



**DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR
TECNOLOGÍA.
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ.**



DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECANICA.

REPORTE DE RESIDENCIA:

**DISEÑO DE SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE UN
MOLDE DE ACERO INOXIDABLE MEDIANTE LA
ADAPTACIÓN DE CONVECCIÓN FORZADA CON UN
EFECTO TERMOELÉCTRICO PARA AUMENTAR LA
EFICIENCIA DE ENERGÍA EN EL PROCESO DE
ROTOMOLDEO.**

RESIDENTE:

MUÑUAS GÓMEZ MANUEL ALEJANDRO.

ASESOR INTERNO:

ING. FERNANDO ALFONSO MAY ARRIOJA.

ASESOR EXTERNO:

DR. NICOLAS JUAREZ RODRIGUEZ.

TUXTLA GUTIERREZ, CHIS. DICIEMBRE 2015.

Introducción.

En el presente proyecto se encontraran descripciones de los sistemas de enfriamiento más empleados actualmente en el área de rotomoldeo, estos sistemas pueden utilizar un líquido o un gas como fluido de trabajo y se explicará su funcionamiento en la industria. Un sistema de enfriamiento puede definirse como un sistema constituido de partes y refrigerante que trabajan juntos para controlar la temperatura de operación de una máquina y obtener un óptimo desempeño.

Sistema de enfriamiento mediante un líquido, Como su nombre lo indica, este método usa un líquido, que casi siempre es agua, como agente para enfriar cada pieza del sistema. La mayor ventaja del enfriamiento líquido es que extrae el calor de cada pieza en específico, cosa que no se puede hacer con el tradicional a base de aire; pero por otro lado, es mucho más complicado de armar porque se usan bloques de agua, un radiador, tubos y bombas. Por estas razones el costo del sistema se eleva significativamente.

El sistema de enfriamiento por aire, utiliza un ventilador situado sobre el disipador que extrae el calor generado y transferirá al ambiente. El disipador consta de conductos con alta conductividad térmica. Este sistema de enfriamiento se clasifica en sistemas de convección natural y sistemas de convección forzada (Yarke, 2015).

Nosotros nos enfocaremos en un sistema que emplee aire por convección forzada. La característica principal del sistema que se diseñará es su funcionamiento conjunto con módulos o celdas Peltier que hará que la temperatura descienda y con la aplicación de convección forzada mediante ventiladores industriales de alto flujo se trasladara el fluido de trabajo hacia en objeto que se requiere enfriar, minimizando los tiempo y costos de producción y ahorro de energía.

Para analizar esta problemática es necesario analizar alguna de sus causas, una de ellas es la tardanza en los tiempos de producción; se entiende por tardanza el empleo de una cantidad de tiempo mayor que el necesario o normal en la

realización de una acción (The free dictionary, 2015). Por ello la necesidad de aplicar conocimientos de ingeniería para mejorar la eficiencia en el procesos de rotomoldeo ya que es la principal actividad que se realiza dentro de la empresa donde se elabora este proyecto.

La investigación de esta problemática se realizó con el interés tanto académico como de conocer más acerca del proceso de rotomoldeo y las diferentes variables integradas para la elaboración de productos a base de polímeros empleando rotomoldeo.

En el marco teórico se presentaran los diferentes tipos de módulos Peltier y sus graficas de funcionamiento, se explicaran los sistemas de enfriamiento existentes empleados en la industria del rotomoldeo, consecutivamente nos encontraremos con la metodología empleada para la realización del proyecto esta, consta de un cronograma previamente realizado donde se describe cada una de las actividades a realizar durante el desarrollo del proyecto.

Algunos de los recursos que se emplearan el en transcurso de la adquisición de datos son; la cámara termografía, termómetros infrarrojos, softwares de análisis térmicos (solidworks, Comsol Multiphysics, Ansys); Con ayuda de estos recursos podemos generar los resultados deseados mediante la simulación y generar gráficas para verificar si el sistema es eficiente tal y como esperamos.

En la última parte del proyecto se encontrara la conclusión y recomendación dependiendo de los resultados obtenidos. Esto definirá si es recomendable para la empresa emplear el nuevo diseño del sistema o seguir innovando de diferente manera para obtener la eficiencia requerida.

INDICE.

CAPITULO I.....	1
Caracterización del área en que participo.....	1
1.1 Datos generales.....	1
1.1.1 Rotoinnovación SA de CV.	1
1.1.2 Ubicación de la empresa.	1
1.1.3 Giro de la empresa.	2
1.2 Organigrama de la empresa.	3
1.3 Misión, visión y políticas.....	3
1.3.1 Misión	3
1.3.2 Visión	4
1.3.3 Políticas.	4
1.4 Reconocimientos.....	5
CAPITULO II	6
Planteamiento del problema o área de oportunidad	6
2-1 Descripción de la problemática.	6
2.2 Caracterización del área en que realizo el proyecto.	7
2.3 Antecedentes.	8
2.4 Sistemas de refrigeración.	8
2.4.1 Refrigeración por compresión.....	9
2.4.2 Refrigeración por absorción.....	10
2.4.3 Sistemas de refrigeración por compresión de múltiples etapas.....	11
2.4.4 Refrigeración por efecto Peltier	12
2.5 OBJETIVOS.....	14
2.5.1 Objetivo general.....	14
2.5.2 Objetivos específicos.	14
2.6- Justificación.	14
CAPITULO III.....	16
Fundamentos teoricos.....	16
3.1 Principios Termoeléctricos.	16
3.1.1 Efecto joule.	16

3.1.2 Efecto Seebeck.....	17
3.1.3 Efecto Peltier	18
3.1.4 Efecto Thompson.....	19
3.2 Mecanismos de transferencia de calor.....	20
3.2.1 Conducción.....	21
3.2.2 Radiación.....	22
3.2.3 Convección	22
3.2.4 Convección natural	23
3.2.5 Convección forzada	24
3.3 Descripción general de una célula termoeléctrica.....	25
3.4 Funcionamiento de una celda termoeléctrica.....	26
3.5 Balance energético de un módulo Peltier.....	27
CAPITULO IV:	29
Desarrollo del proyecto	29
4.1 cálculo de la carga térmica.	29
4.2 características generales de la máquina de rotomoldeo	32
4.3 Ventilador industrial seleccionado.....	33
4.4 Selección de la celda Peltier adecuada.	34
4.5 Selección de los disipadores.....	35
4.6 ventilación.	36
4.7 Prototipo ensamblado.	38
4.8 Análisis 1: Distribución del fluido de trabajo sobre el molde.	39
4.9 Análisis 2: Distribución del fluido de trabajo sobre el molde.	42
CAPITULO V:	46
Análisis de resultados.	46
5.1 Resultados Simulación térmica 1	46
5.2 Resultados Simulación térmica 2.....	50
5.3 Conclusión	54
Referencias	55

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ilustración 1: Ubicación demográfica de rotoinnovación sa de cv	1
ilustración 2: Organigrama de rotoinnovación.	3
ilustración 3: Certificado de calidad iso 9001:2008	5
ilustración 4: Maquina de rotomoldeo a flama abierta. (rotoinnovación sa de cv, 2015).....	6
ilustración 5: Distribución de las áreas de trabajo en rotoinnovación sa de cv.....	7
ilustración 6: Ciclo de refrigeración por compresión (yunes a cengel, 2012)	9
ilustración 7: Ciclo de refrigeración por absorción.....	11
ilustración 8: Ciclo de refrigeración por múltiples etapas. (yunes a cengel, 2012)	12
ilustración 9 : Esquema de refrigeración peltier.....	13
ilustración 10: Demostración del efecto seebeck	17
ilustración 11: Esquema eléctrico del efecto seebeck	18
ilustración 12: Comportamiento eléctrico del efecto peltier.	19
ilustración 13: Comportamiento del efecto thomson en un conductor	20
ilustración 14: Conducción de calor a través de una pared plana grande de espesor Δx y área a	21
ilustración 15: Mecanismo de transferencia de calor por radiación.	22
ilustración 16: Convección por corriente de aire natural.....	24
ilustración 17 : Convección forzada.....	24
ilustración 18: Estructura de un módulo peltier.....	25
ilustración 19: Analogía de un sistema de refrigeración mecánico y un sistema termoeléctrico.	27
ilustración 20 : Balance energético de una celda peltier	27
ilustración 21 : Vista de perfil de la máquina de rotomoldeo	32
ilustración 22: Ventiladores seleccionados (extractor de aire., 2015).....	33
ilustración 23: Celda peltier tec1-12706	35
ilustración 24: Disipador de aluminio h5219.....	36
ilustración 25: Ventilador ns-pcf1250 (insignia, 2015).....	37
ilustración 26: Vista isométrica del prototipo propuesto.	38
ilustración 27: Geometría del tinaco, y ubicación de los ventiladores	40
ilustración 28: Representación del medio ambiente	41
ilustración 29: Comportamiento del fluido (aire), líneas de dirección de flujo con flechas.	41
ilustración 30: Curvas de presiones del fluido de trabajo.	42
ilustración 31: Ubicación de los ventiladores, en la geometría planteada.	43
ilustración 32: Representación del medio ambiente, rodeando al molde.	44
ilustración 35: Magnitud de velocidades (m/s) y distribución de flujo del trabajo...	44

ilustración 36: Curvas de nivel de presión de aire (pa).....	45
ilustración 37: Selección de caras en el molde, para aplicar fluido de convección	47
ilustración 38: Molde con malla fina, para simular y apreciar mejor los resultados de temperatura.	47
ilustración 39: Resultados obtenidos de la simulación térmica. con barra de colores para apreciar la distribución de diferentes temperaturas obtenidas.....	48
ilustración 40: Selección de caras en el molde, para aplicar aire por convección forzada.....	51
ilustración 41: Mallado fino en el molde.	51
ilustración 42: Presentación de resultados, con barra de colores para las diferentes temperaturas generadas.....	52

ÍNDICE DE TABLAS.

tabla 1: Propiedades del aire a 130°C, (yunus a.cengel, 2011)	30
tabla 2 : Características una la máquina de rotomoldeo en la cual se empleara el prototipo diseñado	32
tabla 3: Características físicas del molde.	33
tabla 4: Especificaciones técnicas de los ventiladores seleccionados.	33
tabla 5: Proveedores de módulos termoelectricos.....	34
tabla 6: Especificaciones técnicas de la celda peltier (tec1-12706).....	34
tabla 7: Características físicas del disipador h5219	35
tabla 8: Especificaciones técnicas del ventilador.....	36
tabla 9: Lista de componentes del ensamble, ilustración 4.4	39
tabla 10: Datos de entrada para la simulación	39
tabla 11: Datos de entrada, simulación térmica 1.....	46
tabla 12: Resultados, temperaturas máximas y mínimas, simulación 1.	48
tabla 13: Temperaturas máximas y mínimas obtenidas en la simulación 2.....	52

ÍNDICE DE GRAFICAS.

grafica 1: Grafica del comportamiento de la temperatura durante 600 seg.	49
grafica 2: Grafica de temperatura-tiempo, simulación 1.	50
grafica 3: Grafica del comportamiento de temperatura, en 10 min, simulación 2. .	53

CAPITULO I.

Caracterización del área en que participo.

1.1 Datos generales.

1.1.1 Rotoinnovación SA de CV.

Es una Compañía de base tecnológica certificada en ISO 9001:2008 que se dedica a la Innovación, está apasionada a proporcionar una calidad superior y constante, comprometida para asegurar discreción y confidencialidad total, y que nuestra actividad sea competitiva internacionalmente.

La principal actividad de dicha empresa es la fabricación de productos de plástico por medio del rotomoldeo, es una compañía con base tecnológica, dedicada a la innovación del proceso de rotomoldeo, (Rotoinnovación SA de , s.f.).

1.1.2 Ubicación de la empresa.

Empresa 100% mexicana, ubicada en la ciudad de Berriozábal, Chiapas. La ubicación exacta de la empresa es 9aOriente-sur 973, entre 2a sur y 3a sur, Barrio Linda vista, Berriozábal Chiapas, C.P. 2913.

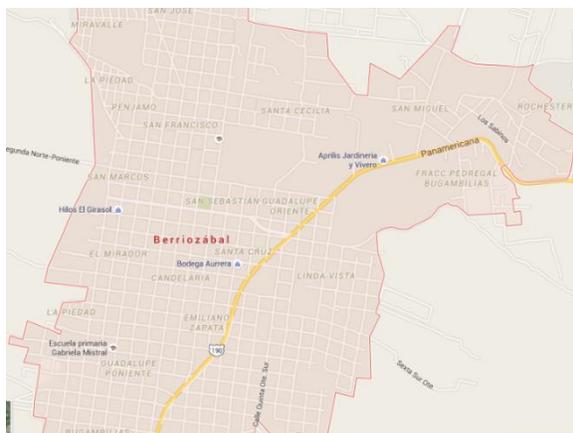


Ilustración 1: Ubicación demográfica de Rotoinnovación SA de CV.

1.1.3 Giro de la empresa.

El giro de la empresa es la manufactura de productos a base de plástico (polietileno). Consta cuatro cuentas las cuales las conforman: almacén de materiales directos, suministros de fábrica, producción en proceso y almacén de artículos terminados.

Algunos de los sectores donde Rotoinnovación SA de CV, da soluciones:

Mobiliario de diseño e iluminación

Butacas, sillas, taburetes, sillones, lámparas de pie, lámparas colgantes, plafones, maceteros, percheros, estanterías, entre muchos otros.

Silos para semillas, tolvas ganaderas, abrevaderos, contenedores para almacenar y procesar (aceite, shampoo, leche, café, productos del mar, aceite, quesos, agua, entre muchos otros).

Tinacos, registros, biodigestores, baños dignos, otros depósitos de agua, depuradoras, arquetas, conductos de agua, separadores de grasas, entre muchos otros.

