

CAPITULO VI

DISEÑO MATEMÁTICO.

Este capítulo es el centro del proyecto, debido a que el análisis matemático aclarará muchas de las preguntas que como diseñador se presentan, como si los diámetros de salida del pistón de la cámara de caramelo elegidos son los correctos o los diámetros de las mangueras, si el grosor de la cuchilla soportará los esfuerzos a los que será sometida, es por esto que se considera muy importante este capítulo.

6.1 Cámara de Caramelo

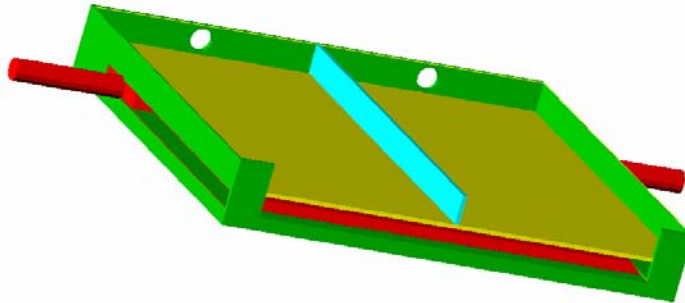


Figura 26. Cámara de Caramelo.

Como se ha mencionado con anterioridad, el objetivo de esta máquina es que rebane el waffles para ser relleno internamente, por lo que se han considerado matemáticamente las variables y constantes matemáticas importantes en el diseño y se representa un diagrama de la cámara de caramelo, planteando la ecuación de conservación de masa, primeramente, después de la ecuación de cantidad de movimiento, la ecuación de Bernoulli, para encontrar la fuerza necesaria para mover el pistón que generará el gasto del fluido que

endulzará los waffles, se tomaron viscosidades y densidades promedio y se determinaron las velocidades del fluido y del pistón para tener un análisis completo del sistema.

Donde los datos importantes a considerar son:

F= Fuerza necesaria para desplazar el pistón.

A= Área de contacto del pistón con el caramelo.

X= Distancia de recorrido del pistón.

Ff =Fuerza de Fricción ejercida por las paredes del cilindro.

Ao = Área de salida del caramelo, hacia las mangueras.

Vo = Velocidad con la que sale el caramelo.

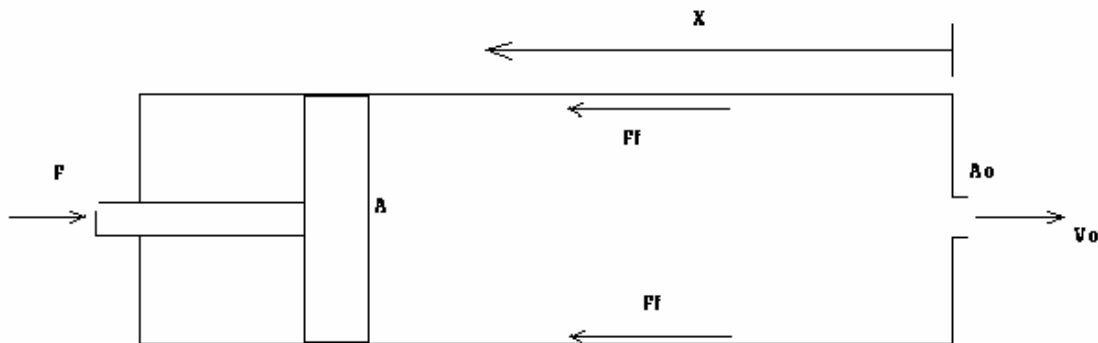


Figura 27. Diagrama del Pistón (sin mangueras).

Ecuación de Conservación de Masa: (Referencia ¹)

$$0 = \frac{\partial}{\partial t} \int \rho \partial V + \int \partial V * \partial A$$

Ecuación No. 6.1

$$0 = \frac{\partial}{\partial t} \rho(A_1 * X) + \rho V_0 A_0 \cos 0^\circ$$

$$0 = \rho A_1 \frac{\partial x}{\partial t} + \rho V_0 A_0$$

¹ Las fórmulas a continuación mostradas fueron tomadas de los apuntes de Mecánica de Fluidos, Primavera 2004, Dr. Benito Corona Vázquez.

$$V_0 = -\frac{1}{A_0} \left[A_1 * \frac{\partial x}{\partial t} \right]$$

Ecuación de Cantidad de Movimiento:

$$\cancel{F_{Bx}} + F_{Sx} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} u \rho \cancel{dV} + \int_{SC} u \rho v \cancel{dA}$$

Ecuación No. 6.2

Como no hay movimiento en "Y" ni en "Z".

$$\cancel{F_{By}} + F_{Sy} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} v \rho \cancel{dV} + \int_{SC} v \rho v \cancel{dA}$$

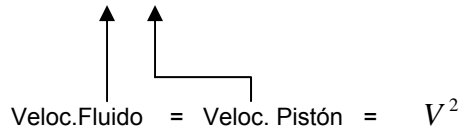
$$\cancel{F_{Bz}} + F_{Sz} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} w \rho \cancel{dV} + \int_{SC} w \rho v \cancel{dA}$$

Asumiendo Movimiento uniforme en la cámara y como el componente del peso en X=0, entonces:

$$-F + F_f = \frac{\partial}{\partial t} (u \rho A_1 x) + (-V_0) \rho V_0 A_0 \cancel{\cos 0^\circ}$$

$$-F + F_f = \rho A_1 \frac{\partial}{\partial t} (u * x) - \rho V_0^2 A_0 \Delta$$

$$-F + F_f = \rho A_1 u \left[\frac{\partial x}{\partial t} \right] - \rho V_0^2 A_0 \quad \text{Ecuación No. 6.3}$$



Como $\tau = \mu \frac{\partial v}{\partial y}$ Ecuación No. 6.4

y también $\tau = \frac{F}{A}$ Ecuación No. 6.5

$\therefore F_f = A_2 \mu \frac{\partial v}{\partial y}$ Ecuación No. 6.6

Y en el diagrama se agregan las siguientes variables:

Δh = Altura desde la salida de la manguera, hasta donde se deposita el caramelo.

V_f = Velocidad final del fluido.

