G ⁽¹⁾
- Gap Pad 3000S30 ⁽²⁾

⁽¹⁾ Chomerics Parker

⁽²⁾ Bergquist

3.7- Control de la deformación

Como la medición de la presión ejercida sobre el material de interfase es complicada y puede no ser generalizable, se optó por medir la deformación del material. Para esto se midió el espesor original de cada una de las probetas y luego se determinaron los espesores para ciertos porcentajes de deformación.

Para controlar que el espesor del material deformado fuese el mismo que el calculado se colocaron topes calibrados con el espesor deseado entre ambos elementos de aluminio. Se apretó el sistema hasta que el aluminio hiciera contacto con los topes y, luego, se retiraron los mismos para que no distorsionen el flujo de calor.

Los niveles de deformación aplicados fueron del 10, 20, 30 y 40% para todas las probetas.

4.- RESULTADOS

El resultado que conduce todo el presente trabajo es la diferencia de temperaturas en las caras adyacentes al material de interfase para cada probeta. Dichas diferencias de temperatura se muestran en la Tabla 1, mientras que un ejemplo de las curvas de temperatura donde se aprecia la convergencia se observa en la Figura 5.

Tabla 1. Diferencias de temperaturas [°C] en cada caso para cada material ensayado.

Diferencia de temperatura vs. Deformación				
Material	Deformación			
	10%	20%	30%	40%
TG574A	16.46	13.78	-	5.72
TG579A	5.48	3.14	-	1.80
TG579G	9.68	6.96	5.20	3.86
GP3000S30	2.30	1.60	1.08	0.70

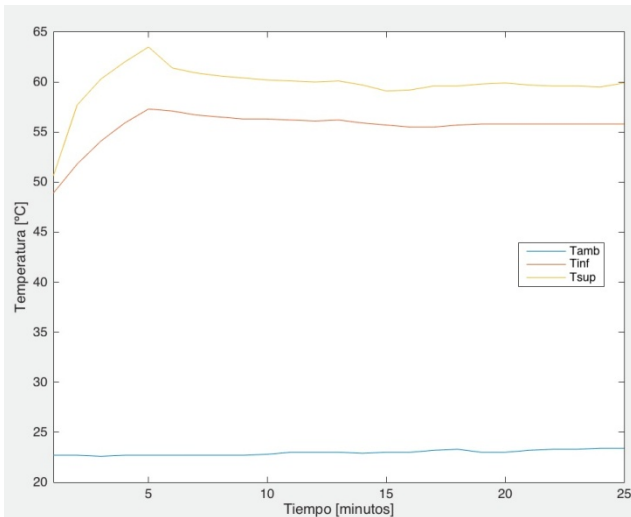


Figura 5. Ejemplo de curva de temperatura convergida.

Luego, según la ecuación (5), se calculan las impedancias en cada caso, detalladas en la Tabla 2.

Tabla 2. Impedancia térmica total [$\text{cm}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$].

Impedancia térmica vs. Deformación (Ensayada)				
Material	Deformación			
	10%	20%	30%	40%
TG574A	14.52	13.50	-	7.15
TG579A	4.99	3.16	-	2.25
TG579G	8.69	6.92	5.91	4.83
GP3000S30	2.05	1.62	1.21	0.87

Se debe aclarar que los resultados dados tanto en la Tabla 1 como la 2 son promedios de los datos obtenidos en los últimos 5 pasos de tiempo.

4.1.- Comparativa con los resultados preexistentes

Los resultados de la Tabla 2 se pueden comparar con los dados por el fabricante, los cuales se ven en la Tabla 3.

Tabla 3. Impedancia térmica vs. deformación según las hojas de datos [3][4].

Impedancia térmica vs. Deformación (Hojas de datos*)				
Material	Deformación			
	10%	20%	30%	40%
TG574A	-	-	12.28	-
TG579A	-	-	-	-
TG579G	-	-	6.57	-
GP3000S30**	7.74	7.10	6.45	5.16

* Los datos fueron corregidos para los espesores de las probetas utilizadas.