1.2 Organigrama de la empresa.

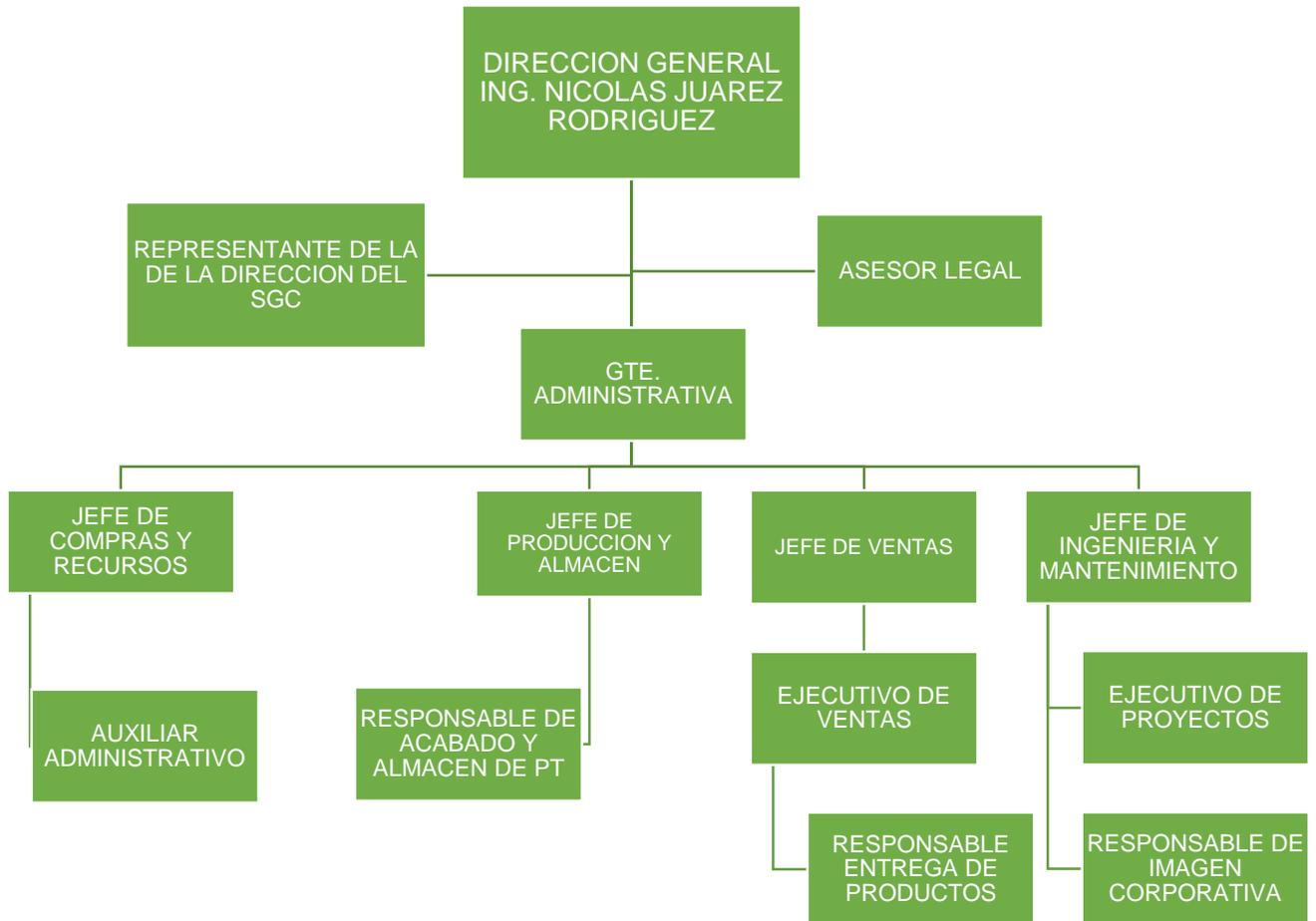


Ilustración 2: Organigrama de Rotoinnovación.

1.3 Misión, visión y políticas.

1.3.1 Misión.

Ofrecer las mayores ventajas en el diseño y fabricación de productos, con el respaldo de la tecnología más avanzada, las mejores soluciones, y el cumplimiento total con el cliente superando sus expectativas con oportunidad y eficiencia, así

como ganar su confianza por nuestra calidad, consistencia y una atención personalizada.

1.3.2 Visión.

Ser la mejor opción para nuestros clientes en la investigación científica y desarrollo de productos rotomoldeados, caracterizarnos por nuestra calidad, por utilizar tecnología ecológica y distinguirnos por nuestra innovación permanente.

1.3.3 Políticas.

"En Rotoinnovación tenemos un compromiso con el medio ambiente, por eso creamos productos y servicios que cuidan y ahorran energía para nuestro planeta."

Rotoinnovación en su cumplimiento de su Visión, y en relación la instrumentación de proyectos clave para acelerar la transferencia de tecnología del rotomoldeo, ha creado la OTC Rotoinnovación. La Misión de la OTC es poner en valor y acelerar la transferencia de los resultados de la investigación y el desarrollo de proyectos, de forma proactiva y eficiente. Para ello enumera los siguientes principios que enmarcan la política de transferencia de Rotoinnovación S. A. de C. V.

Experiencia.

Conocimiento.

Habilidad.

Capacidad.

Calidad.

Superar las expectativas del cliente.

Confidencialidad.

Innovar.

Eficiencia y ser oportuno.

1.4 Reconocimientos.



Ilustración 3: certificado de calidad ISO 9001:2008.

(Rotoinnovación SA de , s.f.)

CAPITULO II.

Planteamiento del problema o área de oportunidad.

2-1 Descripción de la problemática.

Rotoinnovación SA de CV, es una empresa mexicana que se dedica especialmente a la transformación de productos de plástico. Actualmente las maquinas utilizadas para la producción son a llama abierta, observar (fig.2), esto genera que la temperatura dentro de la nave industrial supere la temperatura ambiente. Por lo consiguiente el sistema utilizado actualmente para enfriar el producto terminado es poco eficiente se realiza por convección forzada con ayuda de ventiladores industriales este proceso dura de 15 a 20 min, para que el producto alcance una temperatura considerable para el desmolde, la empresa quiere reducir este tiempo de espera para retirar el producto del molde, innovando un nuevo sistema de enfriamiento y así poder maximizar la producción reduciendo los costos, tiempo y aumentar el ahorro de energía.



Ilustración 4: Máquina de rotomoldeo a flama abierta. (Rotoinnovación SA de CV, 2015).

2.2 Caracterización del área en que realizo el proyecto.

Como se puede observar en el organigrama de la empresa (Ilustración 1.3), se aprecian los diversos departamentos que constituyen a Rotoinnovacion SA de CV, en el departamento de ingeniería y mantenimiento es donde se llevó a cabo este proyecto, sin embargo se beneficia directamente el área de producción.

Durante nuestra estancia en la empresa Rotoinnovación SA de CV, se trabajó en el diseño de un nuevo sistema para enfriar los moldes de acero inoxidable haciendo una aportación al área de ingeniería y específicamente al departamento de producción. Ya que desde tiempo atrás se observa que en la fase del enfriamiento de los moldes es un problema a un sin solución, enfriar el molde les lleva mucho tiempo consecutivamente retrasando la producción, lo que se busca con este proyecto es aumentar la eficiencia el proceso de elaboración de productos plásticos. Algunos días nos involucramos en el área de producción identificando cada una de las etapas del proceso del rotomoldeo para poder hacer las respectivas mejoras al proceso, sin alterar alguna otra etapa.



Ilustración 5: Distribución de las áreas de trabajo en Rotoinnovación SA de CV.

2.3 Antecedentes.

El uso de la refrigeración data desde el principio de la historia de la humanidad, pero por miles de años, el agua y el hielo fueron los únicos medios de enfriamiento. En el último siglo pasado hizo su aparición la refrigeración mecánica. Se considera la refrigeración que es parte de la vida diaria de las naciones industrializadas. Su uso para la preservación, de alimentos, control de procesos, industriales se ha vuelto una parte indispensable de nuestra tecnología.

El uso del hielo natural como refrigerante estaba muy extendido hasta poco antes de la 1ra guerra mundial, cuando aparecieron los refrigeradores mecánicos eléctricos. La eficiencia del hielo como refrigerante es debida a que tiene una temperatura de fusión de 0°C y para fundirse tiene que absorber una cantidad de calor equivalente 333.1kJ/kg . La presencia de una sal en el hielo reduce en varios grados el punto de fusión del mismo.

En la refrigeración mecánica se obtiene un enfriamiento constante mediante la circulación de un refrigerante en un circuito cerrado, donde se evapora y se vuelve a condensar en un ciclo continuo. Si no existe perdidas el refrigerante sirve para toda la vida útil del sistema. Todo lo que se necesita para mantener el enfriamiento es un suministro continuo de energía y un método para disipar calor. Los dos tipos principales del sistema mecánico de refrigeración son el sistema de compresión, empleado en los refrigeradores domésticos grandes y en la mayoría de los aparatos de aire acondicionado, y el sistema de absorción que en la actualidad se usa sobre todo en los acondicionadores de aire por calor.

2.4 Sistemas de refrigeración.

Una de las principales áreas de aplicación de la termodinámica es la refrigeración, que es la transferencia de calor de una región de temperatura inferior hacia una temperatura superior. Los dispositivos que producen refrigeración se llaman refrigeradores, y los ciclos en los que operan se denominan ciclos de refrigeración.

También existe la refrigeración termoeléctrica, donde la refrigeración es producida mediante el paso de corriente eléctrica a través de dos materiales distintos.

2.4.1 Refrigeración por compresión.

Los sistemas de compresión emplean cuatro elementos en el ciclo de refrigeración: compresor, condensador, válvula de expansión y evaporador. En el evaporador, el refrigerante se evapora y absorbe calor del espacio que está enfriando y de su contenido. A continuación, el vapor pasa a un compresor movido por un motor que incrementa a su presión, lo que aumenta su temperatura. El gas sobrecalentado a alta presión se transforma posteriormente en líquido en un condensador refrigerado por aire o agua. Después del condensador, el líquido pasa por una válvula de expansión, donde su presión y temperatura se reducen hasta alcanzar las condiciones que existen en el evaporador.

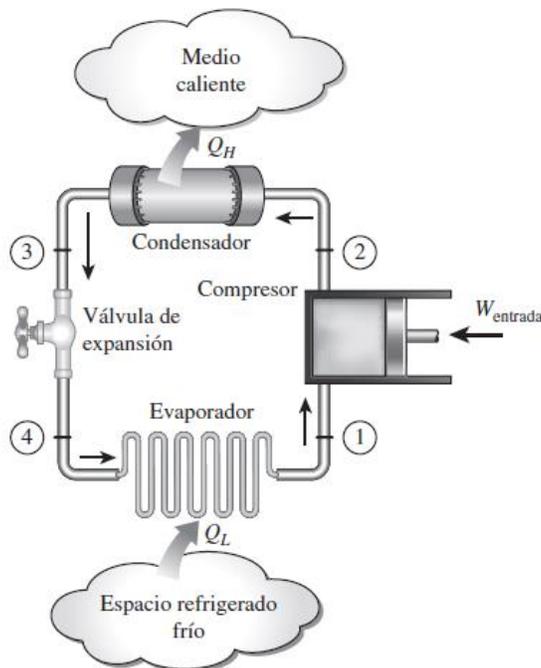


Ilustración 6: Ciclo de refrigeración por compresión (Yunes A Cengel, 2012).

2.4.2 Refrigeración por absorción.

El sistema de refrigeración por absorción fue desarrollado por sir John Leslie, quien utilizó el ácido sulfúrico como absorbente y el agua como refrigerante. Más tarde, en 1859, Ferdinand Carre inventa la primera máquina de absorción, la cual trabaja con el par de amoníaco-agua.

Los ciclos de absorción funcionan con un par de refrigerantes químicos. Son sistemas de dos componentes, donde una de las sustancias es disuelta en la otra y el enfriamiento se produce secando una de las dos sustancias de la solución por medio de la aplicación de calor y luego reabsorbiendo hacia la solución.

Los equipos que utilizan el ciclo de absorción han tenido un uso generalizado por varias décadas en la preservación de alimentos, procesos industriales y almacenamiento frío. Pueden operar a temperaturas más bajas que el punto de congelación del agua.

A pesar de que el amoníaco no es un elemento que afecta la capa de ozono, si es cierto que tiene consecuencias directas sobre la salud del ser humano, y que pérdidas de este compuesto en el sistema pueden afectar al hombre mediante el contacto directo con él, o por la contaminación de los alimentos presentes en la cámara frigorífica. También se menciona la contaminación por ruido que puede producirlos elementos móviles de dicha instalación, lo cual ocurre durante un funcionamiento inadecuado de esos elementos. Es por ello que esta tecnología requiere de un control estricto en su explotación, y una alta calificación del personal técnico encargado del funcionamiento.

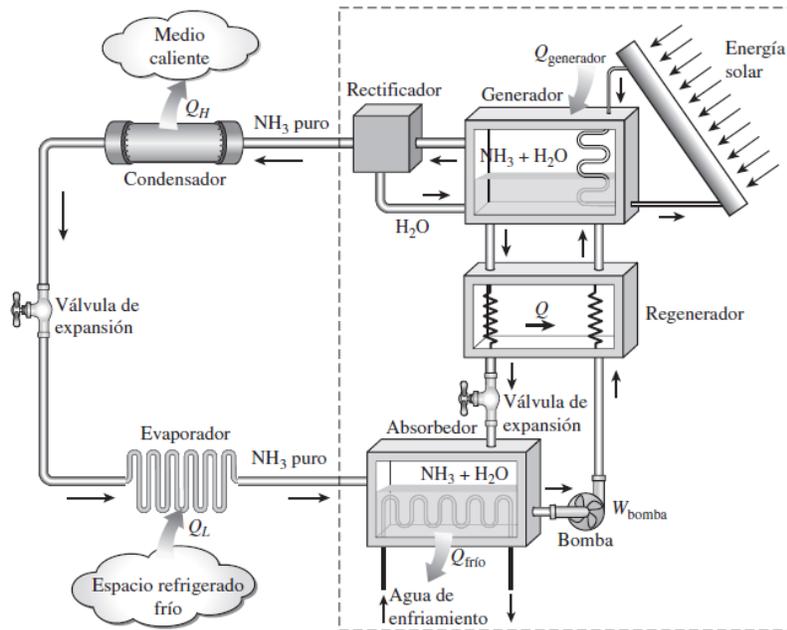


Ilustración 7: ciclo de refrigeración por absorción.