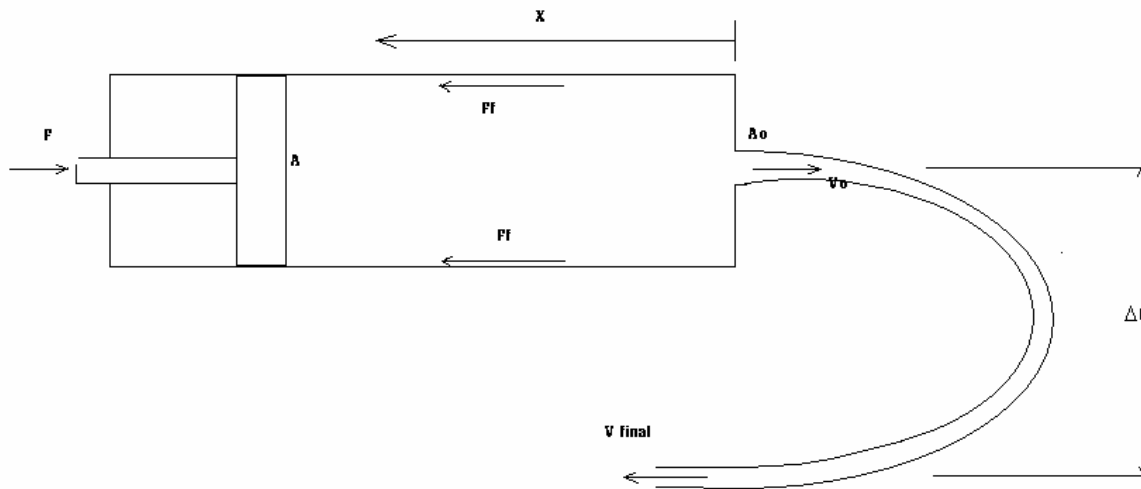


Figura 28. Diagrama del Pistón (con mangueras).

Por Bernoulli:

$$\frac{P_o}{\rho_o} + \frac{V_o}{2g} + Z_o = \frac{P_{fin}}{\gamma} + \frac{V_{fin}^2}{2g} + Z_{fin} + h_f$$

$$\frac{V_o^2}{2g} + (Z_o - Z_{fin}) - h_f = \frac{V_{fin}^2}{2g}$$

Ecuación No. 6.7

Donde:

$$h_f = f \left(\frac{L}{D} \right) \left(\frac{V_{fin}^2}{2g} \right) \quad \text{Ecuación No. 6.8}$$

$$f \left\{ \begin{array}{l} \text{Re} = \frac{\rho * V_f * D}{\mu} \quad \text{Ecuación No. 6.9} \\ \\ \frac{e}{D} \quad \text{Ecuación No. 6.10} \end{array} \right.$$

$$Q = V_{fin} * A_{manguera}$$

Ecuación No. 6.11

$$Q = \frac{m}{\rho}$$

Ecuación No. 6.12

$$\therefore V_{fin} = \frac{m}{\rho * A_{manguera}}$$

Ecuación No. 6.13

Sustituyendo:

Se consideraron los posibles fluidos que serían utilizados, los cuales consistían en: chocolate, saborizantes, mermeladas, miel, etc, por lo q se tomó un estimado de las viscosidades y las densidades de los fluidos, para obtener las fuerzas necesarias.

Largo de la manguera: L= 20 cm.

Rugosidad: e = 0.046 mm.

Diámetro de la manguera: D = 2 cm.

Flujo másico: m = 0.050 Kg/s

Densidad del fluido: $\rho = 1500 \text{ Kg/m}^3$

$$\text{Viscosidad: } \mu = 17074 \text{cp} * \frac{1 \text{poise}}{100 \text{cp}} * \frac{1 \frac{\text{g}}{\text{cm} * \text{s}}}{1 \text{poise}} * \frac{1 \text{Kg}}{1000 \text{g}} * \frac{100 \text{cm}}{1 \text{m}} = 17.074 \frac{\text{N} * \text{s}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Rugosidad Relativa} = \frac{e}{D} = \frac{0.046\text{mm}}{20\text{mm}} = 0.0023 \dots\dots\dots (\text{Diagrama de Moody})$$

$$\text{Re} = \frac{\rho v D}{\mu} = \frac{(1500\text{Kg} / \text{m}^3)(0.106\text{m/s})(0.02\text{m})}{17.074\text{Kg} / \text{m} * \text{s}} = 0.186 \dots\dots\dots \text{Flujo Laminar}$$

$$\text{En donde: } V_{fin} = \frac{m}{\rho * A_{mang.}} = \frac{0.05\text{Kg} / \text{s}}{(1500\text{Kg} / \text{m}^3)(\frac{\pi(0.02\text{m})^2}{4})} = 0.106\text{m} / \text{s}$$

$$f = \frac{\text{Re}}{64} = \frac{0.186}{64} = 0.003 \dots\dots\dots \text{Flujo Laminar}$$

$$\therefore h_f = 0.003 \left(\frac{20\text{cm}}{2\text{cm}} \right) \frac{(0.106\text{m} / \text{s})^2}{2 * 9.81\text{m} / \text{s}^2} = 1.718 \times 10^{-5} \text{m}$$

Sustituyendo en Bernoulli:

$$\frac{V_o^2}{2g} + (Z_o - Z_{fin}) - h_f = \frac{V_{fin}^2}{2g}$$

$$V_{fin} = \frac{m}{\rho * A_{manguera}}$$

$$\Delta h = Z_o - Z_{fin}$$

$$\frac{V_o^2}{2g} + (\Delta h) - h_f = \frac{\left(\frac{m}{\rho * A_{manguera}} \right)^2}{2g}$$

$$\frac{V_o^2}{2g} + (0.07m) - 1.718 \times 10^{-5} m = \frac{\left(\frac{0.05 \text{ Kg/s}}{1500 \text{ Kg/m}^3 * \left(\frac{\pi(0.02m)^2}{4} \right)} \right)^2}{2g}$$

$$V_o = -1.164 \text{ m/s}$$

Sustituyendo $V_o = -1.164 \text{ m/s}$ en Ec. de conservación de masa:

$$V_o = -\frac{1}{A_0} \left[A_1 * \frac{\partial x}{\partial t} \right]$$

Para obtener la Velocidad del Pistón: $\frac{\partial x}{\partial t}$

$$\frac{\partial x}{\partial t} = -\frac{V_o A_o}{A_1}$$

$$\frac{\partial x}{\partial t} = -\frac{(-1.164 \text{ m/s}) \left(\frac{\pi(0.02m)^2}{4} \right)}{0.0199 \text{ m}^2} = 0.0184 \text{ m/s}$$

