



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



DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

REPORTE DE RESIDENCIA:

**DISEÑO DE SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE UN
MOLDE DE ACERO INOXIDABLE MEDIANTE UNA RED
DE RESISTENCIAS ELÉCTRICAS PARA AUMENTAR LA
EFICIENCIA DE ENERGÍA EN EL PROCESO DE
ROTOMOLDEO.**

**RESIDENTE
CRUZ SIU JESUS**

**ASESOR INTERNO
ING. PEDRO TOMAS ORTIZ Y OJEDA**

**ASESOR EXTERNO
DR. NICOLAS JUAREZ RODRIGUEZ**

TUXTLA GUTIERREZ, CHIS. DICIEMBRE 2015

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	7
CAPITULO 1	9
CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA EN QUE SE PARTICIPÓ.....	9
1.1 Datos Generales	9
1.1.1 Rotoinnovación SA DE CV	9
1.1.1.1 Logo de la empresa.....	9
1.1.2. Ubicación de la empresa	9
1.1.3 Giro de la empresa	10
1.1.4 Tamaño de la empresa	11
1.1.5. Rama	11
1.2 Antecedentes de la empresa	12
1.3 Organigrama	13
1.4 Misión, visión y políticas.....	13
1.5 Productos y clientes	14
1.6 Certificación ISO 9001:2008	15
1.7 Relación de la empresa con la sociedad.....	16
CAPITULO 2	16
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA O ÁREA DE OPORTUNIDAD	16
2.1 Caracterización del área en que realizó el proyecto.	16
2.2 Objetivos	17
2.2.1 Objetivo general.....	17
2.2.2 Objetivos específicos	17
2.3 Justificación.....	17
2.4 Problemas a resolver	18
2.5 Alcances y limitaciones	18
2.5.1 Alcances	18
2.5.2 Limitaciones.....	19
CAPITULO 3	19
FUNDAMENTO TEÓRICO.....	19
3.1 Fundamento teórico	19

3.1.1 El proceso de rotomoldeo	19
3.1.2 ¿Qué es el rotomoldeo?.....	19
3.1.3 Movimiento rotacional	20
3.1.4 Materiales de rotomoldeo	23
3.2 Características generales de los polímeros	24
3.3 Moldes	28
3.4 Controlador PID	29
3.4.1 Funcionamiento del PID.....	30
3.5 Modulación de ancho de pulso (PWM)	31
3.5.1 Ciclo de trabajo.....	32
3.6 Resistencias electricas.....	32
3.6.1. Características.....	33
3.6.2. Potencia.....	34
3.6.3. Funcion “Ley de Ohm”	34
3.6.4. Tipos de resistencia	35
3.6.4.1. Resistencia banda de núcleo cerámico.	35
3.6.4.2. Cinturón calefactor para bidones eco ancho 180mm.....	35
3.6.4.3. Resistencia de tira mica.....	36
3.6.4.4. Resistencias tubulares.....	37
3.6.4.5. Tubular aletado.....	37
3.6.4.6. Resistencias tubulares de inmersión	38
3.6.4.7. Resistencia banda mica.....	39
3.6.4.8. Calentadores cuerda OMEGALUX®	39
3.6.4.9. Resistencia de caucho de silicona.....	40
3.7 Transferencia de la energía	44
3.8 Balances de energía	46
3.8.1. Balance de energía para sistemas cerrados (masa fija).	46
3.8.2 Balance de energía para sistemas de flujo estacionario.....	47
3.8.3. Balance de energía en la superficie.....	50
3.9 Mecanismos de transferencia de calor.....	51
3.10 Conducción	51

3.10.1. Conductividad térmica	54
3.10.2 Difusividad térmica.....	55
CAPITULO 4	56
DESARROLLO DEL PROYECTO.....	56
4.1 Funcionamiento del sistema	56
4.2 Análisis de resistencia.....	57
4.2.1 Prueba placa muestra a 100 PWM	58
4.2.2 Prueba placa muestra a 40 PWM	60
4.2.3 Prueba placa muestra.....	62
4.2.4 Prueba sección de molde 450L	63
CAPITULO 5	65
ANÁLISIS DE RESULTADOS	65
5.1 Distribución de resistencias en el molde	65
5.2 Resultados	66
5.3 Simulación del sistema	69
5.3.1.1. Físicas	70
5.3.1.2. Ecuaciones utilizadas por el software	70
5.3.1.2.1. Ecuaciones de corriente eléctrica.....	70
5.3.1.2.2. Ecuaciones de transferencia de calor.....	70
5.3.1.3. Datos de entrada	70
5.3.1.4. Mallado	70
5.3.2 Proceso	71
5.3.2.1. Estudio.....	71
5.3.3 Postproceso	72
5.3.3.1 Resultados del estudio.....	72
CONCLUSIÓN	74
FUENTES BIBLIOGRAFICAS.....	75