2.4.3 Sistemas de refrigeración por compresión de múltiples etapas.

Cuando el fluido utilizado por todo el sistema de refrigeración en cascada es el mismo, el intercambiador de calor entre las etapas puede sustituirse por una cámara de mezclado (llamada *cámara de vaporización instantánea*), puesto que tiene mejores características de transferencia de calor. A dichos sistemas se les denomina sistemas de refrigeración por compresión de múltiples etapas. (Yunes A Cengel, 2012).

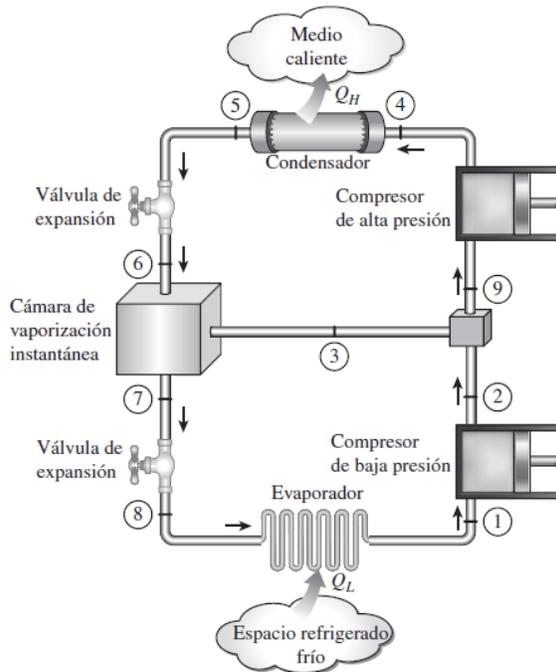


Ilustración 8: Ciclo de refrigeración por múltiples etapas, (Yunes A Cengel, 2012).

2.4.4 Refrigeración por efecto Peltier.

En el año de 1834, un relojero y aficionado francés, descubrió que el paso de la corriente eléctrica a través de la unión de dos metales conductores distintos, en una cierta dirección, produce un efecto frío. Si se invierte la dirección de la corriente, se obtiene un efecto de calentamiento, diferente al efecto de calentamiento en una resistencia eléctrica. El descubrimiento realizado por Peltier tuvo que esperar más de un siglo para convertirse en la base de un nuevo método de refrigeración.

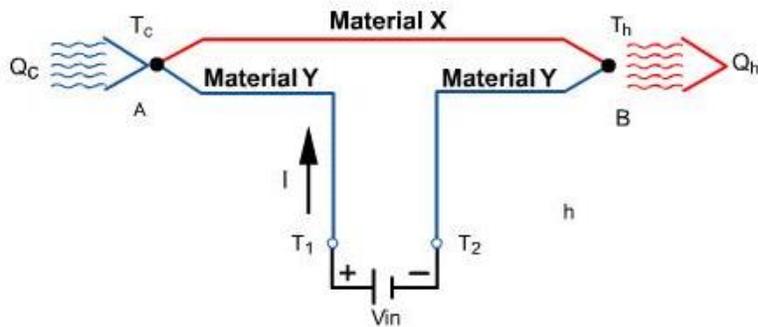


Ilustración 9 : Esquema de refrigeración Peltier.

Los refrigerantes que utilizan el efecto Peltier para obtener el efecto frigorífico, llamado refrigeradores termoeléctricos, presentan un rendimiento mucho menor que los refrigeradores convencionales que utilizan compresor, específicamente cuando la capacidad de enfriamiento es alta. Sin embargo, el rendimiento de las unidades de enfriamiento convencionales cae rápidamente cuando la capacidad de enfriamiento requerida disminuye, lo cual en el caso de las unidades termoeléctricas permanece casi constante, demostrando así su adecuación en muchos dispositivos electrónicos.

Las principales ventajas de estas unidades se encuentran en pequeño tamaño , son silenciosas por la ausencia en ellas de piezas móviles, el tiempo de vida útil es relativamente largo, no contienen líquidos ni gases como medios refrigerantes y su control de la razón de enfriamiento es muy simple mediante el ajuste de la corriente de alimentación. Otra interesante aplicación de estas unidades es su uso como bombas de calor, lo cual se logra al invertir la dirección de la corriente eléctrica.

2.5 OBJETIVOS.

2.5.1 Objetivo general.

Diseñar un sistema para enfriar un molde de acero inoxidable mediante la adaptación de convección forzada y el efecto Peltier que permita la producción de productos rotomoldeados minimizando los tiempos de producción, costos y aumentando el ahorro de energía.

2.5.2 Objetivos específicos.

- Hacer el diseño conceptual del sistema así como definir los componentes y demás equipos que sean necesarios para su funcionamiento.
- Elaboración de ingeniería básica del sistema.
- Elaboración de ingeniería de detalle del sistema (dibujos mecánicos, eléctricos, y de control con ayuda de softwares de diseño como Solidworks, Autodesk Inventor, AutoCAD, etc.).
- Simulación de validación del proceso (simulación en un software de diseño Comsol, Solidworks, Ansys o Inventor).

2.6- Justificación.

En la actualidad la tecnología ha mostrado una gran cantidad de avance en todo el mundo y la automatización se ha apoderado de la industria, ya que al implementarlas en los procesos puede ser más eficientes en calidad, costos y tiempo.

En esta ocasión se busca implementar un sistema de enfriamiento a una máquina de rotomoldeo para lograr una mayor eficiencia en la parte de enfriamiento que es la penúltima fase del proceso para terminar el producto. Así mismo diseñando este

sistema se podrá utilizar para diferentes aplicaciones donde se haga uso de un proceso térmico y se necesite enfriar un objeto.

Como se sabe cada sección en un proceso es muy importante para obtener el producto deseado, esto pasa con la fase de enfriamiento en el proceso de rotomoldeo que se han empleado diferentes técnicas para tratar de enfriar más rápido el producto terminado pero no se ha tenido mucho éxito. Esta sección del proceso se concentra en enfriar el polímero, una capa líquida en un sólido, parte rígida. En primer lugar, hay que destacar que es mucho más fácil enfriar el molde y su contenido a temperatura ambiente de lo que es inicialmente al calentar el conjunto a su temperatura de fusión deseada. El enfriamiento puede ser logrado simplemente al dirigir agua de inundación en el molde caliente. Mientras esta acción enfriará el molde y su contenido en una fracción del tiempo que se necesita para calentar el conjunto, y dará lugar a la morfología del polímero indeseable. También puede conducir a partes mal distorsionadas. Y en ciertos casos, que en realidad puede colapsar la parte e incluso el molde. En otras palabras, aunque es posible apagar rápidamente el molde y su contenido, es casi nunca deseada, práctico o practicado (Crawford, 2002).

En lo descrito anteriormente se comprende una de las técnicas que puede aplicarse al enfriamiento del producto, pero no están factible por generar defectos en acabados finales de los tinacos y en ocasiones daño a los molde de producción, por eso nosotros nos enfocamos en la convección forzada del aire innovando el sistema actual como mejor opción para generar un aumento de eficiencia, ya que actualmente es el uno de los método más utilizados en toda industria de rotomoldeo a su vez emplearemos módulos termoeléctricos que son de bajo costo y brindan una opción factible para solucionar el problema que presenta la empresa.

CAPITULO III.

Fundamentos teóricos.

3.1 Principios Termoeléctricos.

3.1.1 Efecto joule.

El efecto se explica de la siguiente manera; si en un conductor existe una corriente eléctrica, parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor debido al choque que sufren los electrones con las moléculas del conductor por el que circulan elevando la temperatura del mismo.

Este efecto fue definido generalmente como: “la cantidad de energía calorífica producida por una corriente eléctrica, depende directamente del cuadro de la intensidad de la corriente, del tiempo que ésta circula por el conductor de la resistencia que opone el mismo, al paso de corriente”. Esta definición se expresa matemáticamente de la siguiente forma:

$$Q = I^2 .R.t \text{-----} Ec.(1)$$

Donde:

Q: Es la energía calorífica producida por la corriente expresada en joule.

I: Es la intensidad de la corriente que circula en Amperes.

R: Es la resistencia eléctrica del conductor en ohm.

t: Es el tiempo en segundos.

Otra ecuación que interviene en este efecto es la potencia (P) disipada por el efecto joule, matemáticamente se escribe de la siguiente forma:

$$P = I^2 \cdot R = \frac{V^2}{R}, \text{----- Ec.(2)}$$

Donde:

V: Es la diferencia de potencial entre los extremos del conductor.

Es importante decir que es un efecto indeseado y la razón por la que los aparatos eléctricos y electrónicos necesitan un ventilador que disipe calor generado y evite el calentamiento excesivo de los diferentes dispositivos.

3.1.2 Efecto Seebeck.

Descubierto por el físico alemán Thomas Johann Seebeck, el efecto Seebeck se refiere a la emisión de electricidad en un circuito eléctrico compuesto por conductores diferentes, con distintas temperaturas. La diferencia de temperaturas causa un flujo de electrones en los conductores, el flujo inicia directamente desde el área de mayor hacia la de menor temperatura.

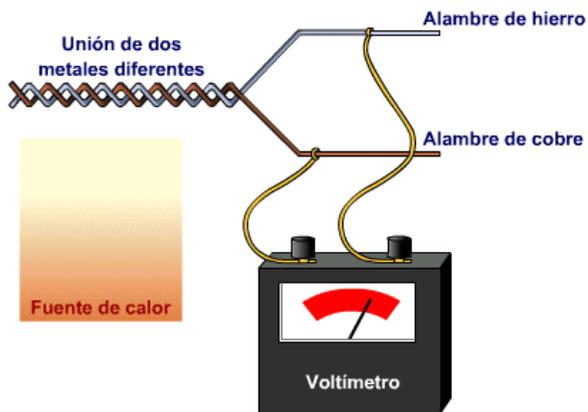


Ilustración 10: Demostración del efecto seebeck.

Considerando ahora un circuito formado por dos de estas juntas puestas en serie en los que comúnmente se denomina un termopar. Si la temperatura de las dos juntas que conforman el termopar es la misma, los campos eléctricos formados en cada junta tendrá igual módulo, pero signos distintos, por lo que la diferencia a lo largo de todo el circuito será nula. Ahora, si una de las juntas está a mayor temperatura, los electrones de la junta más caliente vibrarán más y el campo eléctrico generado en esta junta será distinto (mayor) al generado en la junta a menor temperatura. De esta manera, la diferencia de temperaturas entre las juntas se demuestra como una diferencia de potencial en el circuito.

Se presenta un circuito eléctrico del efecto seebeck (Ilustración 11), donde se tienen dos metales diferentes (A y B), además la temperatura T_2 es mayor que la temperatura T_1 , debido a que se aplica calor a la unión.

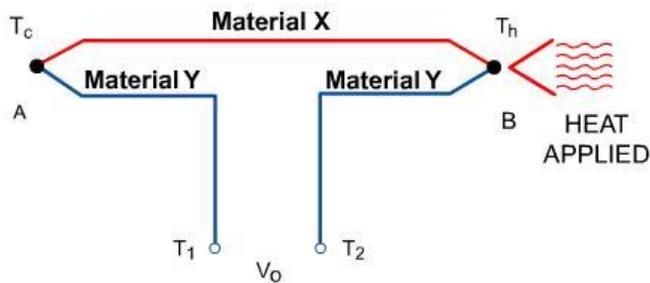


Ilustración 11: Esquema eléctrico del efecto seebeck.

3.1.3 Efecto Peltier.

El efecto Peltier consiste en el enfriamiento o calentamiento de una unión entre dos conductores distintos al pasar una corriente eléctrica por ella y que depende exclusivamente de la composición y temperatura de la unión. Al invertir la polaridad de alimentación, se invierte también su funcionamiento; es decir: la superficie que antes generaba frío empieza a generar calor, y la que generaba calor empieza a generar frío.

La siguiente ilustración represente el efecto Peltier, donde se muestra un esquema del sistema, en el cual circula una corriente I y en la unión con T_2 se libera calor, además esta temperatura es mayor que la T_1 , donde se absorbe calor.

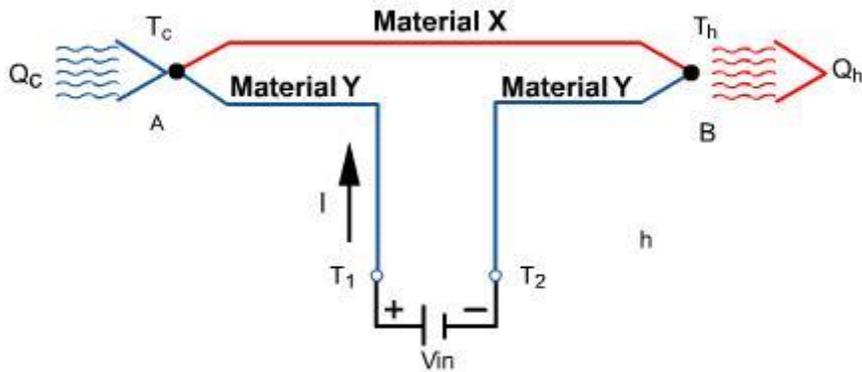


Ilustración 12: Comportamiento eléctrico del efecto Peltier.

3.1.4 Efecto Thompson.

El efecto Thompson consiste en la absorción o liberación de calor por parte de un conductor eléctrico homogéneo, con una distribución de temperaturas no homogénea, por el que circula una corriente.

Este efecto implica la aparición de un flujo de calor al circular una corriente a través de un gradiente de temperatura en un material. Supongamos un conductor por el cual circula una corriente de calor, más no una corriente eléctrica. Esto induce la aparición de una distribución de temperaturas en el material, gobernada por los coeficientes cinéticos. Consideremos ahora que cada punto del material es conectado a un baño térmico de igual temperatura. La igualdad de temperaturas entre el material en cada punto y el baño correspondiente implica que no habrá intercambio de calor entre éstos y el material. Si se inyecta una corriente eléctrica, ocurrirá un intercambio de energía entre el material y los reservorios.