Sustituyendo $\frac{\partial x}{\partial t} = 0.0184 \text{ m/s}$, en Ec. de cantidad de Movimiento:

$$F_{Bx} + F_{Sx} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} u \rho \partial v + \int_{SC} u \rho v \partial A$$

$$-F + F_f = \rho A_1 u \left[\frac{\partial x}{\partial t} \right] - \rho V_0^2 A_0$$

Veloc.Fluido = Veloc. Pistón = V^2

Para obtener la Fuerza necesaria: F

$$-F + F_f = \rho A_1 u \left[\frac{\partial x}{\partial t} \right] - \rho V_0^2 A_0$$

$$F = -\rho A_1 u \left[\frac{\partial x}{\partial t} \right] + \rho V_0^2 A_0 + F_f$$

$$F_f = A_2 \mu \frac{\partial v}{\partial y}$$

$$F = -(1500 \text{Kg} / \text{m}^3)(0.0199 \text{m}^2)(0.0184 \text{m} / \text{s})^2 + (1500 \text{Kg} / \text{m}^3)(1.164 \text{m} / \text{s})^2 \left(\frac{\pi(0.02 \text{m})^2}{4} \right) + (0.09321 \text{m}^2)(17.074 \text{N} * \text{s} / \text{m}^2) \frac{\partial v}{\partial y}$$

$$F = 2.2 \text{N}$$

La fuerza encontrada, necesaria para suministrar el fluido, es de 2.2 Newtons, fuerza suficiente para hacer que el fluido pueda ser desplazado y salga de la cámara de inyección. En caso de que los fluidos utilizados fueran No Newtonianos, se requerirá una fuerza aproximada, la cual nos sirve de base para utilizar estos 2.2 Newtons como fuerza mínima a aplicar en el sistema.

6.2 Espacio entre las Planchas

Para el espacio entre las planchas, simplemente se separaron 5 mm, ya que con esta distancia es suficiente el paso de las cuchilla, Debido a que el producto va a ser rebanado y llevará un relleno interno, las características del waffle cambian, el grosor aumenta en un 25%, cambia también el costo unitario del waffle, debido a este rediseño de la máquina.

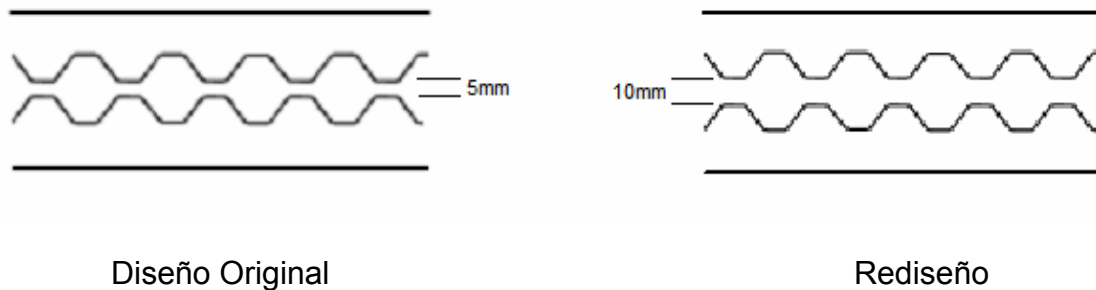


Figura 29. Espacio entre las Planchas.

6.3 Cuchilla de Rebanado

Una consideración importante es la de la elección del material, debido a que al tener contacto directo con los alimentos no pueden ser materiales tóxicos, deben ser materiales resistentes al calor, con propiedades mecánicas específicas que soporten los cambios de temperatura a los que serán sometidos y no corrosivos, ya que parte del alimento puede caer en las Planchas. Por esta razón se eligió Acero Inoxidable de cocina y se realizó en Algor el análisis del Stress y de Von Mises con el material Stainless Steel ANSI 302 cold rolled, datos necesarios para determinar los esfuerzos máximos y las deformaciones posibles y como podemos apreciar en los resultados obtenidos más adelante, es una buena elección de material, que soportará los esfuerzos a tensión y compresión.

6.3.1 Análisis de Elementos Finitos de la Cuchilla

Anteriormente se realizaron los cálculos matemáticos, encontrando las fuerzas necesarias y como el material ya ha sido elegido en base a sus propiedades mecánicas, para poder ser utilizado en sentido alimenticio, esta sección del capítulo es dedicado a probar las fuerzas de los diseños realizados en CAD, exportados a ALGOR FEA, para realizar el análisis de los esfuerzos y las deformaciones en malla de alambre de la cuchilla de rebanado.

El rediseño, como anteriormente ya se mencionó, consiste en una cuchilla que rebana a los waffles por la mitad de manera transversal de modo que sea posible depositar el relleno líquido en esa sección.

El dibujo realizado se importó a ALGOR FEA para poder realizar el análisis, considerando la fuerza de tracción manual necesaria, la fuerza de los rodillos, los cuales le brindan la dirección y el material elegido previamente, como podemos ver en las imágenes mostradas a continuación:

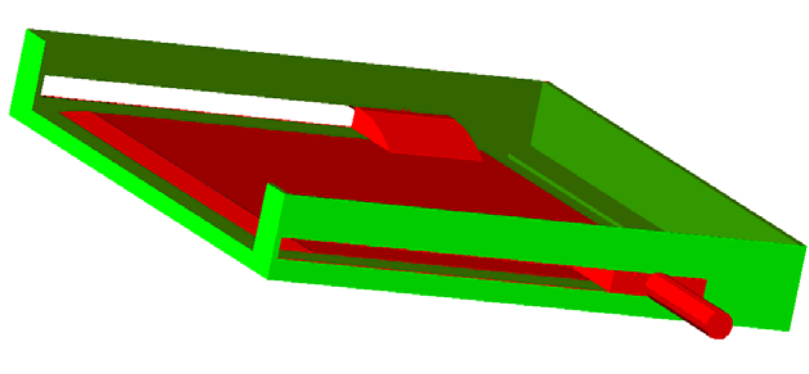


Figura 30. Sistema de Rebanado con Mangos Laterales (1).