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: molde 450L	8
Ilustración 2: logotipo de la empresa.....	9
Ilustración 3: ubicación de la empresa	10
Ilustración 4: certificado de calidad ISO 9001:2008	15
Ilustración 5: croquis de la empresa.....	16
Ilustración 6: polímero	19
Ilustración 7: movimiento rotacional	20
Ilustración 8: calentamiento del molde	21
Ilustración 9: materia prima	21
Ilustración 10: enfriamiento	22
Ilustración 11: desmolde	23
Ilustración 12: macromoléculas de los tipos de polímero	27
Ilustración 13: resistencia banda de núcleo cerámico	35
Ilustración 14: resistencia para bidones eco ancho 180 mm	36
Ilustración 15: resistencia de tira mica	36
Ilustración 16: tubular aletado	38
Ilustración 17: resistencia tubular de inmersión.....	38
Ilustración 18: resistencia banda mica	39
Ilustración 19: calentador tipo cuerda OMEGALUX	39
Ilustración 20: resistencias de silicona	41
Ilustración 21: máxima densidad de potencia permisible	43
Ilustración 22: tabla de máxima operación de temperatura de la resistencia de silicona.	44
Ilustración 23: Las formas sensible y latente de energía interna se pueden transferir como resultado de una diferencia de temperatura y se mencionan como calor o energía térmica.	45
Ilustración 24: El flujo de calor es la transferencia de calor por unidad de tiempo y por unidad de área, y es igual a $q = QA$ cuando Q es uniforme sobre el área A	46
Ilustración 25: En ausencia de cualesquiera interacciones de trabajo, el cambio en el contenido de energía interna de un sistema cerrado es igual a la transferencia neta de calor.	47
Ilustración 26: El gasto de masa de un fluido en una sección transversal es igual al producto de la densidad de ese fluido, la velocidad promedio del mismo y el área de la sección transversal.	48
Ilustración 27: En condiciones estacionarias, la razón neta de transferencia de energía hacia un fluido en un volumen de control es igual a la razón de incremento en la energía de la corriente de fluido que fluye a través de ese volumen.	49
Ilustración 28: Interacciones energéticas en la superficie exterior de la pared de una casa.....	51

Ilustración 29: Conducción de calor a través de una pared plana grande de espesor Δx y área A.....	52
Ilustración 30: La razón de conducción del calor a través de un sólido es directamente proporcional a su conductividad térmica.....	53
Ilustración 31: En el análisis de la conducción del calor, A representa el área perpendicular a la dirección de transferencia de calor.	55
Ilustración 32: Resistencia de silicona.....	56
Ilustración 33: temperatura de inicio.....	59
Ilustración 34: temperatura final	59
Ilustración 35: Temperatura de inicio	61
Ilustración 36: Temperatura final	61
Ilustración 37: Temperatura tiempo placa muestra.	62
Ilustración 38: Cámara termografía, temperatura final	63
Ilustración 39Tiempo - Temperatura muestra sección	63
Ilustración 40: Cámara termografica sección molde 450L.....	64
Ilustración 41: Distribución de resistencias en el molde	65
Ilustración 42: molde de 450 en 2D.....	69
Ilustración 43. Proceso de mallado	71
Ilustración 44: Temperatura del molde	72
Ilustración 45: contornos isotérmicos	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: características de algunos polímeros	26
Tabla 2: propiedades del HDPE	27
Tabla 3: propiedades físicas de algunos materiales para moldes	29
Tabla 4: Propiedades del molde.....	66
Tabla 5: Propiedades por zona	67
Tabla 6: Cantidad de calor por zona	67
Tabla 7: Densidad de carga	68
Tabla 8: Resistencias eléctricas sugeridas	68

INTRODUCCIÓN

En este proyecto se hará un estudio para eficientar el calentamiento de moldes de tinacos de máquinas de rotomoldeo por medio de resistencias eléctricas.