La diferencia fundamental entre los efectos seebeck y Peltier considerados por aparte y el efecto Thomson, es la existencia de este último en un único material, sin necesidad de que exista una unión entre materiales distintos.

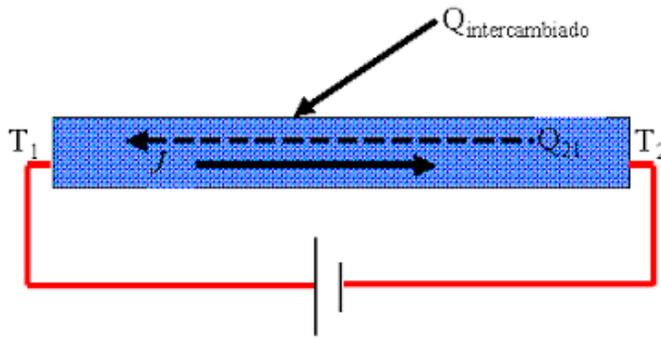


Ilustración 13: comportamiento del efecto Thomson en un conductor.

Una vez mostrados los efectos termoeléctricos en los que se basa el proyecto, es importante entender cuáles son los distintos métodos de transferencia de calor que existen, ya que estos van a influir en las formas distintas de aprovechamiento que pueden tener los módulos termoeléctricos dependiendo de la instalación donde se encuentren (ramirez, 2010).

3.2 Mecanismos de transferencia de calor.

La transferencia de calor se define como, proceso por el que se intercambia energía en forma de calor entre distintos cuerpos, o entre diferentes partes de un mismo cuerpo que están en distinto nivel energético. El calor se transfiere mediante convección, radiación o conducción. Aunque estos tres procesos pueden tener lugar simultáneamente, puede ocurrir que uno de los mecanismos predomine sobre los otros dos.

La transferencia de energía como calor siempre se produce del medio que tiene la temperatura más elevada hacia el de temperatura más baja, el proceso de detiene cuando los dos medios alcanzan la misma temperatura.

3.2.1 Conducción.

La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas. La conducción puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases. En los gases y líquidos la conducción se debe a las colisiones y a la difusión de las moléculas durante su movimiento aleatorio. En los sólidos se debe a la combinación de las vibraciones de las moléculas en una retícula y al transporte de energía por parte de los electrones libres.

Con la siguiente expresión podemos calcular la transferencia de calor por conducción:

$$\dot{Q}_{cond} = KA \cdot \frac{T_1 - T_2}{\Delta x}, \text{-----Ec.(3)}$$

Donde:

K: Es la conductividad térmica.

Δx : Es el espesor de la pared.

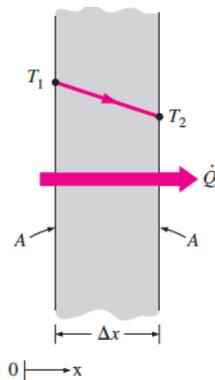


Ilustración 14: Conducción de calor a través de una pared plana grande de espesor Δx y área A .

3.2.2 Radiación.

La radiación es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas (o fotones) como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. A diferencia de la conducción y la convección, la transferencia de calor por radiación no requiere la presencia de un medio interventor. De hecho, la transferencia de calor por radiación es la más rápida (a la velocidad de la luz) y no sufre atenuación en un vacío. Ésta es la manera en la que la energía del Sol llega a la Tierra.

La transferencia de calor por radiación se obtiene con la siguiente expresión:

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_{alred}^4), \text{----- Ec.(4)}$$

Dónde:

ε : Es la emisividad de la superficie

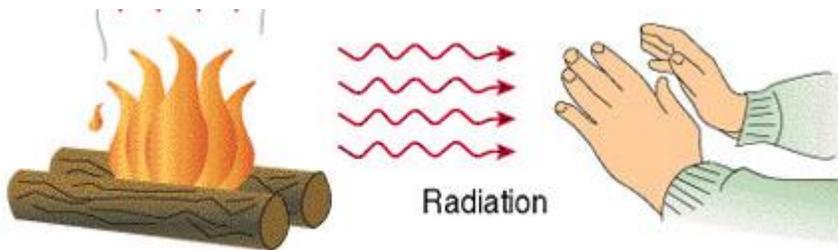


Ilustración 15: Mecanismo de transferencia de calor por radiación.

3.2.3 Convección.

La convección es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacente que está en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos. Entre más rápido es el

movimiento de un fluido, mayor es la transferencia de calor por convección. En ausencia de cualquier movimiento masivo de fluido, la transferencia de calor entre una superficie sólida y el fluido adyacente es por conducción pura. La presencia de movimiento masivo del fluido acrecienta la transferencia de calor entre la superficie sólida y el fluido, pero también complica la determinación de las razones de esa transferencia.

El mecanismo de convección tiene dos sub-clasificaciones; convección natural y convección forzada, nosotros nos enfocaremos en el proceso de convección forzada por que es más eficiente y se adapta al proyecto a realizar.

La transferencia de calor por convección se determina con la siguiente expresión:

$$\dot{Q}_{conv} = hA_s(T_s - T_\infty), \text{-----Ec.(5)}$$

Donde:

h: Es el coeficiente de transferencia de calor por convección.

3.2.4 Convección natural.

El movimiento del fluido es generado por variaciones de densidad. Estas a su vez pueden ser producidas por la existencia de gradientes de temperatura o de concentración en el seno del fluido.

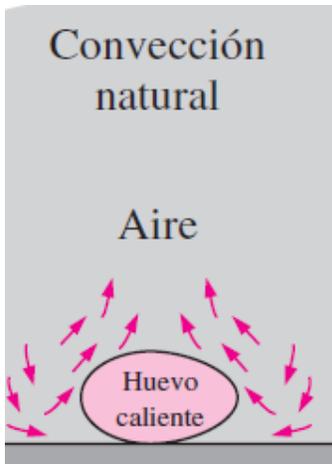


Ilustración 16: Convección por corriente de aire natural.

3.2.5 Convección forzada.

En la convección forzada se obliga al fluido a fluir mediante medios externos, es decir, se añade algún tipo de mecanismo como un ventilador o algún sistema de bombeo, ya sea de succión o transversal, dicho mecanismo acelera la velocidad de las corrientes de convección natural, lo cual no genera mayor potencia calorífica con un sistema o con otro. La diferencia se observará en que, con el sistema de ventilación forzada, el calor se reparte más y se calienta el ambiente en menos tiempo.

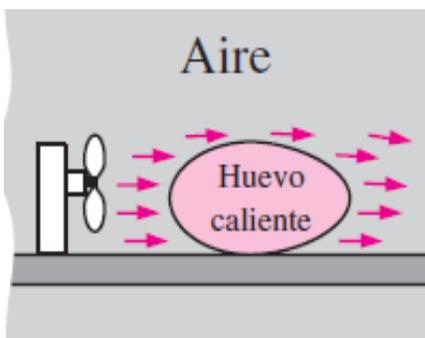


Ilustración 17: Convección forzada.

3.3 Descripción general de una célula termoeléctrica.

Un dispositivo termoeléctrico (TEC) está formado por un conjunto de termopares, situados eléctricamente en serie y térmicamente en paralelo, de tal forma que todos los termopares que absorben el calor están a un lado de la placa y los que lo desprenden están en el otro. Las investigaciones llevadas a cabo sobre estos dispositivos han determinado que para optimizar el efecto de bomba de calor, los mejores materiales para constituir los termopares son los semiconductores de tipo P y N de forma cúbica. El material semiconductor más utilizado en los TECs es el Telurio de Bismuto, dopado por exceso (tipo N) o dopado por defecto (tipo P). Un módulo termoeléctrico está compuesto por dos o varias placas de cerámica separadas por los cubos de material semiconductor. Estas placas de cerámica sirven como soporte mecánico de la estructura del dispositivo y como aislamiento eléctrico entre los elementos de la célula y la superficie de montaje externa.

Cuando se aplica un generador de tensión continua a un módulo TEC, el calor se transmite a través del dispositivo desde una cara hasta la otra. El calor existente en una de las caras (cara fría) se extrae y es bombeado a la otra cara (cara caliente). Por tanto, la temperatura de una de las caras disminuye mientras que la temperatura de la otra cara aumenta (Yunus A.cengel, 2011).



Ilustración 18: Estructura de un módulo Peltier.

3.4 Funcionamiento de una celda termoeléctrica.

Un módulo termoeléctrico es un componente electrónico basado en un semiconductor, que al aplicarle una baja tensión en corriente directa (D.C), el calor será movido a través del módulo de un lado al otro, es decir, una cara del módulo será enfriado mientras que la otra será calentada simultáneamente. Es importante destacar que este fenómeno es reversible, cambiando la polaridad de la fuente. Como consecuencia, un módulo termoeléctrico puede usarse para calentar o enfriar, con una gran precisión en la temperatura deseada.

Los módulos termoeléctricos y los refrigeradores mecánicos están gobernados por los mismos principios termodinámicos. Debido a que en un módulo termoeléctrico el semiconductor dopado, toma el lugar del líquido refrigerante, el condensador es reemplazado por un disipador y el compresor por una fuente de corriente directa.

El módulo termoeléctrico al estar formado por uniones de semiconductores de tipo P y N aprovecha las características que estos le proporcionan, dando el semiconductor de tipo N un exceso de electrones ya que está dopado, es decir, tiene más electrones de los que necesita para completar una perfecta estructura molecular y el tipo P es lo contrario, ya que tiene una deficiencia de electrones. Los electrones por exceso en el material N y los huecos debidos a la deficiencia de electrones del material P son los portadores que transportarán la energía calorífica a lo largo del material termoeléctrico. Cuando un electrón cambia de un nivel energético mayor a un nivel energético inferior libera energía, por lo que, desprende calor. De igual manera, si un electrón cambia de un nivel energético inferior a un nivel energético mayor absorbe energía, por lo que, absorbe calor. En un módulo termoeléctrico, si los electrones por exceso de un elemento tipo N (nivel alto de energía) pasan al elemento tipo P (nivel bajo de energía) se desprenderá calor. En cambio, si los electrones del elemento tipo P pasan al elemento tipo N, se absorberá calor (ramirez, 2010).

A continuación se presenta una ilustración comparando un sistema de enfriamiento mecánico y un sistema termoeléctrico.

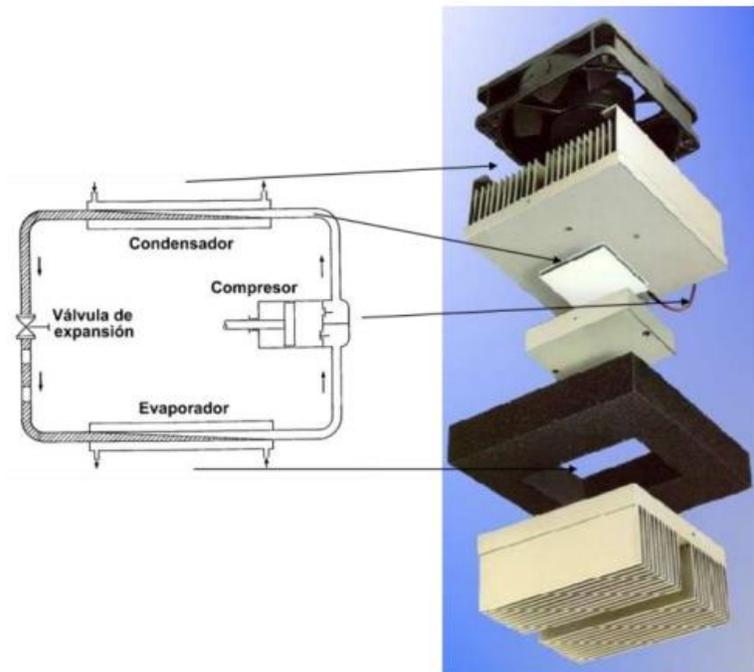


Ilustración 19: Analogía de un sistema de refrigeración mecánica y un sistema termoeléctrico.

3.5 Balance energético de un módulo Peltier.

Se puede observar el balance energético de un módulo termoeléctrico respecto al exterior.

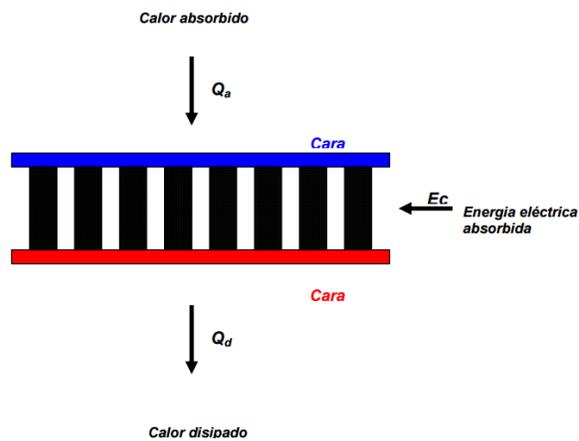


Ilustración 20 : Balance energético de una celda Peltier.

En equilibrio, la suma de las energías debe ser nula. Por tanto se puede plantear la siguiente ecuación:

$$Q_a + E_c = Q_d \text{ ----- } Ec.(6)$$

Donde:

Q_a : Calor absorbido.

Q_d : Calor disipado o emitido.

E_c : Energía eléctrica consumida.

La energía disipada en la cara caliente es la suma de la energía absorbida en la cara caliente más la energía eléctrica consumida.

CAPITULO IV.

Desarrollo del proyecto.

4.1 cálculo de la carga térmica.

A continuación se presenta el cálculo de la carga térmica generada por el molde de 450 Lt, con 230°C como temperatura máxima.

La geometría de la figura se tomó como un cilindro, debido a la similitud con la geometría física del molde.

Datos proporcionados:

$$T_1 = 30^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 230^\circ\text{C}$$

$$V = 7.43 \text{ m}^3$$

$$\text{Área total de un tinaco de 450 Lt} = 3.19 \text{ m}^2$$

$$P = 69.3 \text{ kg}$$

Se obtiene una temperatura promedio, ya que en esa temperatura se consideran constantes los valores de los siguientes parámetros, mostrados en la tabla 1.

$$T_f = \frac{T_1 + T_2}{2} \text{----- Ec.(7)}$$

$$T_f = \frac{230 + 30}{2} = 130^\circ\text{C}$$

Con la temperatura promedio obtenemos las siguientes variables k, ν, Pr, ρ . Consultando la tabla A-15 del libro de transferencia de calor (Yunus A.cengel, 2011), se interpola a la temperatura de 145°C.