La cuchilla consiste en una placa de Acero Inoxidable, ANSI 302 cold rooled, de 17 X 20 cm y con un espesor de 3 mm, con un par de mangos laterales, uno en cada extremo de la hoja, estos permiten la tracción frontal, y en la parte de enfrente existirá un par de rodillos, los cuales harán que la hoja se doble para así brindarle una dirección a la hoja de acero y que de esta manera se lleve a cabo el rebanado de los waffles.

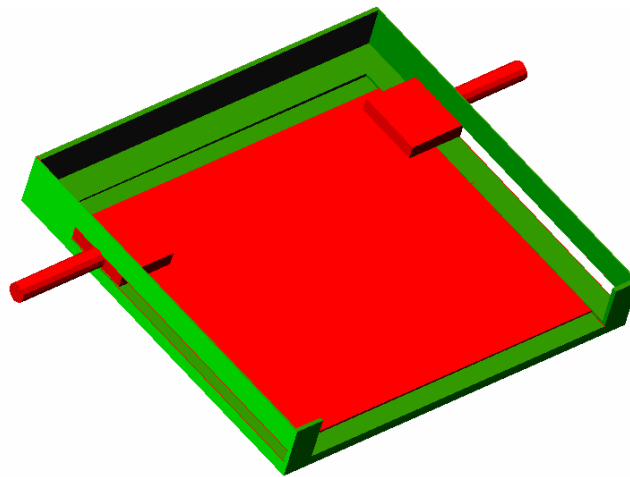


Figura 31. Sistema de Rebanado con Mangos Laterales (2).

A continuación se presenta la simulación de la cuchilla en ALGOR, en donde se presenta la cuchilla que toma las siguientes condiciones de frontera, las orillas de la placa de acero, es decir que sólo se toma en cuenta la cuchilla que se encuentra empotrada en la parte posterior, situación que se presentará en el momento en donde la hoja esté salida por completo y la fuerza aplicada en los rodillos, en los puntos en donde tendrá contacto, estas fuerzas se pueden apreciar remarcadas en los puntos iniciales de las 4 flechas azules.

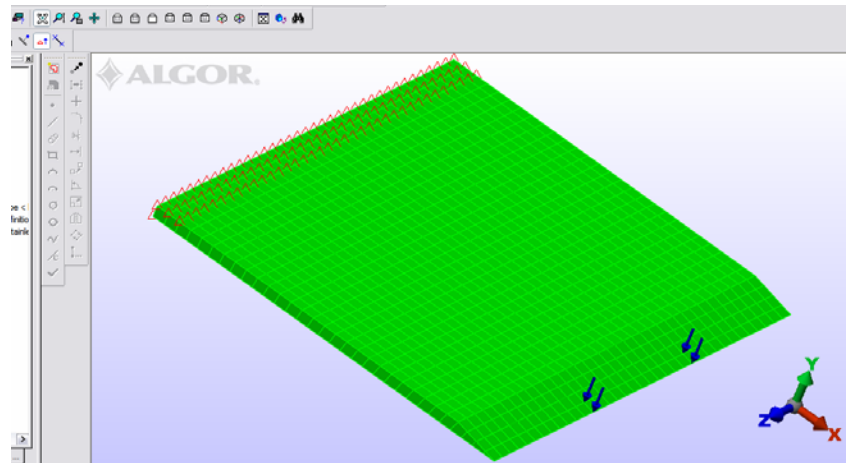


Figura 32. Simulación en ALGOR de la hoja de Acero.

Y los resultados encontrados después del análisis fueron los siguientes: El valor máximo, localizado en la zona inmediata al empotramiento, la zona de color rojo, posee un valor de $9.21 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ y el valor mínimo de $1.87 \times 10^3 \text{ KN/m}^2$, los datos arrojados nos dicen que es posible realizar este doblez, sin riesgo de sobrepasar la zona elástica, a pesar de que en el análisis se tomaron datos críticos, de 24 Newtons de fuerza total, es decir 6 Newtons en cada punta de flecha, siendo que en el análisis matemático era necesario únicamente 2.2 Newtons, de esta manea se puede ver que aún así es posible doblar la hoja sin deformar permanentemente la placa. Es posible apreciar a simple vista que los esfuerzos se concentran a la mitad de la placa, esto es debido a que la hoja se dobla en su totalidad en la zona donde se presenta la parte roja, por lo que sufre mayor cantidad de esfuerzos, a diferencia de la punta, la cual no posee ningún tipo de esfuerzos máximos, esto supone el momento en el cual la hoja de acero se encuentra totalmente introducida en la wafflera para rebanarlos por la mitad.

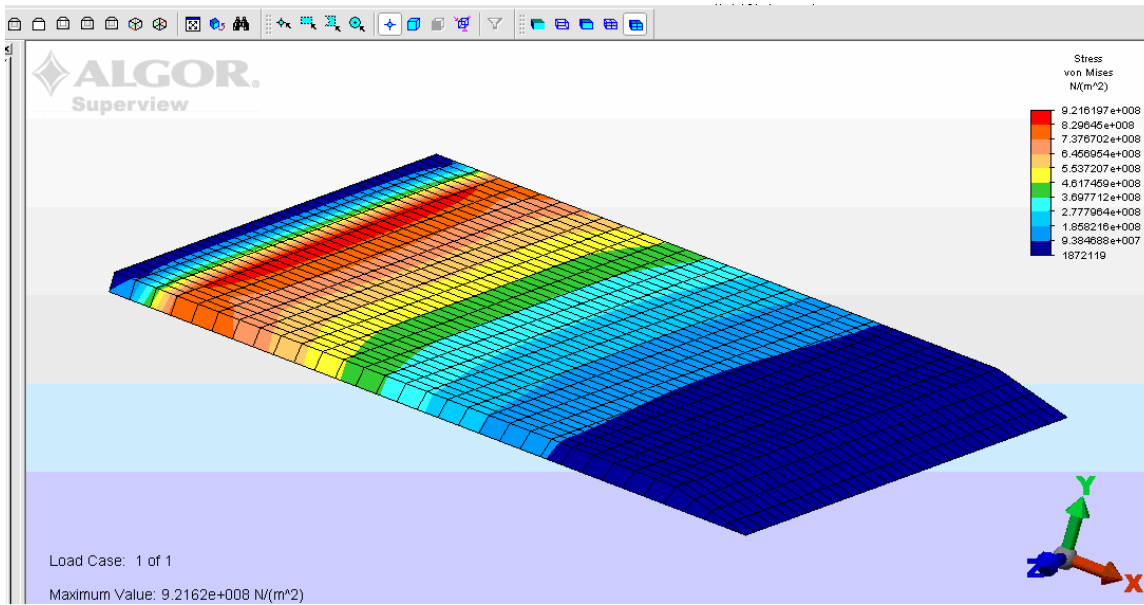


Figura 33. Diagrama de esfuerzos de la hoja de Acero.

