

CÁLCULO TÉRMICO DEL PROCESO DE SELLADO DE ENVASES PLÁSTICOS PARA PRODUCTOS ALIMENTICIOS LÍQUIDOS

Santiago A. Urquiza*, Sebastián Chevalier* y Pablo J. Blanco*

*Laboratorio de Bioingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata.
Av. Juan B. Justo 4302, (7600) Mar del Plata, Argentina. TE: 54-(0223)-4816600-Interno 252
e-mail: santiagourquiza@fi.mdp.edu.ar

Palabras clave: Transferencia de Calor, Sellado de Envases, Elementos Finitos.

Resumen. *El modelado computacional de procesos industriales constituye una herramienta de cálculo y análisis de gran importancia a la hora de resolver ciertos aspectos involucrados en ellos. El presente estudio constituye un ejemplo del modelado computacional de una aplicación industrial, la cual consiste en el análisis térmico del mecanismo de sellado de una máquina envasadora de productos alimenticios, en donde, el objetivo principal fue obtener la potencia calórica necesaria para la resistencia calefactora, de manera de establecer la distribución de temperaturas óptima en las superficies de las mordazas donde se realiza el sellado propiamente dicho. El mecanismo se modela a través de las ecuaciones de convección-difusión, teniendo en cuenta la existencia de condiciones de contorno de tipo convectivas y de radiación en el mecanismo de transferencia de calor. Adicionalmente, se obtiene el ángulo de contacto mínimo necesario para la fusión del material de sellado y la distribución de temperaturas en las mordazas.*

1. DESARROLLO

1.1 Descripción de problema

Este mecanismo consiste en dos cilindros rotantes con ejes axiales paralelos, que presentan un calado en forma de mordazas, la distancia entre ejes es tal que sus superficies ejercen presión sobre las películas que circulan entre dichos cilindros. El sellado de las películas tiene lugar en el punto de encuentro de las mismas. En el camino hacia el punto de contacto entre los cilindros, la película recorre solidaria a los cilindros una porción del perímetro de los mismos (arco de contacto) recibiendo un flujo calórico producto de la temperatura de las mordazas, elevando su temperatura a medida que avanza. En este momento, el polietileno de baja densidad, debe haber alcanzado su temperatura de fusión para lograr un sellado correcto. Se presenta un esquema del mecanismo en la figura 1, mientras que en la figura 2 puede apreciarse el corte de uno de los cilindros.

Los materiales involucrados en el proceso de modelado son películas delgadas de polietileno de baja densidad, PET (polyethylene terephthalate) y aluminio (ver detalle en la figura 1).

El problema resuelto consistió en el cálculo de la potencia que debe suministrar el calefactor para que en las mordazas se alcance la temperatura adecuada, tal que el polietileno de baja densidad (PEBD) llegue a su temperatura de fusión.

De acuerdo a lo anterior surgen las siguientes variables a tener en cuenta:

- Longitud del arco de contacto “mínima” para alcanzar la temperatura deseada en el PEBD.
- Temperatura de las mordazas.
- Potencia del calefactor.

Debido a que el problema es, tanto desde el punto de vista geométrico como del de la distribución de cargas, netamente tridimensional, un análisis de este tipo se tornaba inviable desde el punto de vista económico. Consiguientemente, uno de los objetivos principales del trabajo fue el análisis del problema en submodelos simplificados y desacoplados de forma de hacer posible el trabajo a partir de los recursos disponibles, manteniendo la significación de los resultados. Es por eso que se optó por resolver el sistema como dos submodelos desacoplados y simplificados geoméricamente, como se dijo, realizando un modelo para la lámina y otro para las mordazas, tomando las condiciones de borde necesarias en cada caso y la interacción entre las mismas.