Tabla 1: Propiedades del aire a 130°C, (Yunus A.cengel, 2011).

$T(^{\circ}C)$	$K (w/m^{\circ}k)$	$\nu(m^2 / s)$	Pr	$\rho(kg / m^3)$
120	0.03235	2.522×10^{-5}	0.7073	0.8977
130	0.033045	2.6335×10^{-5}	0.7057	0.87595
140	0.03374	2.745×10^{-5}	0.7041	0.8542

Con los datos de la tabla 1, calculamos el coeficiente de Reynolds.

$$Re = \frac{VD}{\mu} \text{-----Ec.(8)}$$

$$Re = \frac{7.43 \text{ m/s} (.87 \text{ m})}{2.6335 \times 10^{-5} \text{ m}^2 / \text{s}} = 67.97038 \times 10^3$$

Rangos del número de Reynolds

Laminar $Re \leq 5 \times 10^5$

Turbulento $5 \times 10^5 \leq Re \leq 10^7$

Se obtiene que es un fluido con flujo laminar. Procedemos a calcular el número de nusselt con la siguiente ecuación:

$$Nu = 0.3 + \frac{0.62 Re^{\frac{1}{2}} Pr^{\frac{1}{3}}}{\left[1 + \left(\frac{0.4}{Pr}\right)^{\frac{2}{3}}\right]^{\frac{1}{4}}} \left[1 + \left(\frac{Re}{282000}\right)^{\frac{5}{8}}\right]^{\frac{4}{5}} \text{----- Ec(9)}$$

$$Nu = 0.3 + \frac{0.62(2.4545)^{\frac{1}{2}} (0.7057)^{\frac{1}{3}}}{\left[1 + \left(\frac{0.4}{0.7057}\right)^{\frac{2}{3}}\right]^{\frac{1}{4}}} \left[1 + \left(\frac{2.545}{282000}\right)^{\frac{5}{8}}\right]^{\frac{4}{5}} = 404.209$$

Se aplica la ecuación 10, para obtener el coeficiente de transferencia de calor.

$$h = \frac{k}{D} Nu \text{----- Ec(10)}$$

$$h = \frac{0.033045}{0.87} (404.209) = 15.3529 \frac{w}{m^2 * K}$$

Por último se hace el cálculo para obtener la carga térmica.

$$Q = hA_s(T_1 - T_2) \text{----- Ec.(11)}$$

$$Q = 15.3529 \frac{W}{m^2 * k} (2.5965 m^2)(503 - 303) k = 7972.7W$$

Con la ecuación 11, obtenemos la carga térmica total generada por el molde, esta carga es la que se necesita remover del cuerpo rígido para enfriar el molde a una temperatura adecuada y obtener un producto de buena calidad.

Con el diseño que se propone se pretende remover esa cantidad de carga.

4.2 características generales de la máquina de rotomoldeo.

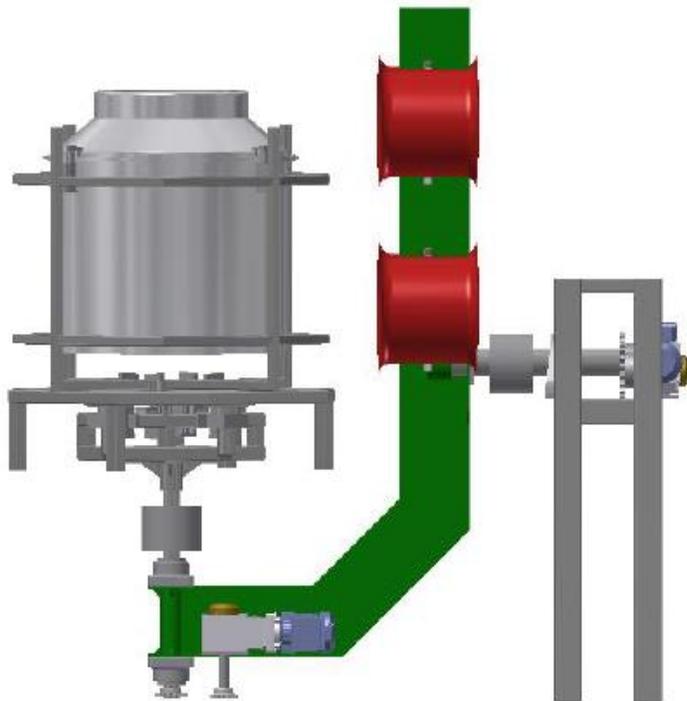


Ilustración 21 : Vista de perfil de la máquina de rotomoldeo.

Tabla 2 : características una la máquina de rotomoldeo en la cual se empleara el prototipo diseñado.

Características físicas de la maquina rotomoldeo	
Largo total (m)	2 - 2.5
Ancho total (m)	2 - 2.5
Altura total en reposo(m)	2 – 2.2
Altura total en movimiento(m)	2.3 – 2.8
Medio de calentamiento (°C)	Resistencias eléctricas
Alimentación eléctrica	220 Vca, 3F, 3H.

Tabla 3: Características físicas del molde.

Características del molde	
Capacidad	450 Lt
Material	Acero inoxidable acero ASTM A240 430/2B calibre 14.
Volumen	0.45 m ³
Masa	80 Kg
Área	3.09 m ²

4.3 Ventilador industrial seleccionado.

Inyector Aero booster.



Ilustración 22: Ventiladores seleccionados (extractor de aire., 2015)

Tabla 4: Especificaciones técnicas de los ventiladores seleccionados.

Diámetro (in)	12
Caudal máximo (cfm)	1150
Φ aspas x n° de alabes	11x15
Peso(lb)	6
Potencia (Hp)	¼
Consumo máximo (watts)	71
Amperaje máximo (A)	1
R.P.M	1550
Voltaje	120

4.4 Selección de la celda Peltier adecuada.

Para la selección de la celda Peltier, consultamos varios proveedores y su variedad de catálogos ya que los dispositivos comerciales están caracterizadas por varios parámetros. La diferencia de temperatura, la capacidad de bombeo (Q_{max}), la tensión y la corriente de entrada.

Debemos de tener en cuenta que la célula Peltier no va a estar en contacto directo con el cuerpo a refrigerar; por tanto la temperatura en la superficie de la cara fría de la célula y en la superficie del objeto en el interior de la caja van a ser diferentes.

Para la selección de la celda Peltier consultamos los siguientes proveedores:

Tabla 5: Proveedores de módulos termoeléctricos.

TE TECHNOLOGY, INC.
PACIFIC SUPERCOOL Ltd.
PELTIER TECHNICAL SERVICES, INC.

Aunque actualmente existe una gran diversidad de modelos, consultando algunos de los proveedores fuimos informados que el stock de modelos realmente disponibles es muy limitado. Por ello se eligió el modelo TEC1-17205 de la empresa PACIFIC SUPERCOOL Ltd. por ser una de las más comerciales. Las características eléctricas y físicas del dispositivo aparecen detalladas en las siguientes tablas.

Tabla 6: Especificaciones técnicas de la celda Peltier (TEC1-12706).

Temperatura del lado caliente(°C)	25°c	50°c
Q_{max} (watts)	50	57
Delta Tmax(°C)	66	75
I_{max} (Amps)	6.4	6.4
V_{max} (volts)	14.4	16.4
Resistencia del modulo	1.98	2.30



Ilustración 23: Celda Peltier TEC1-12706.

4.5 Selección de los disipadores.

Los disipadores extraen el calor de un componente que refrigera y lo transfieren al exterior, normalmente al ambiente. Para ello es necesario una buena conducción de calor a través del mismo, por lo que se suelen fabricar de aluminio por su ligereza, pero también de cobre, mejor conductor del calor.

Un una celda Peltier es muy importante el uso de disipadores de calor en la cara caliente porque no tiene la capacidad de disipar el calor que genera por sí misma, el uso del disipador ayuda el rendimiento de la celda.

Es la siguiente tabla se presenta las características de los disipadores seleccionados. Tiene la capacidad de disipar $.7^{\circ}\text{C}/\text{W}$ a una convención forzada de 2 m/s.

Tabla 7: Características físicas del disipador H5219.

Largo(mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)
100	100	40



Ilustración 24: Dissipador de aluminio H5219.

4.6 ventilación.

La selección del ventilador es parte crucial en el montaje de un sistema Peltier. La eficiencia del sistema dependerá en un porcentaje del tipo de ventilación seleccionado, tomando en cuenta el ruido y los niveles de vibración deseados.

Se puede reducir la temperatura de la cara caliente en una celda Peltier mediante un ventilador o haciendo circular un fluido mediante ductos y una bomba, en contacto directo con el dissipador de aluminio.

Para el diseño de nuestro prototipo seleccionamos ventiladores con geometría pequeña debido a las dimensiones de la maquina en la cual se instalara el prototipo, así también por la economía con la que se dispone.

A continuación se presentan las características generales de los ventiladores seleccionados.

Tabla 8: Especificaciones técnicas del ventilador.

Características.	
Altura (in)	.98
Ancho (in)	4.72
Profundidad (in)	4.72
Volumen de flujo de aire (m ³ /min)	44
Velocidad del ventilador (rpm)	1200

Se presenta una ilustración del ventilador seleccionado.



Ilustración 25: Ventilador NS-PCF1250 (insignia, 2015).

4.7 Prototipo ensamblado.

Se presenta la propuesta diseñada, mediante un ensamble realizado en el software solidworks.

Ensamble del prototipo, en solidworks.

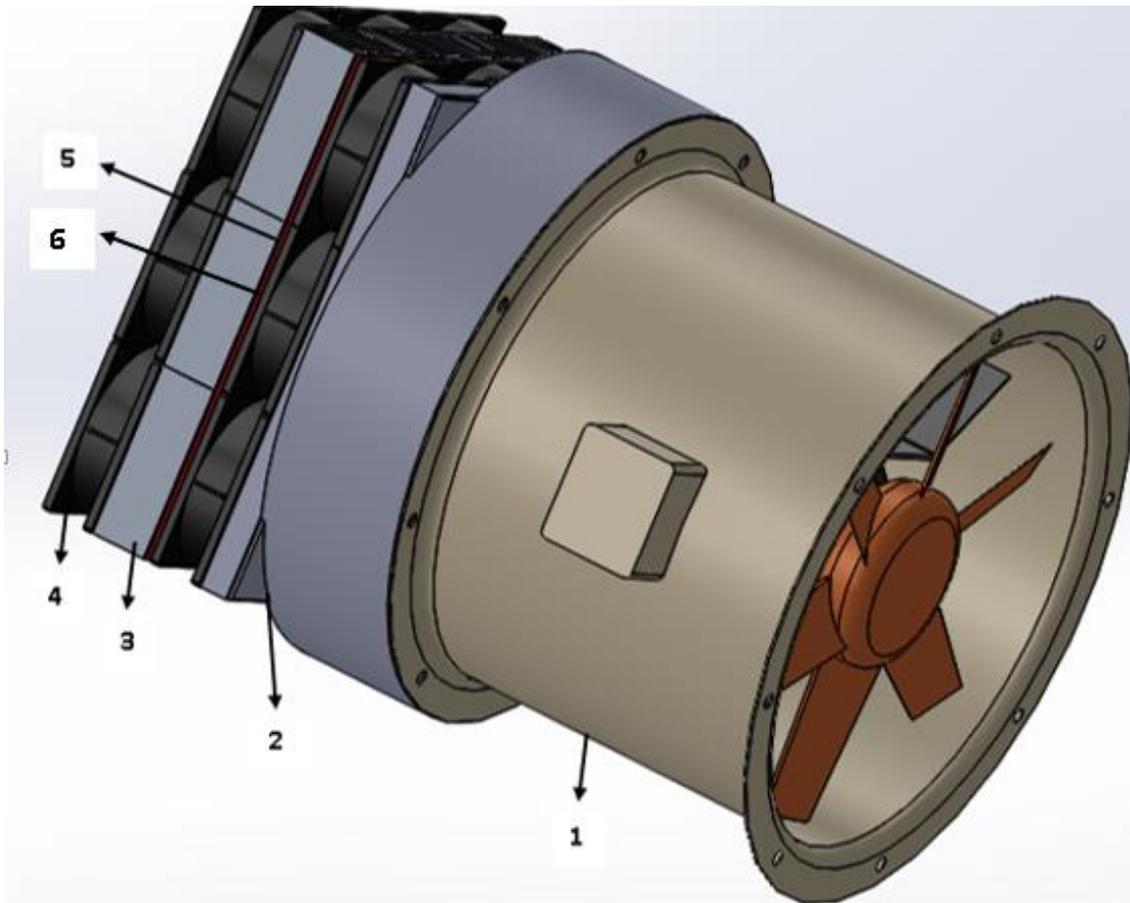


Ilustración 26: Vista isométrica del prototipo propuesto.

Nota: En la ilustración 26, las celdas Peltier se colocaron sobre el aislante, generando un panel con 36 celdas.

Tabla 9: Lista de componentes del ensamble, ilustración 4.4.

Números	piezas
1	Ventilador industrial
2	Acoplamiento ventilador-panel
3	Disipadores de aluminio
4	Ventiladores
5	Aislante
6	Celdas Peltier

A continuación se presentan dos propuestas para la colocación de los ventiladores industriales, y aprovechar mejor la distribución del flujo de aire.

Las simulaciones se generaron en el software (Comsol Multiphysics), con una simplificación en 2D debido a que el software consume muchos recursos al realizar las simulaciones y no contamos con el equipo sofisticado, se realizó el análisis de la trayectoria del fluido, con cuatro ventiladores industriales colocados en diferente posición.

4.8 Análisis 1: Distribución del fluido de trabajo sobre el molde.

Se colocan los cuatro ventiladores es la parte posterior del tinaco, para tratar de evitar que se cree una separación muy grande entre las capa límite del fluido y se genere una región de estela con gran dimensión.