** Los datos dados por el fabricante sólo dependen del espesor y no dan datos de las condiciones del ensayo.

Asimismo, comparados con los obtenidos en el ensayo de referencia, los resultados muestran una diferencia importante. La Tabla 4 está directamente extraída del trabajo referenciado en [2].

Tabla 4. Impedancia térmica, ensayo en vacío [2].

Material	30%	60%
TG574A	27,4	20,4
TG579A	16,5	13,8
TG579G	14,9	
GP30S30	6,3	6,4

4.2.- Curvas de impedancia térmica

Además de encontrar las impedancias térmicas a menores deformaciones de las ensayadas previamente, se busca proponer una curva que permita predecir el comportamiento de dicha impedancia para deformaciones intermedias a las ensayadas.

Para esto, se interpolaron los datos de la Tabla 2 mediante el método de mínimos cuadrados proponiendo polinomios de grado 2 como curvas de ajuste. Las curvas obtenidas son las mostradas en la Figura 6.

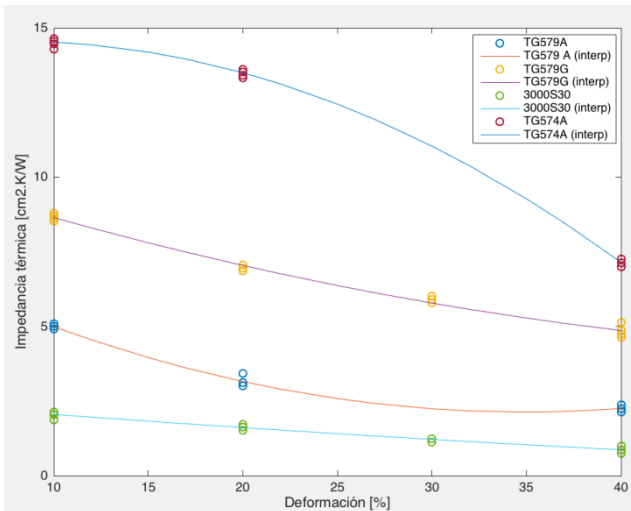


Figura 6. Curvas interpoladas de impedancia térmica.

Como se puede observar, las curvas se ajustan adecuadamente a los datos obtenidos por ensayo, pero difieren significativamente entre ellas. Esto implica que si se desea obtener la impedancia térmica de uno de estos materiales de interfase no se puede asumir que el comportamiento de uno sea similar al otro, sino que se deben ensayar cada uno por separado.

Por otra parte, los fabricantes recomiendan utilizar los *fillers* con deformaciones de entre el 30 y el 60% del espesor inicial. Si se amplía el gráfico de la Figura 6 en el rango del 30 al 40%, tal como se muestra en la Figura 7, se observa que, excepto en el caso del TG574A, las curvas se vuelven prácticamente constantes. Esto puede llevar a pensar que ésta es la justificación del fabricante para esta recomendación: el valor dado en el 30% (dato que el fabricante aporta) se puede utilizar de forma aproximada para deformaciones de hasta el 60%.

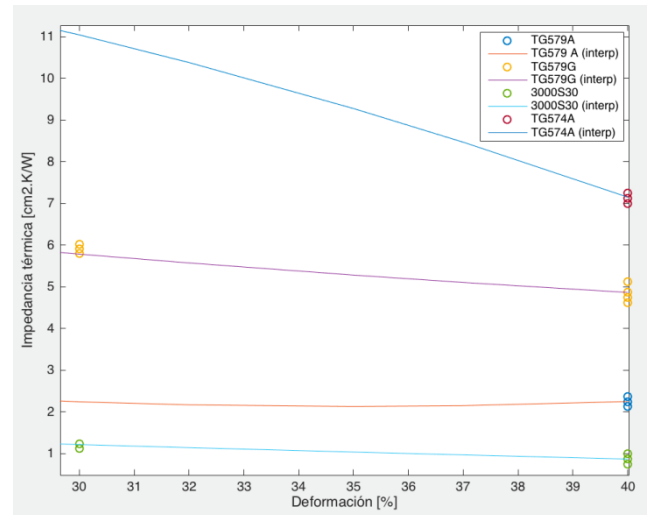


Figura 7. Ampliación de las curvas entre el 30 y 40% de deformación.