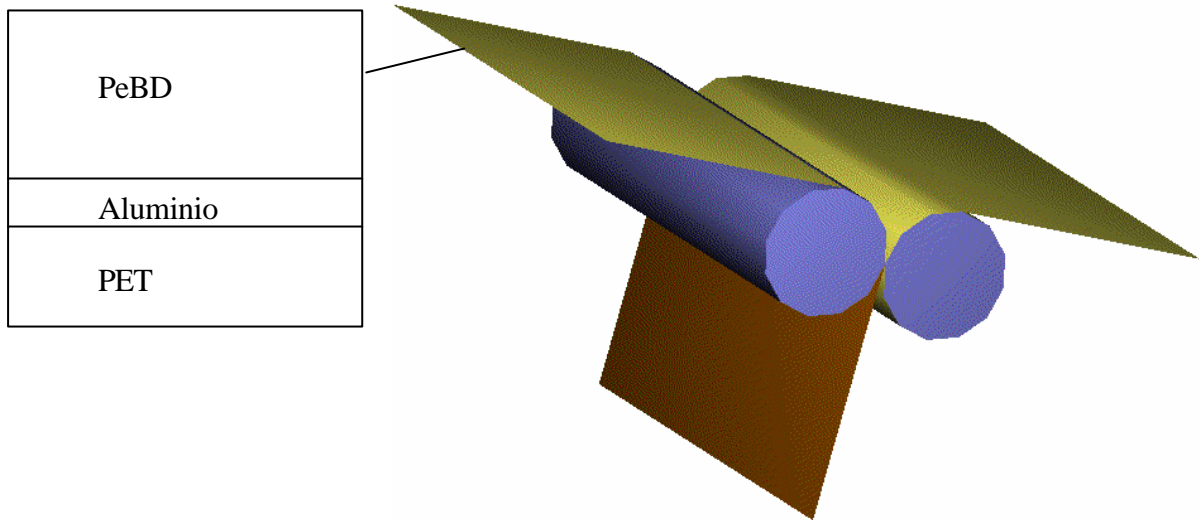


Fig. 1 Esquema del mecanismo de sellado y detalle de la conformación de la lámina.

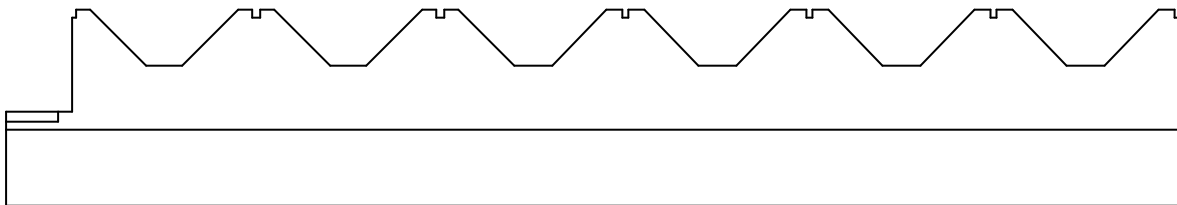


Fig. 2 Corte del cilindro que muestra la disposición de las mordazas.

1.2 Modelo de la Lámina

Consiste en un modelo tridimensional que cuenta con las siguientes aproximaciones y condiciones que se enumeran:

- Se modeló una “tira” de la película de ancho igual a la mitad de la distancia entre mordazas, debido a que el problema es simétrico.
- Se asumió un ángulo de contacto de 180° que representa una longitud de contacto igual $\pi \cdot R_{ext}$. Se impone así el valor de una de las variables del sistema.
- Se modeló como lámina plana, despreciando la curvatura que le otorgan las mordazas cuando entran en contacto.

- Se impuso, como condición de borde, la temperatura de mordaza y la del ambiente y la velocidad en la dirección tangencial (velocidad de avance del filme), que resulta igual a la velocidad angular por el radio exterior.
- Se resolvió el caso estacionario, es decir, en régimen permanente.
- Se tuvo en cuenta la disipación de calor por convección natural, radiación y convección forzada en el lado superior de la lámina.

1.3 Malla utilizada en el modelo de la Lámina

Se utilizó una malla de elementos tridimensionales de ocho nodos³ para problemas de transferencia de calor con convección. Además, debido a la posible presencia de oscilaciones en las zonas de gradientes agudos, se optó por una malla densificada sobre dichas zonas, con lo que la malla final quedó constituida por 22400 elementos y 25092 nodos, como puede apreciarse en la figura 3 y la figura 4:

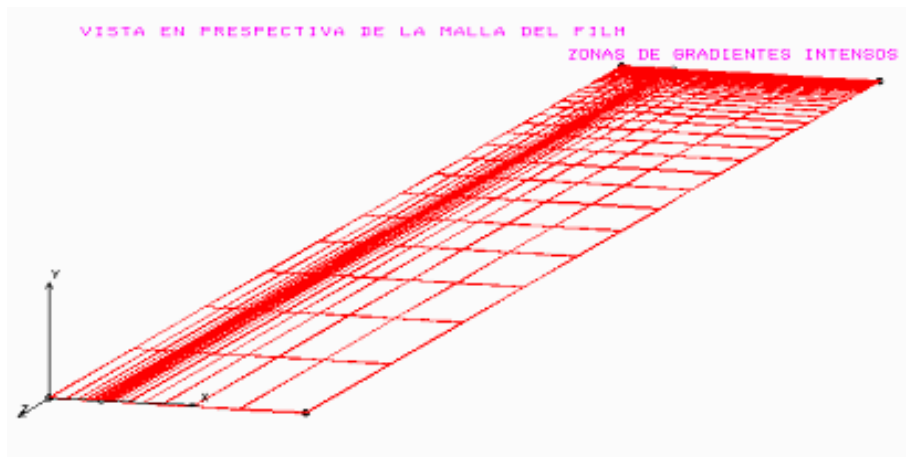


Fig. 3 Malla utilizada conformada por 22400 elementos y 25092 nodos.

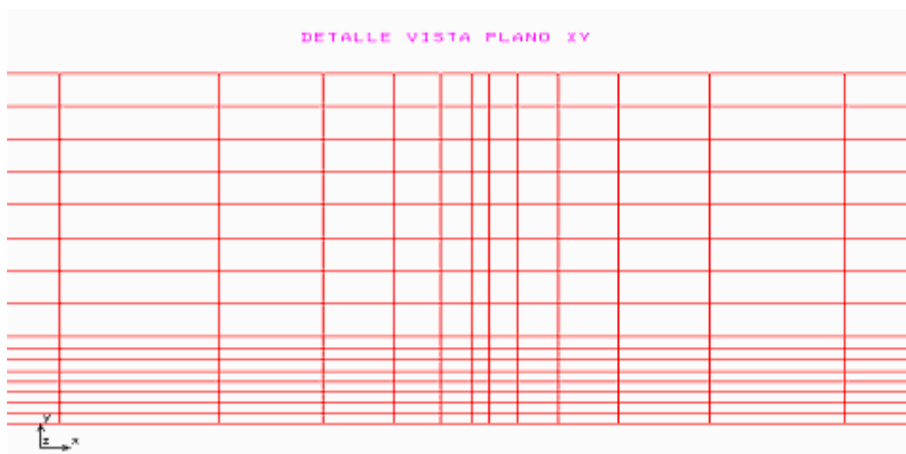


Fig. 4 Detalle de la malla en el plano X-Y (espesor).

1.4 Modelo de las Mordazas

Este submodelo es un modelo bidimensional en simetría de revolución que contiene las siguientes particularidades a fin de simplificar la resolución:

- Se modeló la mitad del “cilindro”, conteniendo 12 mordazas pues presenta simetría en la dirección radial.
- Se impuso el flujo calórico correspondiente a la potencia estimada del calefactor de acuerdo a un cálculo previo, en el que se realizó un balance térmico aproximado para conocer el orden de la potencia de calefacción. Dicho balance consistió en el cálculo del flujo calórico necesario para que la superficie exterior llegue a la temperatura deseada despreciando la forma de las mordazas.
- Se resolvió el caso estacionario.
- En cuanto a los mecanismos de transferencia de calor en la superficie se tomaron los fenómenos de convección y radiación, con la adición del calor absorbido por el calentamiento de la lámina, dato que se extrae del modelado de la misma (modelo 3D) referido anteriormente. Esto permite simplificar en gran medida la complejidad geométrica, pasando de un modelo tridimensional a un modelo bidimensional, y está justificado en que se esperan variaciones circunferenciales pequeñas de la temperatura en función de la relativa alta velocidad de rotación.

1.5 Malla utilizada en el modelo de las Mordazas

Se utilizó una malla de elementos bidimensionales lineales de 3 nodos en simetría de revolución³. La malla fue densificada adecuadamente para captar en forma precisa el campo térmico que se establece en el cilindro. La malla utilizada resultó estar constituida por 11580 elementos y 6058 nodos. En la figura 5 y la figura 6 se pueden apreciar los detalles de la densificación de la malla en los extremos del cilindro.