Tabla 10: Datos de entrada para la simulación.

Datos de entrada	
Velocidad	7 m/s
Tipo de fluido	Gas (aire)
Material del molde	Acero ASTM A240 calibre 14
Tipo de flujo	Turbulento.

- Geometría planteada para la simulación.

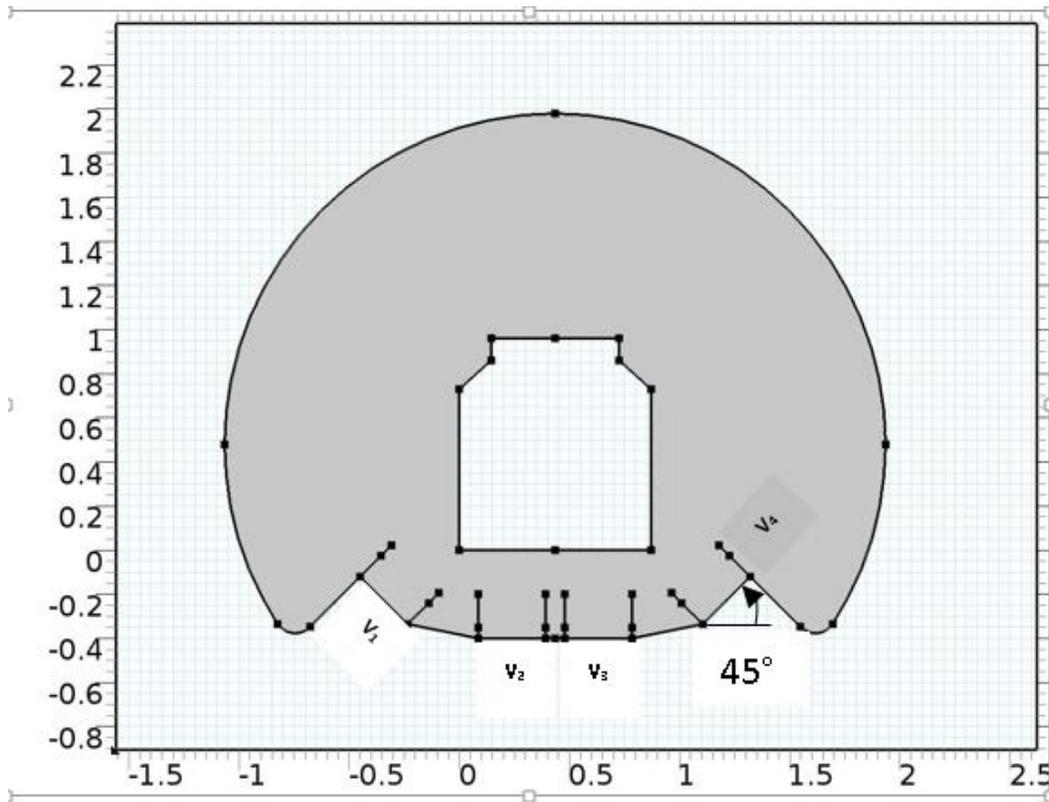


Ilustración 27: Geometría del tinaco, y ubicación de los ventiladores.

En la ilustración anterior se aprecia la distribución de los cuatro ventiladores, cada uno designado con una “V” (ventilador), y un número como subíndice enumerando cada ventilador.

Seleccionamos el aire, como fluido de trabajo. Se representa con una tonalidad celeste en la simulación.

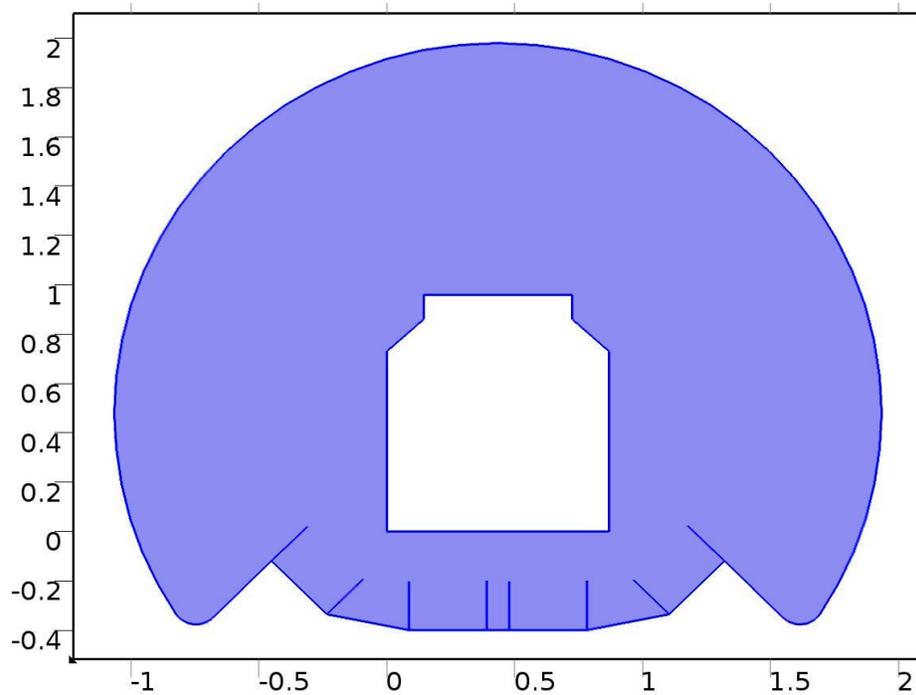


Ilustración 28: Representación del medio ambiente.

Superficie: Magnitud de velocidad (m/s)
 Superficie de flechas: Campo de velocidad
 Línea de Flujo: Campo de velocidad

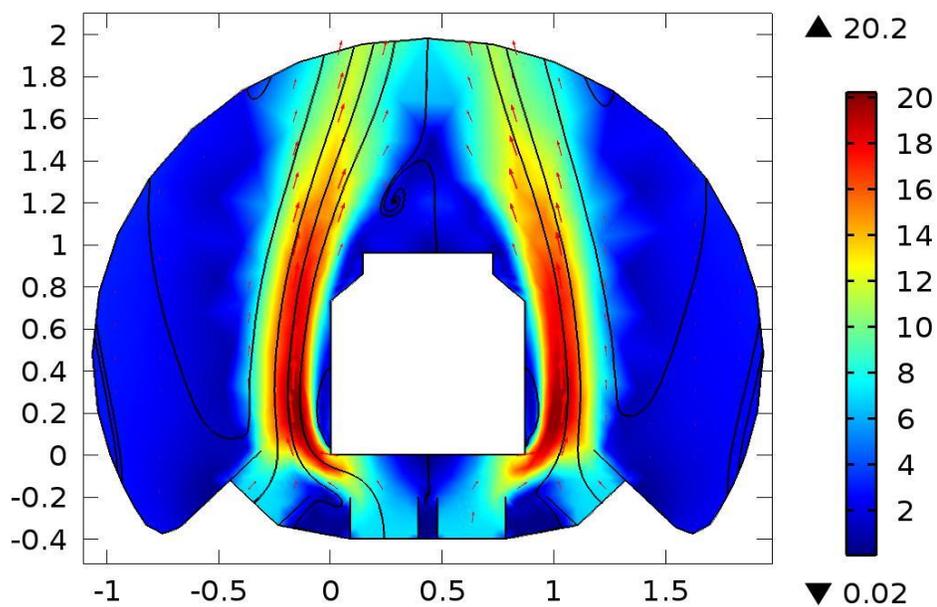


Ilustración 29: Comportamiento del fluido (aire), líneas de dirección de flujo con flechas.

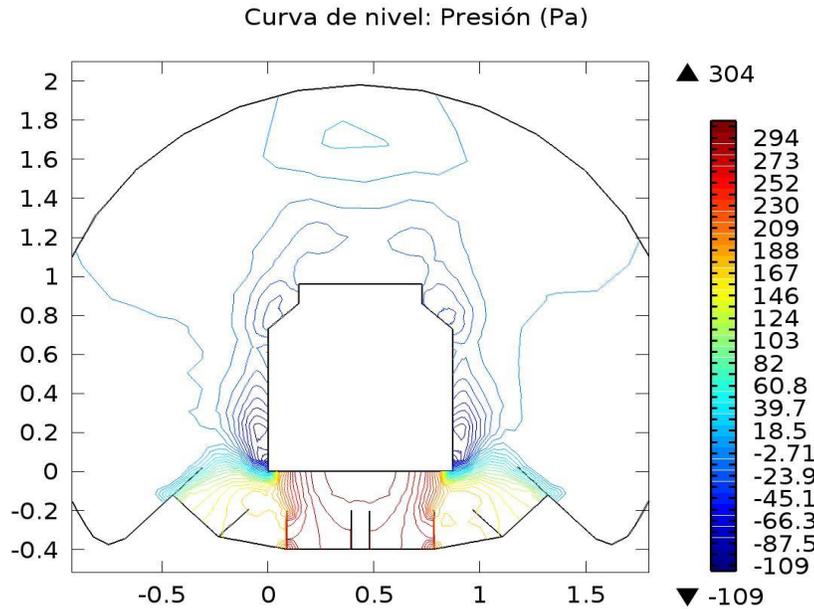


Ilustración 30: Curvas de presiones del fluido de trabajo.

Resultados.

Al realizar la simulación se generaron los siguientes resultados.

En la ilustración 29, se observa el comportamiento de los diferentes tipos de velocidades alrededor del molde los cuales se diferencian según su magnitud y se puede ver el cambio de velocidad de acuerdo a la barra de colores y las velocidades están expresadas en m/s.

4.9 Análisis 2: Distribución del fluido de trabajo sobre el molde.

Para este análisis se colocaron los ventiladores en cuatros esquinas diferentes rodeando al tinaco para mejorar y hacer más uniforme la distribución del fluido. Las dimensiones están metro (m).

- Geometría planteada para la simulación.

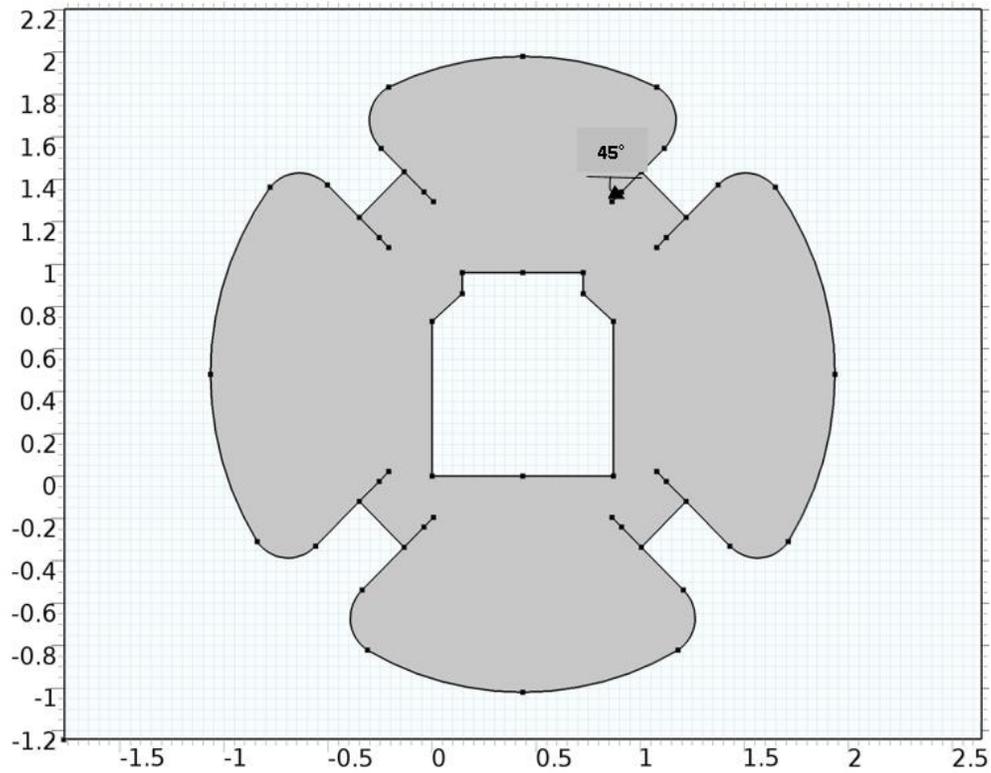


Ilustración 31: Ubicación de los ventiladores, en la geometría planteada.

De la ilustración 31 se aprecia una orientación de 45° en un ventilador, los otros tres ventiladores se orientaron con el mismo grado de inclinación con dirección al molde.

En la siguiente ilustración seleccionamos aire, como fluido de trabajo. Se representa con una tonalidad celeste en la simulación (ilustración 33).

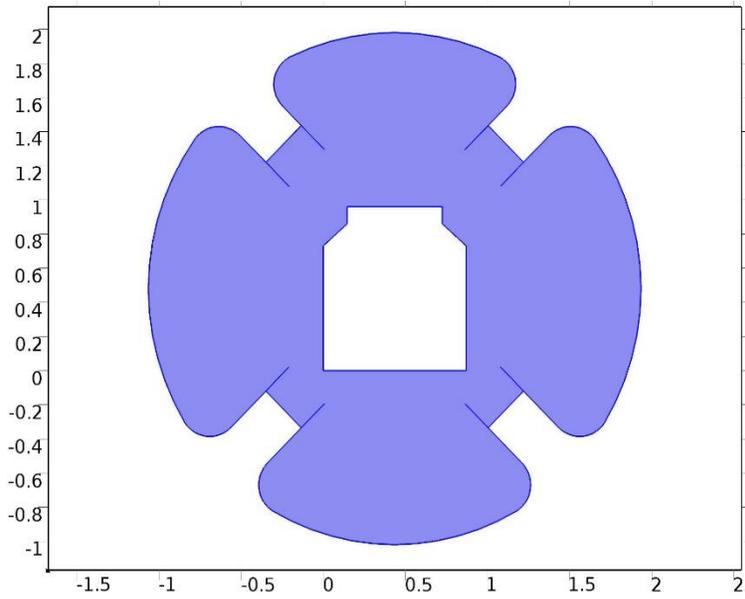


Ilustración 32: Representación del medio ambiente, rodeando al molde.