4.3.- Impedancia de contacto

Como ya se definió en la sección 3.1, la impedancia térmica no está dada sólo por la resistencia en sí mismo del material sino por los intersticios que pueden quedar cuando dos superficies con rugosidad se ponen en contacto. Esta resistencia de contacto no se puede calcular de forma teórica, sino que se obtiene de forma empírica.

Es por esto último que es de particular interés conocerla: si se pudiera separar esta resistencia de contacto, se podría obtener una generalización de la resistencia total de cada material sin importar el espesor del mismo.

Como dato importante, se debe mencionar que, si bien se puede independizar en cierto punto el espesor del material, las dimensiones son importantes para determinar la presión a aplicar para lograr la deformación buscada. Es por esto que la resistencia de contacto puede no mantenerse entre dos probetas del mismo material si las dimensiones son diferentes (área de contacto y espesor).

Utilizando la ecuación (2), se buscó obtener la impedancia de contacto para las probetas ensayadas, lo cual se expone en la Tabla 5. Se halló que, si bien para el caso del TG579G los resultados son coherentes o, al menos, posibles, en los demás, los resultados se contradicen con lo esperado.

Tabla 5. Impedancias de contacto [cm².K/W]

Impedancia de contacto vs. Deformación				
Material	Deformación			
	10%	20%	30%	40%
TG574A	-2.48	-1.81	-	-4.23
TG579A	-1.74	-2.94	-	-2.28
TG579G	1.86	0.76	0.51	0.24
GP3000S30	-5.71	-5.21	-4.99	-4.46

Es por esto que se descartó continuar con esta línea de trabajo hasta no tener mejores resultados o realizar otro ensayo.

El motivo por el cual se cree que no se están obteniendo buenos resultados es que el modelo para la deformación del material, a volumen constante, no sea adecuado.

4.4.- Discusión de los resultados

Como se ve en los resultados obtenidos, los valores de impedancia dados por el ensayo se condicen en gran medida con los dados por el fabricante, excepto en el caso del Gap Pad 3000S30, pero no así con los obtenidos en el ensayo de termovaciación citado en la referencia [2].

Sin embargo, es de esperar que haya diferencias en los casos mencionados dadas las condiciones de ensayo, tanto de procedimiento e instrumentación como ambientales. Por condiciones de procedimiento se hace referencia a los materiales que hacen contacto con el material de interfase, sensores utilizados, tamaños de probetas, presiones de contacto, etc. Por condiciones ambientales se entienden las condiciones del lugar en el cual se desarrolló la experiencia, como presión y temperatura.

En el experimento dado en [2], por ejemplo, una de las caras del *filler* es contactada por aluminio y otra por fibra de carbono, mientras que en esta experiencia las dos caras del material de interfase están en contacto con aluminio. Como la fibra de carbono es más rugosa que el aluminio, es lógico tener parte del aumento de resistencia observado en los resultados.

Por otra parte, también en el ensayo de referencia, la condición ambiental parece ser muy influyente. Se cree que puede tener que ver con el

hecho de que, en el caso de estudio de este trabajo, los huecos que quedan en el área de contacto están ocupados por aire, mientras que en el otro caso podrían haberlo expulsado y quedado en vacío; esto generaría la diferencia de resistencia observada, ya que el vacío es más aislante que el aire.