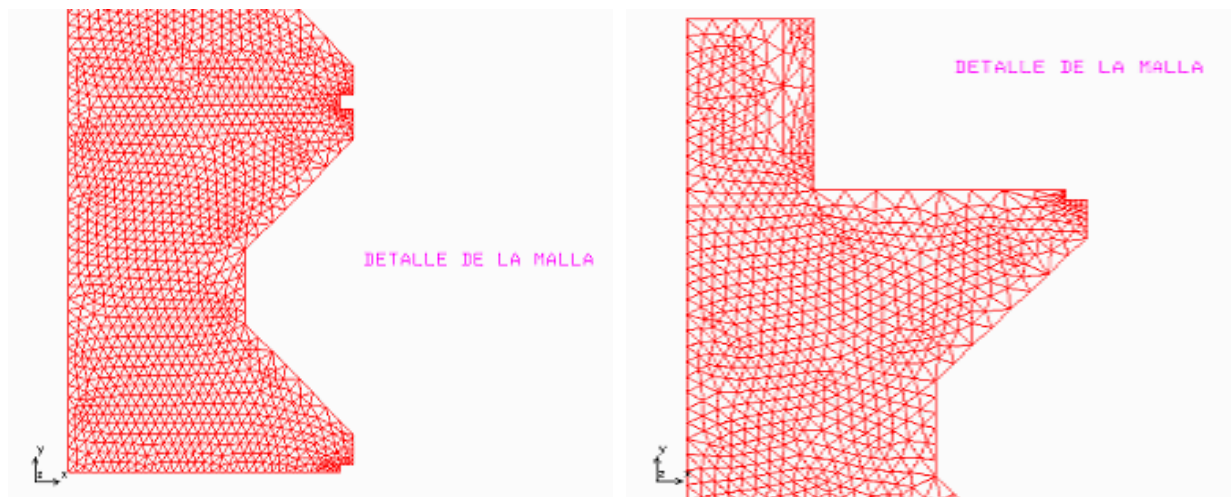


Fig. 5 Detalle de la zona inferior de las mordazas.

Fig. 6 Detalle de la zona superior de las mordazas.

Visto que el calefactor se encuentra en el interior de los cilindros se analizaron dos situaciones. En primer lugar se analizó el caso de contacto entre el calefactor y los cilindros rotantes, que representa el caso más favorable desde el punto de vista de la transferencia de calor. En segunda instancia se analizó la posibilidad de poner el calefactor fijo con un gap de aire entre calefactor y cilindros. La conclusión más relevante en este caso, es que se produce un salto térmico muy importante en el huelgo de aire considerando solo la potencia de régimen permanente, lo que se vería incrementado notablemente en la situación de calentamiento inicial.

2. RESULTADOS

2.1 Modelo de la Lámina

De este modelo se destacan los resultados mostrados en la figura 7 y la figura 8.

Con una temperatura en las mordazas de 120°C, el PEBD alcanza la misma temperatura en una longitud de **16.3 mm** desde que se pone en contacto con las mordazas, lo que equivale a un ángulo de contacto de **17.96°**, y que implica un tiempo de contacto de **60 ms**. Esto puede apreciarse en la figura 7.