El diagrama de desplazamiento nos permite ver que los desplazamientos se realizarán de manera longitudinal y que en el centro de la hoja de acero será en donde sufrirá el mayor desplazamiento posible a la hora de ser aplicada la fuerza.

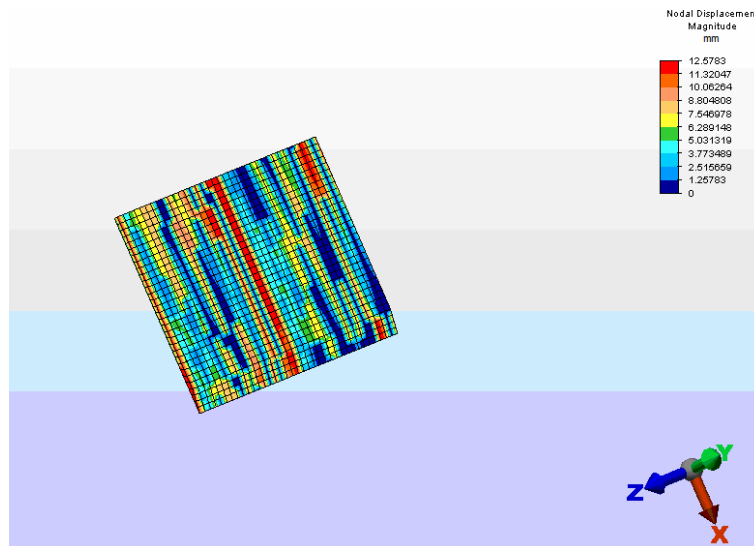


Figura 34. Simulación en ALGOR de los Desplazamientos.

Y por último el diagrama nos arroja la siguiente simulación de deformación de la hoja de acero a la hora de ser aplicadas las fuerzas:

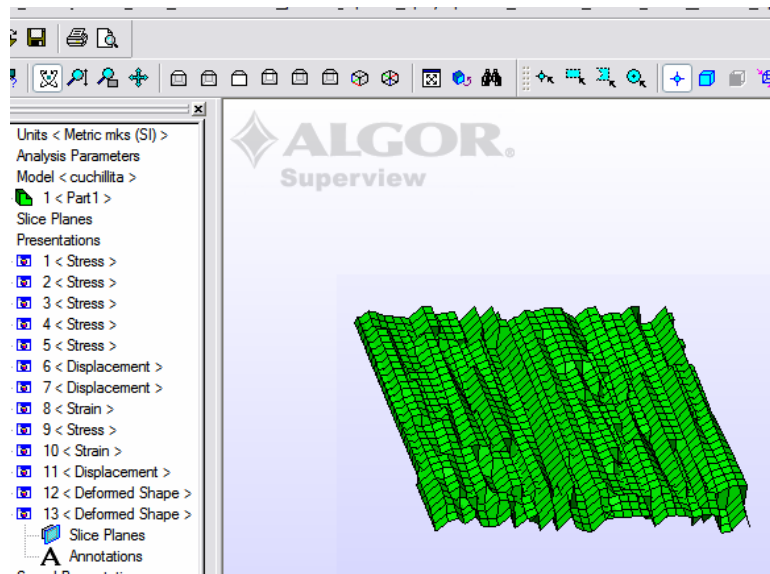


Figura 35. Simulación de Deformación (ALGOR).

Por lo que podemos concluir que los resultados encontrados después de realizar la simulación en ALGOR FEA, son satisfactorios.

6.4 Transferencia de Calor

En el análisis anterior se realizaron los cálculos necesarios para obtener las fuerzas, sin embargo al realizar este análisis, se consideró el proceso en frío, simulando que la máquina estuviera apagada, sin embargo es importante considerar las consecuencias que la temperatura acarrea en el proceso que se lleva a cabo durante la cocción, debido a que este factor varía la densidad y la viscosidad del fluido contenido, en este caso para bien, ya que al haber obtenido los valores antes mencionados, lo que tenemos son los valores requeridos máximos de las fuerzas, trabajando con el sistema apagado, por lo tanto, estos disminuirán, debido a que la intervención que tendrá el calor, será la de hacer más fácil la conducción del

fluido a través del recorrido realizado dentro del trayecto de las mangueras, así como disminuirá la fuerza requerida para accionar la palanca ergonómica, debido a que la resistencia ejercida será menor, debido al calentamiento, siempre y cuando el calor no se exceda, ya que es caso contrario los fluidos podrían evaporarse o quemarse.

A continuación se muestra el trayecto del calor, desde las resistencias hasta la cámara de fluido, para hacer más entendible el concepto que se manejará más adelante.