El moldeo rotacional es un proceso en el que un polímero plástico es fundido por la adición de calor el cual se encuentra dentro de un molde que gira en diferentes planos con el propósito de que este cubra toda la superficie interna del molde para así adopte su forma es decir, consta de cuatro etapas el cual emplea un molde cerrado de paredes delgadas y fabricado con materiales que posean una alta capacidad de transferencia de calor. En el molde se requiere una entrada para la alimentación de materia prima, también debe ser diseñado para separarse en secciones y de ésta forma retirar las piezas solidificadas en su interior.

Para él proceso, se coloca una cantidad conocida de plástico pulverizado en el interior del molde, que rota simultáneamente en dos ejes perpendiculares; con la rotación lenta del molde, el material se adhiere a las paredes calientes y cubre toda la superficie homogéneamente. Este principio de operación hace que el material pueda adquirir una diversidad importante de configuraciones para formar piezas de diferentes tamaños, y queda distribuido en toda la superficie con un espesor uniforme.

En general el rotomoldeo parece un proceso de manufactura sencillo, sin embargo, puede llegar a ser tan complejo como se requiera debido a la geometría y configuración del molde, las características de la pieza a fabricar, los materiales empleados. Aun así las etapas por las que debe pasar serán las mismas, esto ha llevado a la generación de una variedad de máquinas de diferentes tamaños y formas, que llevan a cabo el proceso, desde equipos de gran tamaño hasta las más reducidas.

Dicho esto los métodos para aplicar calor son muy variados y difieren en su eficiencia tales como: El rotomoldeo por flama abierta el calentamiento se realiza por mecheros que rodean al molde al aire libre. Lo que provoca que la mayor parte del calor se disipe al medio ambiente. Por otro lado estas máquinas no pueden hacer giros

biaxiales al mismo tiempo. Están sometidas a realizar giros de 360 grados y el siguiente giro lo tienen en aproximadamente 45 grados. Razones por la cual no se pueden realizar piezas complejas por el método de llama abierta. En el método por horneado el molde es introducido en un horno cerrado en donde se hace girar lo cual le permite un mejor control de los parámetros de temperatura. El siguiente método se refiere al de aplicación de energía es el calentamiento por inducción, es un método que al día es aplicado para la fundición por la gran eficiencia en el proceso, trabaja con grandes cantidades de calor con poca potencia puesto que el flujo de calor viene del interior del material a diferencia de la resistencia que este comienza de la superficie y continúa lo que beneficia a una menor cantidad de calor desperdiciada; otro método es el calentamiento que involucra a un intercambiador de calor este método ay que hacerle una modificación en el molde puesto que se requiere hacer pasar un fluido de trabajo, el cual ingresara en forma de serpentín que envolverá a todo el elemento; por ultimo tenemos el método de las resistencias eléctricas tema que abordaremos más afondo, cuyo caso puede ser empleado de diferente manera primeramente se posicionan a una distancia razonable de forma tal de se concentre como en un horno fluyendo de forma de radiación hacia el elemento o en contacto directo logrando que la cantidad de potencia sea mejor aprovechada.

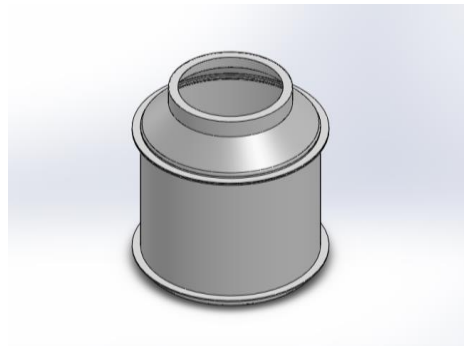


Ilustración 1: molde 450L

Se analiza un molde de 450L para calentar con resistencias eléctricas.

CAPITULO 1

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA EN QUE SE PARTICIPÓ

1.1 Datos Generales

1.1.1 Rotoinnovación SA DE CV

Rotoinnovación es una compañía que está convencida de que las participantes de la XVI Edición del PNTi son organizaciones que buscan mejorar su desempeño y que promueven valores. Sin duda alguna Rotoinnovación forma parte de esas organizaciones que participan activamente en hacer de México un mejor lugar para vivir.