- Resultados:

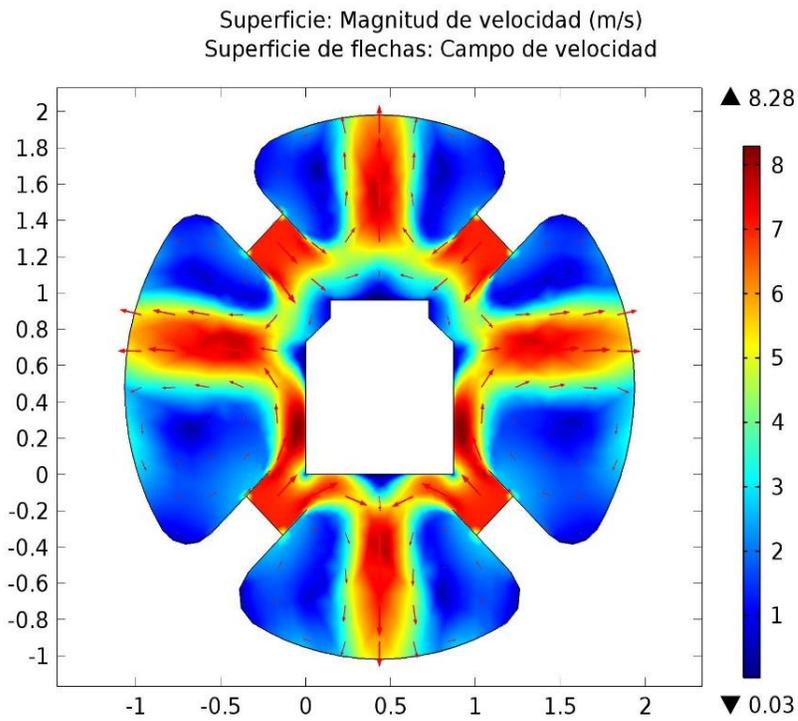


Ilustración 33: Magnitud de velocidades (m/s) y distribución de flujo del trabajo.

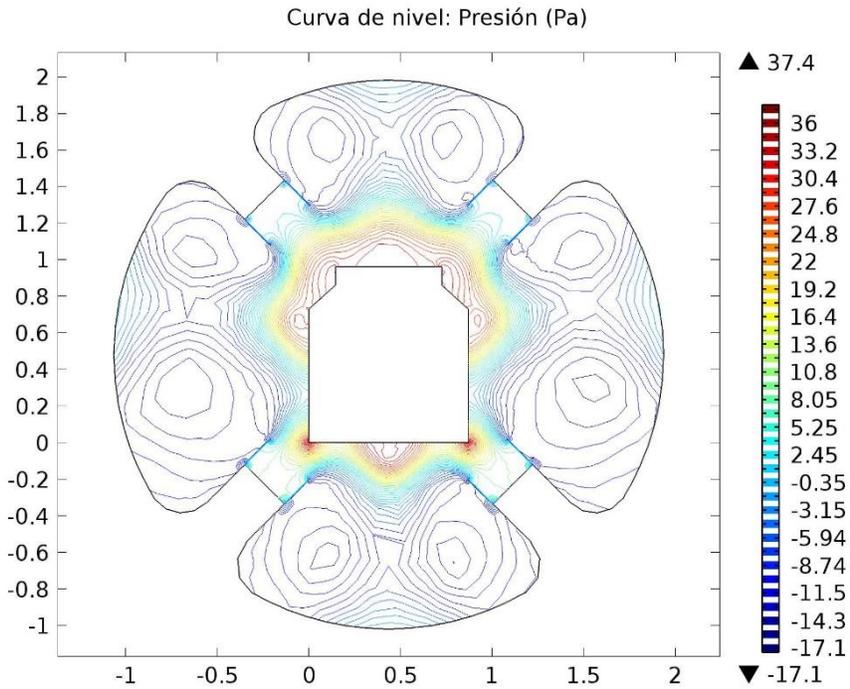


Ilustración 34: Curvas de nivel de presión de aire (pa).

RESULTADOS.

Como se observa en las ilustraciones 33, 34, se presenta las ilustraciones de las velocidades y presiones que se generarían con la condiciones de entada planteadas en la tabla 8, se aprecia una mejor distribución del fluido de trabajo, en contacto directo con la superficie del molde.

Por lo que se concluye que el segundo análisis es más eficiente comparándolo con el primero, con lo que se procederá a realizar el análisis de temperatura.

CAPUTILO V.

Análisis de resultados.

A continuación se presentan dos análisis como seguimiento de las simulaciones generados en el capítulo anterior, estos análisis son simulaciones térmicas. Las simulaciones se realizaron en el software Solidworks, debido a complicaciones que se presentaron no pudieron realizarse en Comsol Multiphysics.

La siguiente simulación corresponde a las características del análisis 1 del capítulo 4, se presenta una tabla con los datos de entrada.

Tabla 11: Datos de entrada, simulación térmica 1.

Datos de entrada.	
Coeficiente de transferencia de calor (h)	15.4 W/m ² K
Temperatura inicial	230 °C
Temperatura del fluido de convección	20 °C

Para los siguientes análisis se realizó una simulación de tipo térmico (transitorio) con una duración de 600 seg, y un incremento de 3 seg. Se pretende optimizar el tiempo de enfriamiento de los molde, el tiempo utilizado actualmente está dentro de un rango de 15 a 20 min.

5.1 Resultados Simulación térmica 1.

La temperatura inicial es aplicada en todas las caras del molde, mientras que el aire por convención se aplica a las caras exteriores del molde. La siguiente ilustración muestra el molde y las caras seleccionadas, por donde circulara el aire por convección.

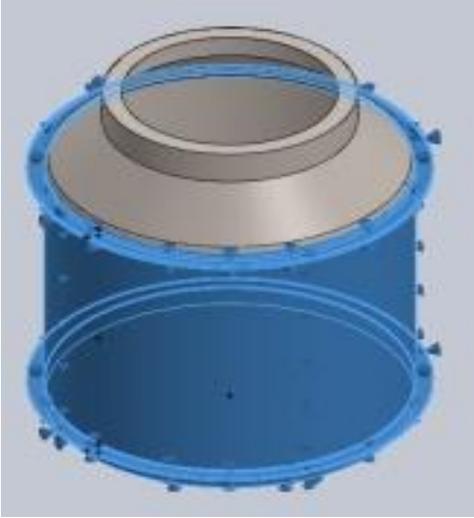


Ilustración 35: Selección de caras en el molde, para aplicar fluido de convección.

Se aplicó un mallado fino para poder apreciar mejor los resultados.

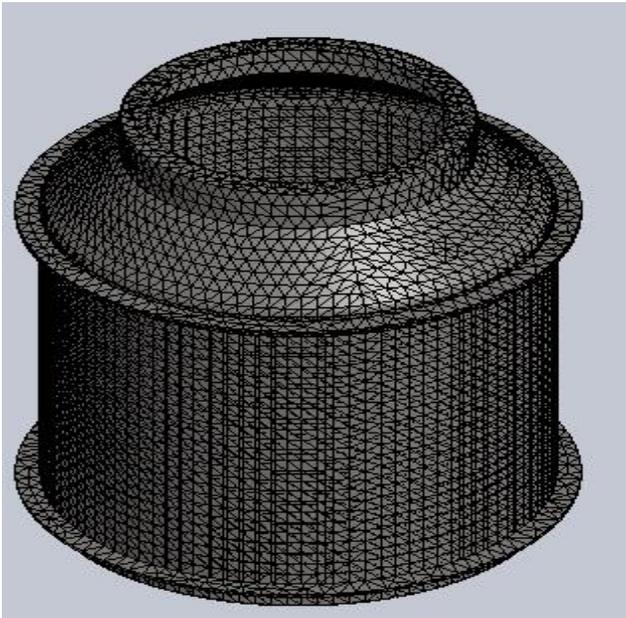


Ilustración 36: Molde con malla fina, para simular y apreciar mejor los resultados de temperatura.

La siguiente ilustración se obtuvo con la simulación térmica realizada, se representa el comportamiento, del proceso de enfriamiento de un molde en un periodo de 10 min.

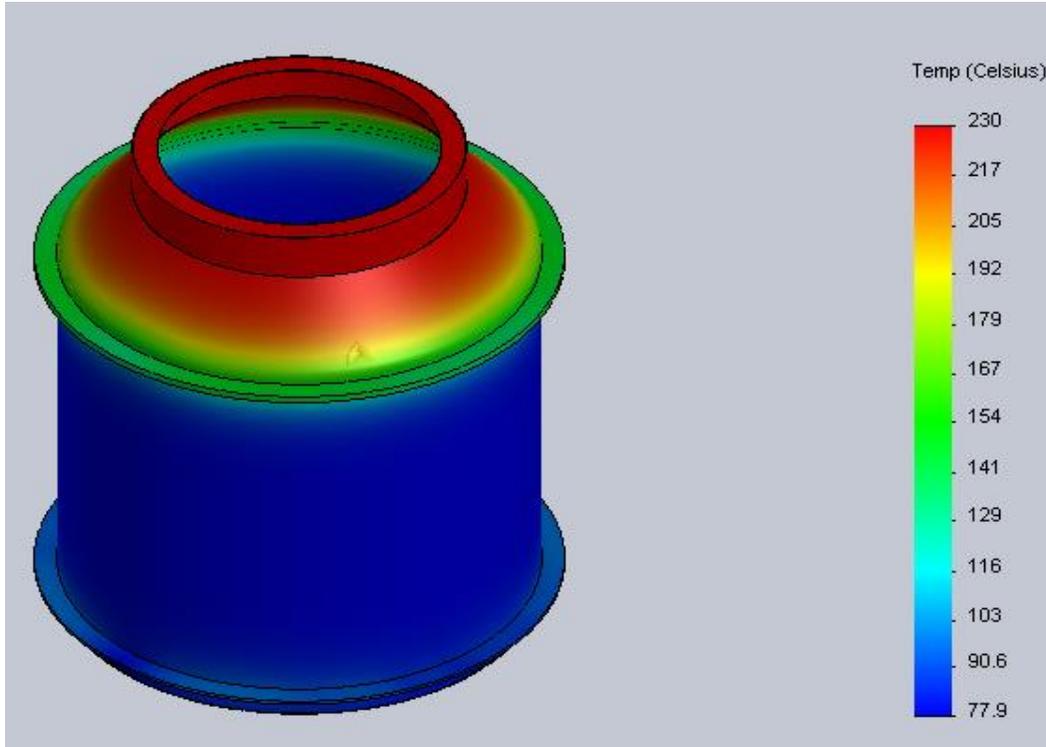


Ilustración 37: Resultados obtenidos de la simulación térmica. Con barra de colores para apreciar la distribución de diferentes temperaturas obtenidas.

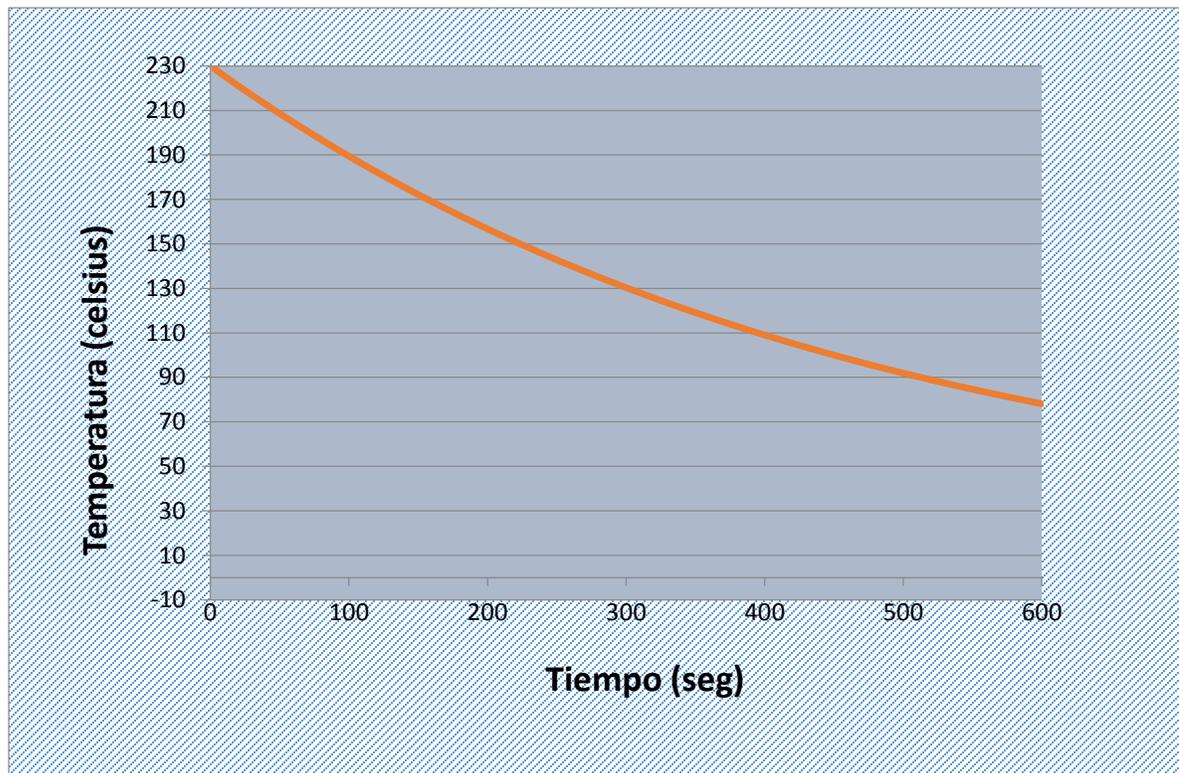
Tabla 12: Resultados, temperaturas máximas y mínimas, simulación 1.