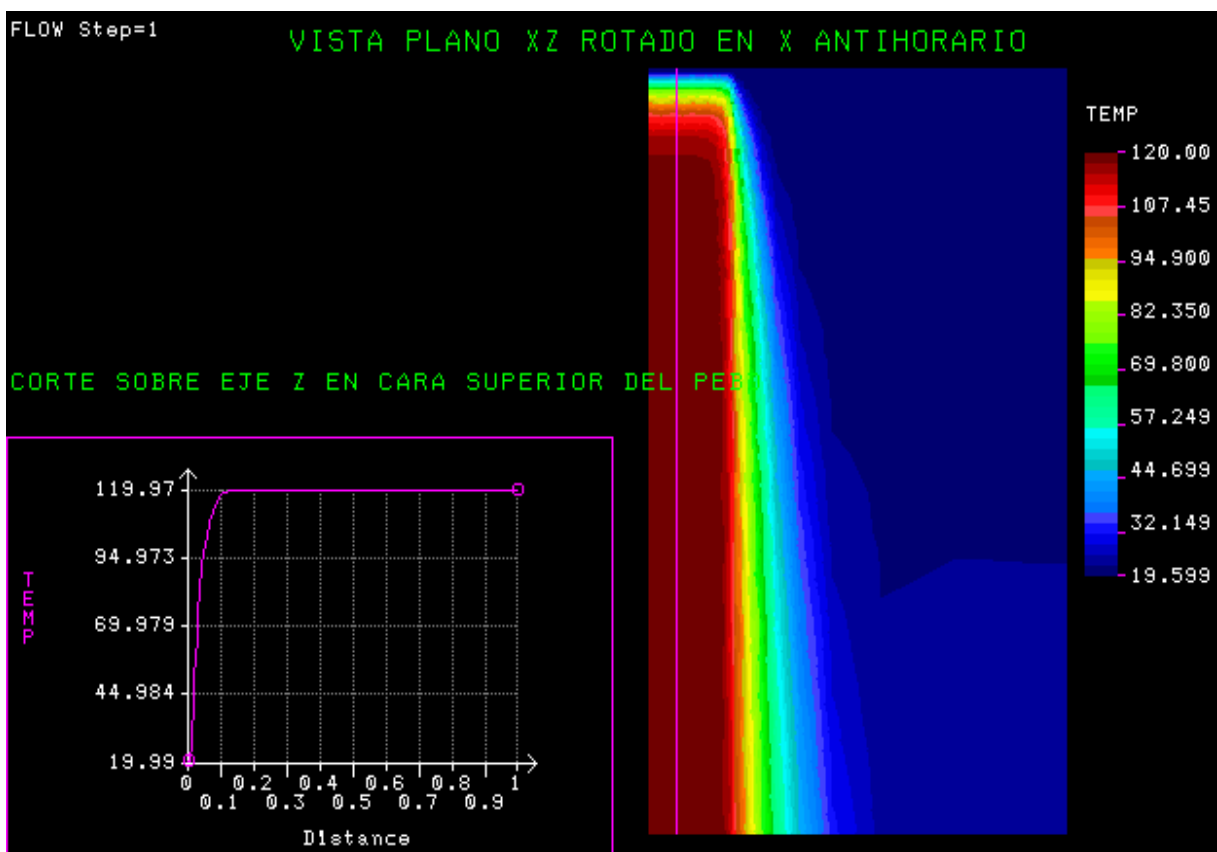


Fig. 7 Campo de temperaturas en la película sobre el plano X-Z.

Un dato que surge de este modelo, que es utilizado en el submodelo 2D, es la cantidad de calor que se lleva por arrastre convectivo el calentamiento de la lámina, pero dicho calor es conducido a través de un área menor al área transversal de la lámina (ver figura 8), más específicamente, en un ancho menor que el de dicha película, por lo que se determinó el “ancho de calentamiento”, es decir, cuánto avanza la temperatura de mordaza hacia el interior del envase (dirección transversal al movimiento de la película) y en la dirección del espesor, es decir, en la dirección paralela al eje de rotación de la mordaza. Este dato se utiliza para calcular el balance de calor por salto de la energía interna debido al calentamiento del material de la lámina entre el punto de entrada en contacto con la mordaza y el punto de sellado. Dicho calor se tuvo en cuenta en el modelo de la mordaza como una pérdida y en el cálculo aproximado para conocer el orden de la potencia de calefacción que se utilizó en el modelo de mordazas. Este ancho resultó de **8.75 mm** lo que significa que la temperatura de mordaza tiene una penetración promedio exigua hacia el interior de los envases (3.75 mm hacia el interior). La situación antes referida se ilustra en el gráfico adjunto de la figura 8 que muestra la variación de la temperatura hacia el interior del envase.