Rotoinnovación 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, y comprometida para asegurar discreción y confidencialidad total, y que nuestra actividad sea competitiva internacionalmente.

1.1.1.1 Logo de la empresa



Ilustración 2: logotipo de la empresa

1.1.2. Ubicación de la empresa

Rotoinnovación SA de CV, es una empresa 100% mexicana ubicada en la ciudad de Berriozábal Chiapas. 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.

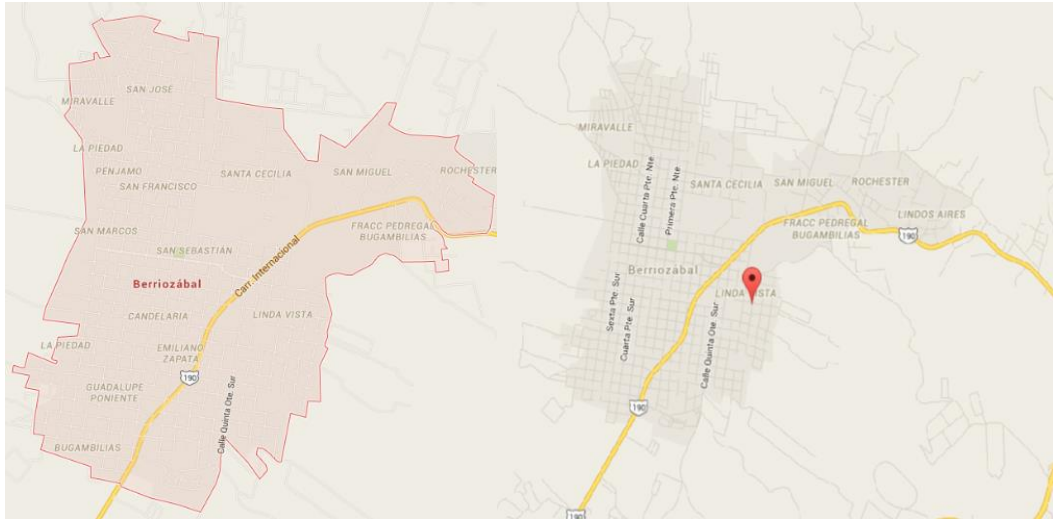


Ilustración 3: ubicación de la empresa

La ubicación exacta de la empresa es 9^a Oriente-sur 973, Entre 2a Sur y 3a Sur, Barrio Linda vista, Berriozábal Chiapas, C.P. 2913

Rotoinnovación S. A. de C. V. es una compañía de base tecnológica que se dedica a la Innovación, está apasionada a proporcionar una calidad superior y constante, y comprometida para asegurar discreción y confidencialidad total, y que su actividad sea competitiva internacionalmente.

1.1.3 Giro de la empresa

La empresa está dedicada a la fabricación de productos realizados con materia a base de plástico (polietileno). Está dividida en cuatro cuentas áreas de trabajo:

- Almacén de materiales directos: donde se almacena el material para la fabricación de los productos, se lleva un control sobre el material existente y la cantidad utilizada en el día.
- Suministros de fábrica: es el área donde está el equipo de oficina, así como el personal a cargo de la coordinación, control y dirección de administración en la empresa.

- Producción en proceso: donde se encuentran las máquinas y los operativos para la fabricación de los tinacos.
- Almacén de artículos terminados: en esta área se encuentra el producto terminado o listo para la comercialización.

Es una empresa que cuenta con instalaciones adecuadas para el proceso de fabricación de tinacos, así como personales capacitados y directivos que mantienen el orden y control a fin de cumplir con ciertos estándares y normatividades establecidas para una empresa de calidad.

1.1.4 Tamaño de la empresa

En base a las características, la empresa Rotoinnovación S. A. de C. V. se encuentra en la categoría de mediana empresa ya que tiene a cargo más de 20 empleados, tiene administración independiente, mantiene capital suministrado por el propietario y cuenta con áreas específicas dentro de la empresa.

1.1.5. Rama

El plástico proviene de PLASTIKOS palabra griega que significa susceptible de ser modelado o moldeado.