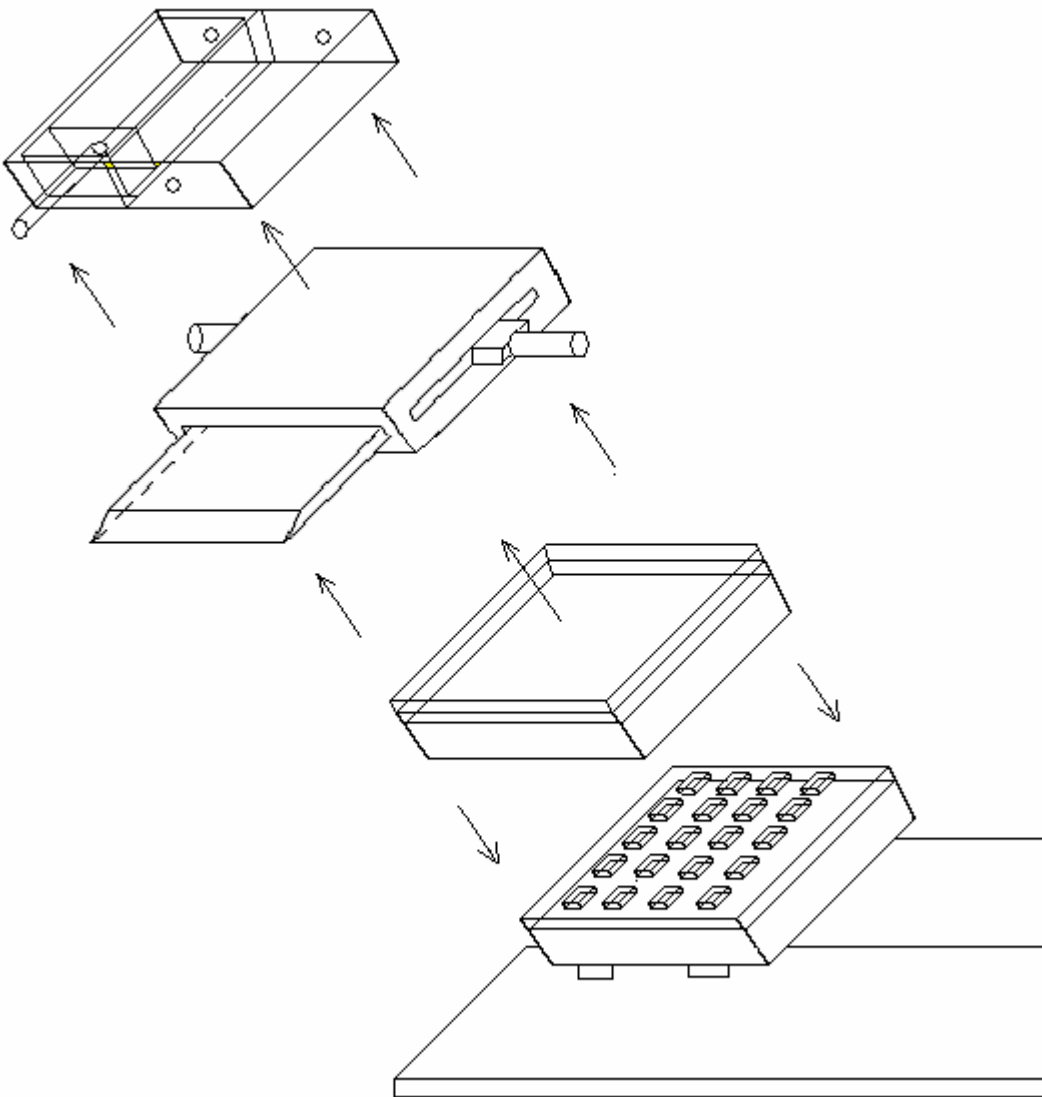


Figura 36. Transferencia de Calor a través del Sistema Armado.

Para comenzar a realizar este análisis se mencionará paso por paso el tipo de transferencia de calor que ocurre en cada sección, con el fin de observar el tipo de calentamiento presente en el fluido interno de la cámara, para ver el cambio en el comportamiento del fluido.

El primer tipo de transferencia de calor que existe en este sistema ocurre de las resistencias encendidas, hacia dos direcciones, hacia arriba, hacia el cascarón de acero inoxidable y hacia abajo hacia la plancha de Teflón, sin embargo la transferencia de calor que nos importa es la que se manifiesta en la zona de arriba, ya que la cámara de inyección de caramelo se encuentra en la parte superior. Después de pasar por radiación y colección de las resistencias eléctricas, hacia la parte superior del cascarón que envuelve al sistema de cocción de los waffles, se transmite inmediatamente a la parte inferior del cascarón de acero inoxidable que envuelve al sistema de rebanado y a su vez el calor es transferido por conducción a través de la hoja de Acero inoxidable y nuevamente por conducción a la parte superior del mismo cascarón, mientras en medio de estas partes sólidas existe un par de espacios, por el cual el calor es transferido por convección, para poder así pasar por conducción a la parte inferior del cascarón del sistema de rellenado y de ahí por convección a través del fluido, es así como teóricamente se realizará el análisis de Transferencia de Calor.

6.4.1 Conducción

El Método utilizado para calcular el Flujo de Calor, para la conducción, consiste en determinar el campo de temperaturas mediante la Ecuación General de la Conducción, realizando las simplificaciones pertinentes. Después es posible calcular el flujo de calor mediante la Ley de Fourier de la Conducción.

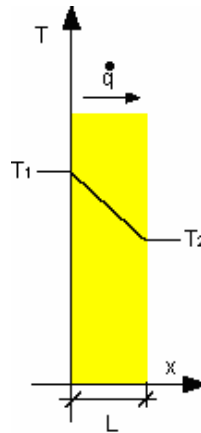


Figura 37. Diagrama de ΔT en Conducción.

Por medio de la ECUACIÓN GENERAL DE LA CONDUCCIÓN: (Referencia ²)

$$\text{lap}(T) + \frac{q_G}{k} = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{q_G}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad \text{Ecuación No. 6.14}$$

Donde:

T = campo de temperaturas, $T = f(x, y, z, t)$

q_G = calor generado por las fuentes internas

k = conductividad térmica

Por Ley de Fourier:

² Las fórmulas aquí mostradas fueron tomadas de los apuntes de Transferencia de Calor, Primavera 2005, Dr. Bullent.

$$\vec{q} = -k \cdot \overrightarrow{\text{grad } T}$$

Ecuación No. 6.15

Donde:

T = campo de temperaturas, $T = f(x, y, z)$ (la temperatura no varía en el tiempo)

k = conductividad térmica

Y como en este documento sólo se considera la transferencia de calor unidireccional, la Ley de Fourier se reduce a:

$$\dot{Q} = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \Rightarrow \dot{q} = -k \cdot \frac{dT}{dx}$$

Donde:

T = campo de temperaturas, $T = f(x)$ en régimen permanente.