Los resultados de las probetas desarrolladas por *Chomerics Parker* son las que más similares dan a las ensayadas en este trabajo. Esto se puede deber a que las condiciones de ensayo de dicho fabricante son las más similares a las que se tomaron para esta experiencia. Sin embargo, las diferencias pueden radicar en varias razones. La primera de ellas, y la más simple también, es que el fabricante cuente con instrumentos de medición más precisos que los que se disponían en este experimento. Por otra parte, los tamaños de probetas son diferentes, y con esto también es diferente la presión a aplicar sobre el *filler* para lograr una determinada deformación. De esta manera, al haber un cambio en la presión aplicada, cambia la resistencia de contacto al ser diferente la cantidad de intersticios en las interfases entre los materiales; también puede cambiar la conductividad propia del material de interfase, ya que es diferente su estructura a nivel microscópico.

El caso más difícil de analizar es el del Gap Pad 3000S30, debido a que no se dispone de ningún dato acerca de las condiciones o la metodología de ensayo, con lo cual es muy difícil estimar adecuadamente las diferencias entre uno y otro caso.

En cuanto a la estimación de la resistencia de contacto, la misma es puramente empírica, sin haber un modelo matemático preciso para medirla. De esta manera, se intentó encontrar una estimación de la misma mediante el planteo de que el volumen del *filler* se mantiene constante al deformarlo. Así, conociendo su volumen inicial y el espesor final luego de cada deformación, se estimaba el área de contacto modificada, con esta área se resolvía la ecuación (5), y el resultado se restaba de lo obtenido de ensayo, y el resultado de la resta sería la resistencia de contacto. Sin embargo, esta estimación no resultó, y se cree que el motivo de esto radica en la sencillez del modelo de deformación propuesto. Al no tener información adecuada acerca de propiedades mecánicas de los *fillers*, como coeficientes de deformación

lateral, datos de fluencia, etc., no se puede conocer exactamente cómo varía el área de contacto del material de interfase y con esto realmente no se puede evaluar la ecuación (5).

5.- CONCLUSIONES

Las propiedades térmicas obtenidas para los materiales de interfase dados por el fabricante *Chomerics Parker* se condicionan suficientemente con los obtenidos en este trabajo, con lo cual se suponen confiables.

Los resultados para el Gap Pad 3000S30 no se condicionan con los dados por el fabricante, pero no se puede concluir nada en este caso al no tener información sobre las condiciones de ensayo.

El ensayo dado en la referencia [2] da resultados significativamente diferentes a los hallados en esta experiencia, pero dichos experimentos fueron realizados en condiciones ambientales marcadamente diferentes. Con esto, se concluye que, contrariamente a lo que se pensaba, las condiciones ambientales influyen de forma importante en los resultados. De esta manera, se recomienda ensayar los *fillers* bajo las condiciones de operación en las que se utilizarán los mismos.

Debido a que no se puede plantear un modelo matemático apropiado, las resistencias de contacto deben ser determinadas empíricamente, lo que no se hizo en este informe por no contar con los elementos apropiados.

A partir de los resultados obtenidos para cualquiera de los *fillers*, no se puede concluir nada acerca de los demás, ya que se vio que sus curvas de impedancia son significativamente diferentes.

A excepción del Therm-A Gap 574A, si se conoce el valor de impedancia para valores entre el 30 y el 40% de un *filler*, se puede esperar que el valor de impedancia a mayores deformaciones para este mismo *filler* sea similar al hallado en los porcentajes mencionados.

6.- REFERENCIAS

[1] Incropera F. P., DeWitt D. P. **Fundamentos de transferencia de calor**. Prentice Hall, 1999.

[2] Fernandez E., Pardo C.F, otros. **Diseño, cálculo y ensayo de interfases térmicas de contacto para instrumentos de aplicación espacial**. Congreso Argentino de Tecnología Espacial, 2011.

[3] Chomerics Parker. **Therm-A-Gap™ HCS10, 569, 570, 579 and 580 data sheets**.

[4] Chomerics Parker. **Therm-A-Gap™ 574 data sheets**.

[5] Bergquist. **Gap Pad® 3000S30 data sheets**.

[6] Gilmore D. G. **Spacecraft Thermal Control Handbook. Vol. I: Fundamental Technologies**. The Aerospace Press, 2002.