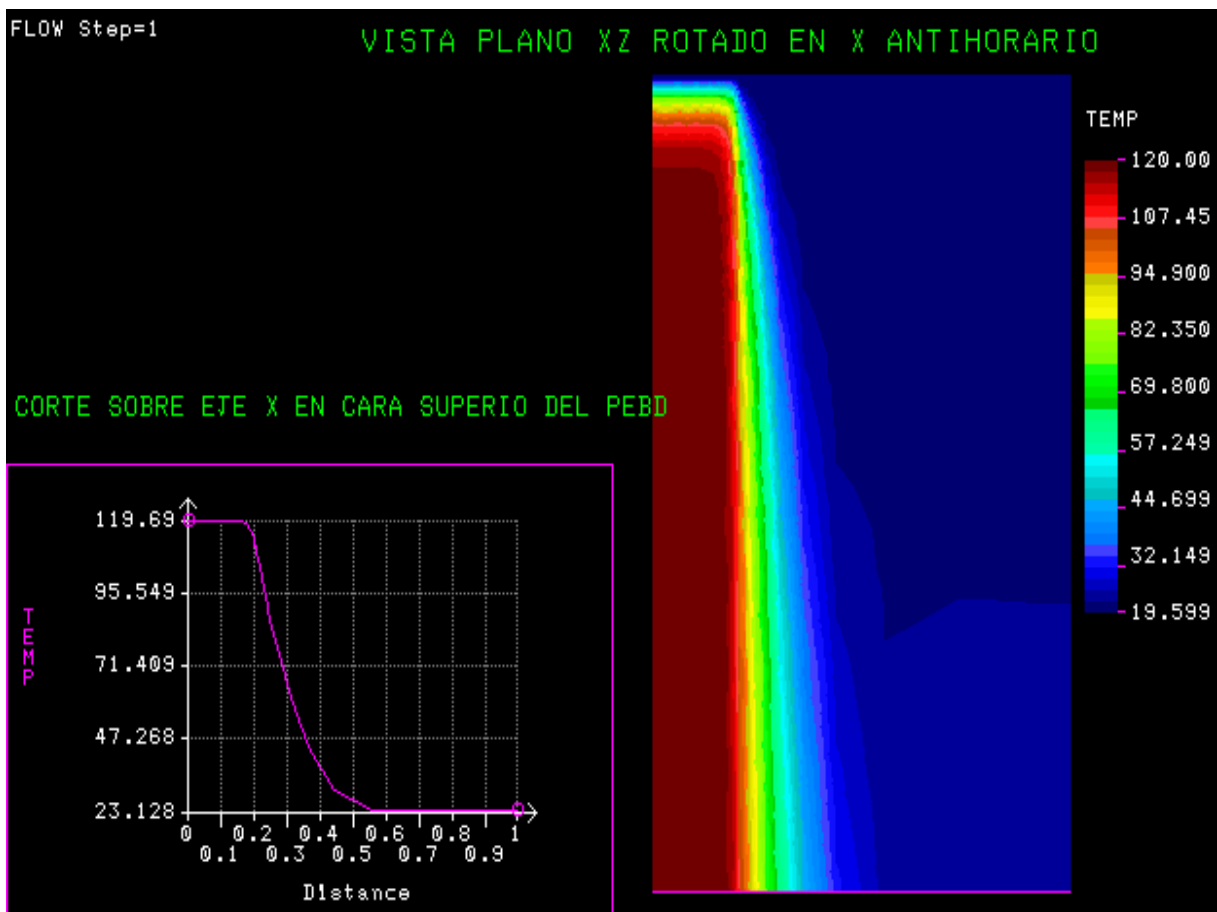


Fig. 8 Campo de temperaturas en la película.

2.2 Modelo de las Mordazas

Partiendo de que se debe alcanzar una temperatura en la superficie exterior de las mordazas de aproximadamente 120°C , contemplando las pérdidas que se enumeraron, con una longitud del calefactor levemente inferior a la longitud del cilindro y sin gap de aire entre calefactor y cilindro resultó que la potencia por unidad de área del calefactor debe ser de 2.61 W/cm^2 por demás inferior al límite de 8 W/cm^2 . Es importante resaltar que esta es la potencia en régimen, y no la requerida inicialmente para un calentamiento rápido del mecanismo, la cuál resulta sustancialmente superior y depende del tiempo de precalentamiento deseado.

Con dichos valores de potencia se obtiene una distribución de temperatura en el cilindro como se muestra en la figura 9.