A = área de la superficie de transferencia

6.4.2 Convección

El método de cálculo de la potencia térmica utilizado para la convección consiste en analizar las condiciones en la que tiene lugar la convección (geometría de la superficie, convección natural o forzada, tipo de flujo) para seleccionar la correlación adecuada. Una vez obtenida la correlación adecuada y los datos conocidos se calcula el número de Nusselt, e inmediatamente después se calcula el coeficiente de película: $h = (Nu k) / L$ y la potencia térmica mediante la Ley de enfriamiento de Newton: $Q = h A (T_f - T_s)$. (Referencia

³⁾

³ La fórmula mencionada en el texto fue tomada de los apuntes de Transferencia de Calor, Primavera 2005, Dr. Bullent.

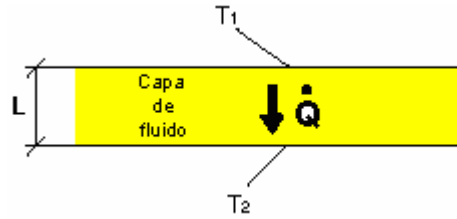


Figura 38. Diagrama de ΔT en Convección.

$$\frac{\dot{q}_{\text{conv}}}{\dot{q}_{\text{cond}}} = \frac{h \Delta T}{k \frac{\Delta T}{L}} = \frac{h L}{k} = Nu \quad Nu = \frac{h Lc}{k} \quad \text{Ecuación No. 6.16}$$

Donde:

Lc es la longitud característica.

6.4.3 Radiación

El método de solución para obtener la cantidad de Transferencia de Calor por medio de la Radiación, consiste en involucrar la constante de Stefan Boltzmann, el Área de la superficie emisora, así como la o las temperaturas involucradas en el intercambio de calor. A continuación se muestran las fórmulas ocupadas para la radiación. (Referencia ⁴)

$$\dot{Q}_{\text{emitida}} = \epsilon \sigma A_s T_s^4 \quad (\text{W}) \quad \text{Ecuación No. 6.17}$$

$\sigma = 5.67 \text{ E-}8 \text{ W} / (\text{m}^2 \text{ K}^4)$ constante de Stefan-Boltzmann.

A_s = área de la superficie emisora.

T_s es la temperatura de la superficie emisora. (K)

⁴ La fórmula y los datos mostrados fueron tomados de los apuntes de Transferencia de Calor, Primavera 2005, Dr. Bullent.

ϵ = emisibilidad, a continuación se muestra su origen

$$\epsilon = \frac{\text{radiación emitida por una superficie a una determinada temperatura}}{\text{radiación emitida por la misma superficie a la misma temperatura si fuera un cuerpo negro}}$$

Y es así como damos pie a comenzar con los cálculos. Aquí podemos ver que se utilizó la fórmula de la transferencia de calor de la radiación, para poder obtener la transferencia de calor de la convección, la cual utilizaremos más adelante. El método de solución no fue exactamente en este orden, por lo que quizá en algún momento haya datos que se obtuvieron más adelante.

$$Q_{rad} = \epsilon \sigma A (T_s^4 - T_w^4)$$

$$\sigma = 5.669 \times 10^{-8} \text{ W / m}^2 \text{ K}^4$$

$$Q_{rad} = (0.80)(5.669 \times 10^{-8} \text{ W / m}^2 \text{ K}^4)(0.0357 \text{ m}^2) [(300^\circ\text{C} + 273.15)^4 - (20^\circ\text{C} + 273.15)^4]$$

$$Q_{rad} = 172.8 \text{ W}$$

$$Q_{TOTAL} = Q_{rad} + Q_{conv}$$

$$Q_{conv} = 300 \text{ W} - 172.8 \text{ W} = 127.2 \text{ W}$$

Se colocó la manera de solucionar este concepto de manera completa, es decir analizar sección por sección sin embargo, en este caso no es necesario obtener los datos de la Transferencia de calor en cada uno de los puntos donde la sección cambia, ya que nuestro interés se basa en saber la temperatura final del fluido a la hora de estar en funcionamiento la máquina, por lo que se decidió manejar la parte del cálculo de la conducción y la convección como resistencias.

Utilizado sumatoria de Resistencias, la cual se utiliza cuando existen una o más paredes entre 2 convecciones y no se necesitan los cambios entre estas secciones.

$$Q = Q_{conv} = Q = Q_{cond}$$

$$Q = h_1 A (T_{\infty 1} - T_1) = \frac{K}{L} (A) (T_1 - T_2) = h_2 A (T_2 - T_{\infty 2}) \quad \text{Ecuación No. 6.18}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{Q}{h_1 A} = (T_{\infty 1} - T_1) \\ \frac{QL}{KA} = (T_1 - T_2) \\ \frac{Q}{h_2 A} = (T_2 - T_{\infty 2}) \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{Ecuación No. 6.19} \\ \text{Ecuación No. 6.20} \\ \text{Ecuación No. 6.21} \end{array}$$

$$T_{\infty 1} - T_{\infty 2} = \frac{Q}{A} \left(\frac{1}{h_1} + \frac{L}{K} + \frac{1}{h_2} \right) \quad \text{Ecuación No. 6.22}$$

$$\frac{Q}{A} = \frac{\Delta T}{\Sigma R} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{\frac{1}{h_1} + \frac{L}{K} + \frac{1}{h_2}} \quad \text{Ecuación No. 6.23}$$

En caso de resistencias en Conducción:

$$R_{cond} = \frac{L}{K} = \frac{m}{W / m^{\circ}C} = \frac{m^2 \circ C}{W}$$

En caso de resistencias en Convección:

$$R_{conv} = \frac{1}{h} = \frac{1}{W/m^2 \cdot ^\circ C} = \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$$

Datos del Fluido:

Pr=6400

Cp=1909 J/Kg*K

Re=0.186=laminar

v = 0.106 m/s

$\mu = 17.074 \text{ Kg/m} \cdot \text{s}$

$\rho = 1500 \text{ Kg/m}^3$

Datos de la Máquina:

$T_o = 300^\circ \text{C}$

$T_\infty = 20^\circ \text{C}$

ha= 10 W/m²°C (aire)

Kss= 54 W/m°C (acero)