Temperaturas obtenidas.	
Temperatura mínima (azul)	77.9 °C
Temperatura media (verde)	165.3 °C
Temperatura máxima (rojo)	228 °C

En la ilustración anterior se puede observar que la distribución de temperaturas no es uniforme, varían repentinamente en diferentes secciones del molde, debido a la posición de los ventiladores, el fluido de trabajo no se distribuye correctamente y no hace contacto con toda la superficie a alta temperatura del molde, lo cual limita

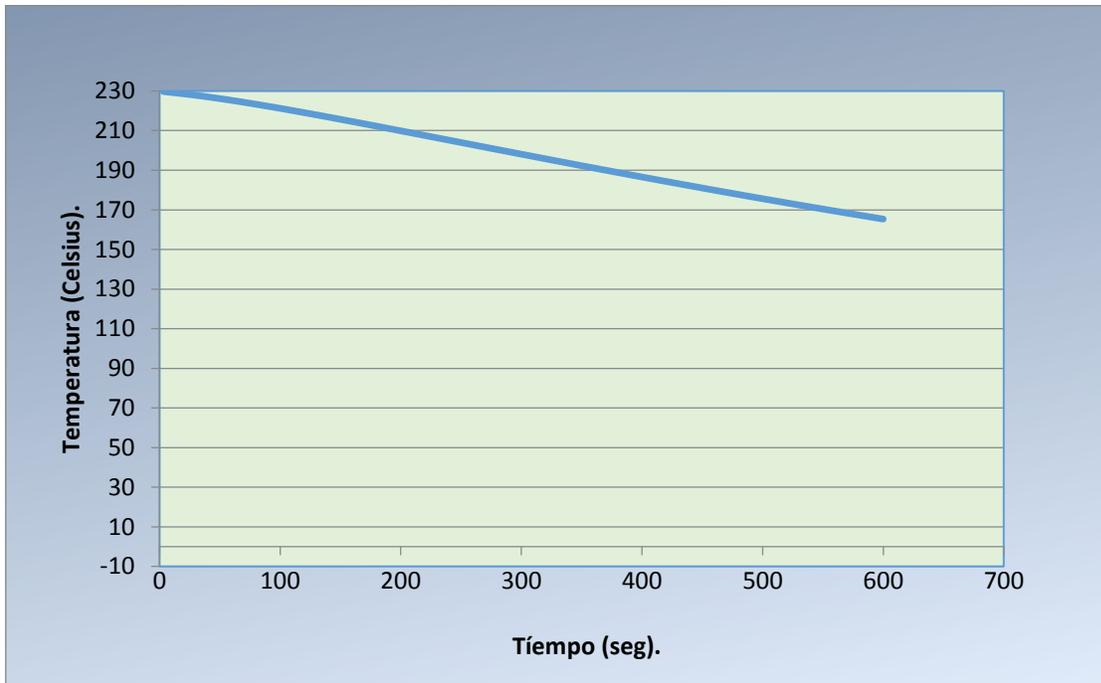
la transferencia de calor del molde hacia las corrientes fluidas de aire a menor temperatura generadas por los ventiladores y resulta menos eficiente el proceso de enfriamiento. A continuación se presentan las gráficas del comportamiento de la temperatura durante el análisis transitorio.

Grafica de la sección cilíndrica de molde (Azul), se obtiene una temperatura mínima de 78 °C.



Grafica 1: Grafica del comportamiento de la temperatura durante 600 seg.

Para la sección verde se obtiene la siguiente gráfica. Con una temperatura mínima de 165.3 °C.



Grafica 2: Grafica de temperatura-tiempo, simulación 1.

Los resultados obtenidos en la simulación anterior, no son satisfactorios ya que el molde no logra enfriarse como se desea, esto conlleva a la obtención de un producto malo y no lograr los objetivos planeados.

Procedemos a realizar la segunda simulación, correspondiente al análisis 2 del capítulo 4.

5.2 Resultados Simulación térmica 2.

En esta simulación se aplica aire por convección en todas las caras el molde, respectivamente por el análisis realizado en el capítulo anterior. La siguiente ilustración muestra el molde y las caras seleccionadas donde circulara el fluido de trabajo.

Los datos de entrada para realizar esta simulación son los mismos, que se utilizaron para la simulación 1, consultar tabla11.

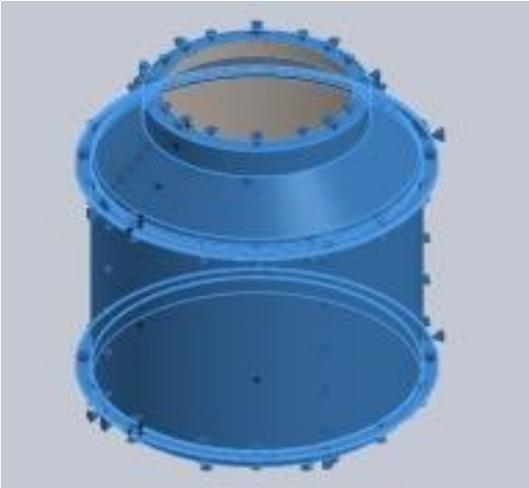


Ilustración 38: Selección de caras en el molde, para aplicar aire por convección forzada.

- Se realizó un mallado fino para poder apreciar mejor los resultados.



Ilustración 39: Mallado fino en el molde.

La siguiente ilustración se obtuvo al finalizar el análisis térmico y representa el comportamiento del proceso de enfriamiento del molde, en un periodo de 10 min.

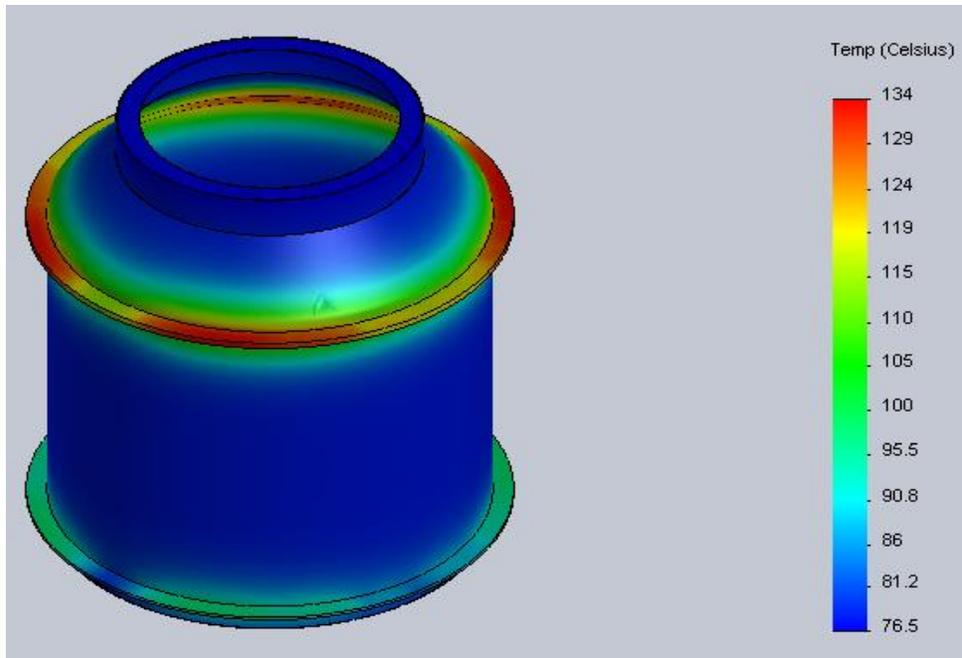


Ilustración 40: Presentación de resultados, con barra de colores para las diferentes temperaturas generadas.

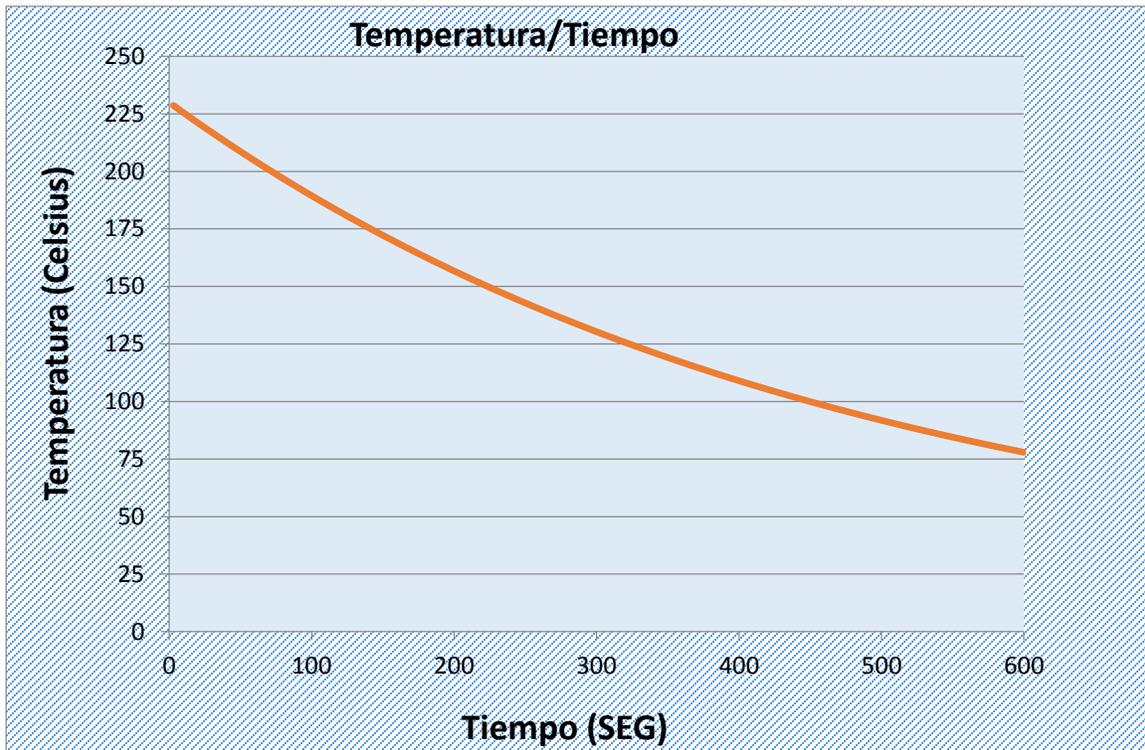
Se obtuvieron los siguientes resultados

Tabla 13: Temperaturas máximas y mínimas obtenidas en la simulación 2.

Temperaturas obtenidas	
Temperatura máxima	134°C
Temperatura mínima.	76.5 °C

De la ilustración anterior se aprecia que el molde es enfriado casi uniformemente, las parte de color rojo son las de mayor temperatura y las azules son las menor temperatura, que son las que cubren mayor superficie del molde.

La gráfica siguiente fue obtenida a través de la simulación realizada y se puede observar el comportamiento de la temperatura respecto al tiempo, comprobando que se hace más eficiente el proceso de enfriamiento. A los 10 min de análisis transitorio se obtiene una temperatura de 76.5 °C.



Grafica 3: Grafica del comportamiento de temperatura, en 10 min, simulación 2.

Mediante la simulación realizada se observa que el proceso de enfriamiento en este análisis es más eficiente que el usado actualmente, en el cual el molde se logra enfriar hasta 90°C en 15 min, con los resultados de la simulación se puede decir que el prototipo diseñado es más eficiente y podría enfriar el molde de acero inoxidable hasta 76.5 °C en 10 min, por lo tanto se reducen los tiempos de producción y gastos.

5.3 Conclusión

Los resultados obtenidos a través de análisis y simulaciones realizados en diferentes softwares (Solidworks y Comsol Multiphysics), son claros y favorables, en las últimas gráficas presentadas, se aprecia comportamiento de la temperatura respecto al tiempo, se disminuyen 5 min al tiempo usado actualmente para enfriar el molde y se logra disminuir un rango de temperatura de 20-25 °C más de lo que actualmente se disipa empleados los ventiladores industriales. Por lo que se concluye que construyendo el prototipo planteado con todas sus características se lograría hacer más eficiente el proceso de enfriamiento logrando cubrir una necesidad de la empresa Rotoinnovación SA de CV.

Se cubren completamente los objetivos planteados en el capítulo 2, principalmente se logra lo que la empresa requería como es: un ahorro en los costos de producción, minimizar los tiempos de producción y se sigue conservando la misma calidad del producto.

Referencias

Angeles Zurita Rosa, M. T. (2015). *Estudio de las características de los sistemas termoelectricos y su aplicación*. Mexico, D.F.

Crawford, R. J. (2002). *Rotational molding technology*. New York: plastic desing Library.

extractor de aire. (10 de 11 de 2015). Obtenido de www.extractordeaire.com.mx

insignia. (15 de 11 de 2015). Obtenido de <http://www.insigniaproducts.com>

Patterson, G. (05 de 12 de 2007). Efecto Peltier.

ramirez, L. d. (2010). Mexico, Df.

Rotoinnovación . (10 de 11 de 2015). Obtenido de <http://www.rotoinnova.com/>

Rotoinnovación SA de . (s.f.).

Salgado, E. J. (23 de 02 de 2006). Diseño de un sistema de aire acondicionado portátil termoeléctrico.

Tavez, J. E. (2006). Estudio del comportamiento de un sistema de refrigeración mecánica utilizando un módulo termoelectrico como intercambiador. Mexico, DF.

TE TECHNOLOGY, INC. (15 de 08 de 2015). Obtenido de <http://totech.com/peltier-thermoelectric-cooler-modules/high-performance/>

The free dictionary. (05 de 10 de 2015). Obtenido de <http://es.thefreedictionary.com/tardanza>

Yarke, E. (20 de 11 de 2015). *Google books*. Obtenido de https://books.google.com.mx/books?id=Z4cUzMGDpl8C&pg=PA42&lpg=PA42&dq=sistema+de+enfriamiento++por+conveccion+forzada+calculos&source=bl&ots=YoyCVdVYIm&sig=54Cew-EcTilf0Tn9q9H1TJCxllc&hl=es-419&sa=X&ved=0CDQQ6AEwBWoVChMIj9m_6LuzxwIVCtSACH2G8gSH#v=onepage&

Yunes A Cengel, M. A. (2012). *Termodinámica*. (7 ed.). México, DF: McGraw-Hill.

Yunus A.cengel, A. J. (2011). *Transferencia de calor y masa*. (cuarta edición ed.). México,D.F: Mc GrawHill.