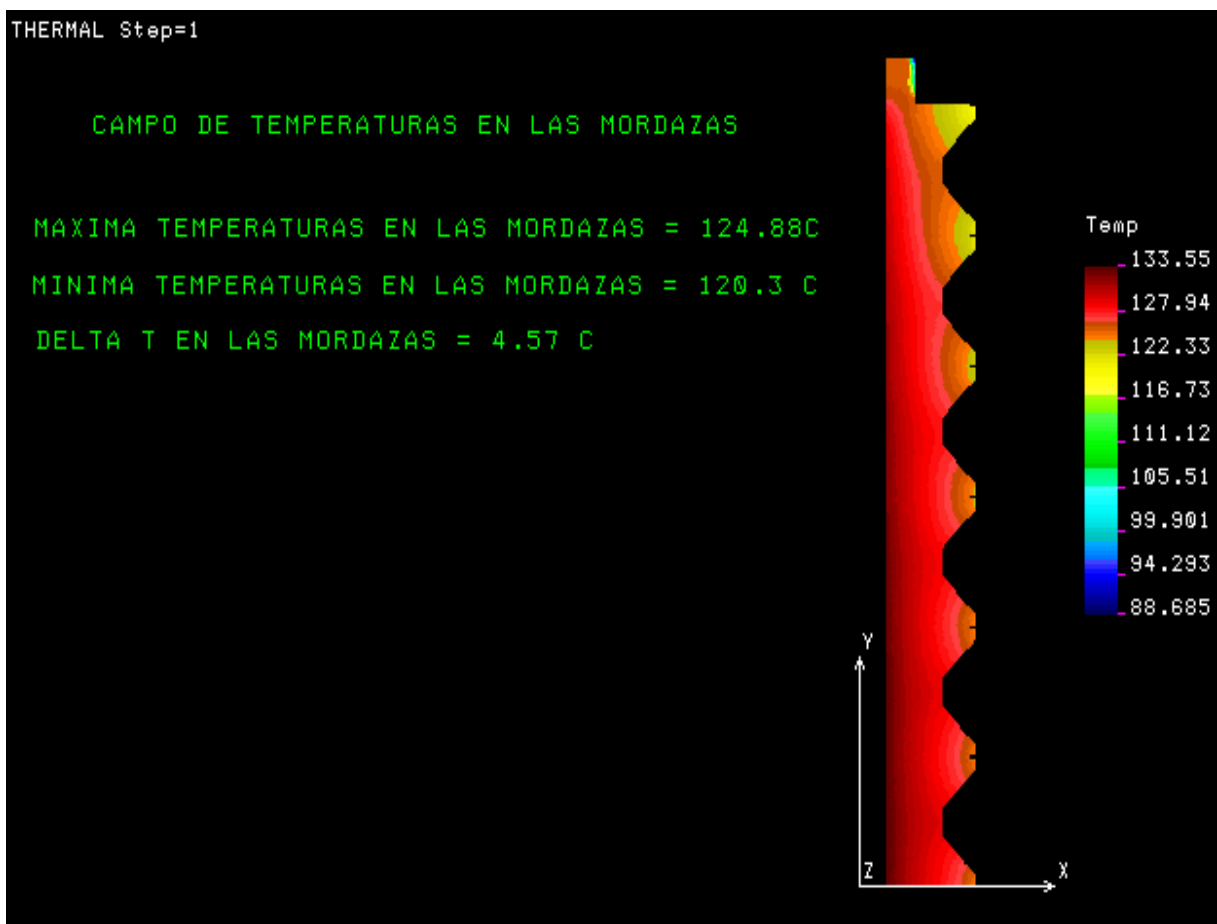


Fig. 9 Campo de temperaturas sobre las mordazas del cilindro.

Aquí, la diferencia entre los puntos mas fríos y los puntos mas calientes sobre las mordazas en la dirección axial, corresponde a 4.57°C , lo que es por demás aceptable en este proceso. Es de destacar, que el modelo no ha tenido en cuenta todos los detalles del extremo de las mordazas por no estar totalmente definidos al momento de este cálculo, pero se concluye que

se logra buena uniformidad y que, las variaciones axiales de temperatura no resultarán en una variable difícil de controlar.

3. CONCLUSIONES

En este trabajo se destaca la utilización de submodelos simplificados, lo que permitió reducir notablemente la cantidad de horas-hombre en el proyecto, así como el costo computacional que hubiera implicado realizar el modelo completo.

En cuanto a la potencia calculada, resultó estar holgadamente dentro del rango soportado por los calefactores utilizados. Además, los ángulos de contacto necesarios para la fusión fueron lo suficientemente pequeños como para no comprometer el diseño en cuanto a las velocidades de alimentación del sistema. Por último, se puede destacar que el mecanismo logra una uniformidad en el campo de temperaturas (axial) acorde a los márgenes permitidos en este proceso, lo que resultó ser una variable controlable.

4. BIBLIOGRAFÍA

- [1] W.M. Rohsenow y J.P. Hartnett, *Handbook of Heat Transfer*, McGraw-Hill, 1973.
- [2] J. Spurk, *Fluids Mechanics*, Springer, 1997.
- [3] O.C. Zienkiewicz, R.L. y Taylor (Eds.), *The Finite Element Method*, fourth ed., McGraw-Hill, Vol. I-III (1989-1991).