L=20.1cm

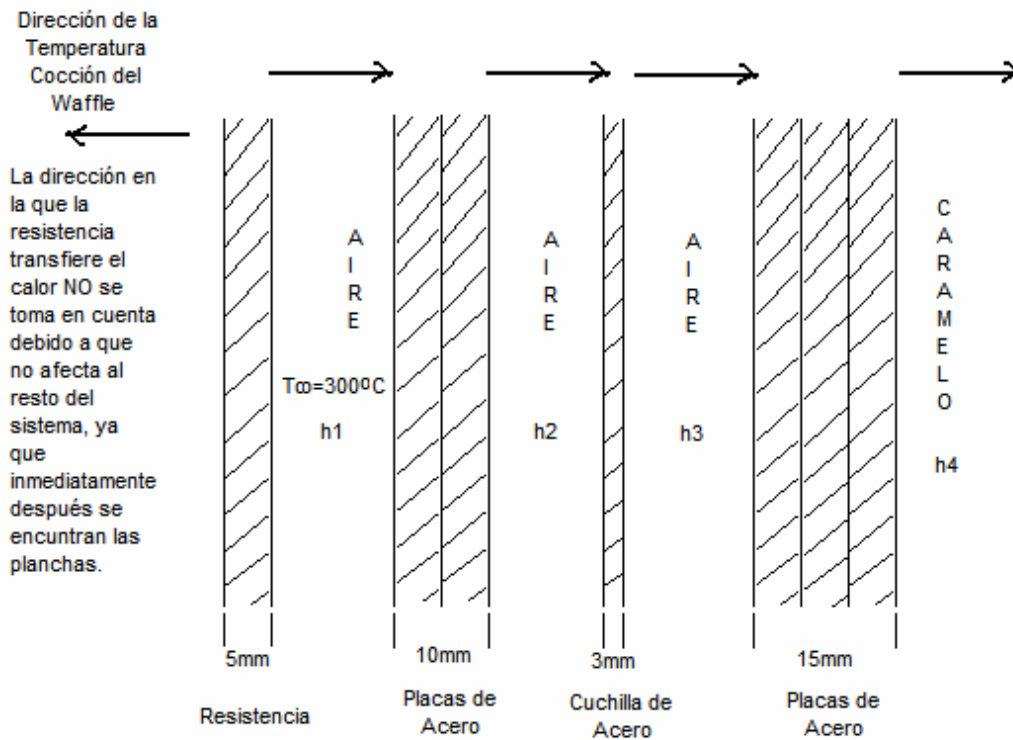


Figura No. 39. Transferencia de Calor del Sistema Ensamblado (Vista Transversal).

Por sumatoria de Resistencias:

$$\frac{Q}{A} = \frac{T_o - T_f}{\frac{1}{h_1} + \frac{L_1}{K_1} + \frac{1}{h_2} + \frac{L_2}{K_2} + \frac{1}{h_3} + \frac{L_3}{K_3} + \frac{1}{h_4}}$$

$$K_1 = K_2 = K_3 = K_{ss} \quad h_1 = h_2 = h_3 = h_{aire}$$

$$\frac{Q}{A} = \frac{T_o - T_f}{\frac{1}{h_a} + \frac{L_1}{K_{ss}} + \frac{1}{h_a} + \frac{L_2}{K_{ss}} + \frac{1}{h_a} + \frac{L_3}{K_{ss}} + \frac{1}{h_c}} \quad \frac{Q}{A} = \frac{T_o - T_f}{\frac{3}{h_a} + \frac{L_1 + L_2 + L_3}{K_{ss}} + \frac{1}{h_c}}$$

$$\frac{127.2W}{m^2} = \frac{300^\circ C - T_f}{\frac{3}{10W/m^2 \cdot ^\circ C} + \frac{(10mm + 3mm + 15mm)}{54W/m \cdot ^\circ C} + \frac{1}{534632W/m^2 \cdot ^\circ C}}$$

$$N_u d = 3.66 + \frac{0.0668 \left(\frac{d}{l} \right) Re d * Pr}{1 + 0.4 \left[\left(\frac{0.17m}{0.20m} \right) (0.186) (6400) \right]^{2/3}} \quad N_u d = 5.29599$$

$$N_u d = \frac{hd * Di}{K} \quad hd = \frac{(5.9)(17181)}{0.17m} = 534,632W/m^2 \cdot ^\circ C$$

$$T_f = 202^\circ C$$

La máquina a re-diseñar poseía un tipo de aislante, que consistía en unas fibras, pero por no tener acceso actualmente a la máquina se desconoce el tipo, por lo que realizaron los cálculos como si no tuviera ningún tipo de aislante, después de realizar los cálculos se

observó que la temperatura del fluido es sumamente alto, lo cual muy probablemente provocaría que el fluido comenzara a evaporar en el caso de ser líquido o a quemarse en el caso de ser viscoso, por lo que se volvieron a realizar los cálculos para proponer poner un aislante antes de la cámara de inyección.

Para el Diseño Propuesto:

L=0.01 m
k=0.0128 W/m*°C

Se propone poner un aislante de un centímetro de espesor, que cubra la placa internamente para evitar la alta transmisión de calor, la máquina original posee unas fibras para disipar el calor, que sirven de aislante, sin embargo por carecer de acceso a la máquina los cálculos se realizaron como si no existiera pensando inicialmente que pudiera no ser necesaria, sin embargo, al no ser así se realizaron los cálculos para obtener como resultado una temperatura satisfactoria, de 35°C, suponiendo la presencia de un aislante que posea una baja capacidad de transferencia de calor, de 0.0128 W/m°C, este aislante puede ser una fibra, ya que estos son muy buenos aislantes y llenan los requisitos requeridos, a continuación se muestran los cálculos nuevos y ya no se muestran los datos que ya se habían obtenido en las operaciones anteriores, estos se omitieron para no hacer repetitivo el texto.

$$\frac{127.2W}{m^2} = \frac{300^{\circ}C - T_f}{\frac{3}{10W/m^2^{\circ}C} + \frac{(10mm + 3mm + 15mm)}{54W/m^{\circ}C} + \frac{1}{534632W/m^2^{\circ}C} + \frac{0.005m}{0.0056W/m^{\circ}C}} = 35^{\circ}C$$

$$T_f = 35^{\circ}C$$