Los plásticos son polímeros de elevado peso molecular; esto es, son moléculas gigantes formadas por numerosas unidades repetidas combinadas en agregados muy grandes. El polietileno se obtiene a partir del monómero etileno. Cuando polimeriza, las moléculas de etileno se unen por medio de sus dobles enlaces, formando una larga cadena de varios miles de átomos de carbono conteniendo sólo enlaces simples entre sí.

1.2 Antecedentes de la empresa

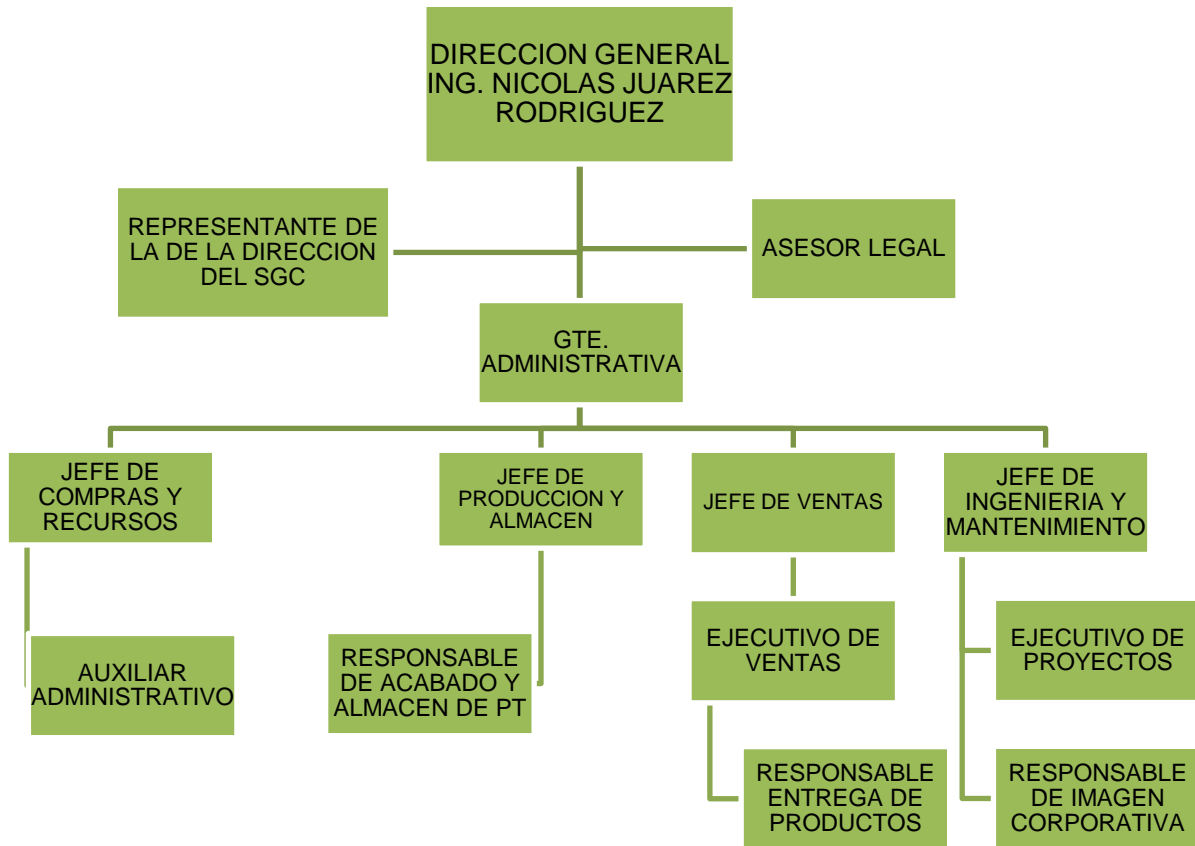
Inicio el 2015 como una de las 11 Organizaciones finalistas de la XVI Edición del Premio Nacional de Tecnología e Innovación (PNTi). Ser finalistas significa el máximo reconocimiento empresarial de México y marca el inicio de un importante y sólido liderazgo a nivel nacional e internacional.

Rotoinnovación es una Compañía que está convencida de que las participantes de la XVI Edición del PNTi son organizaciones que buscan mejorar su desempeño y que promueven valores, sin duda alguna Rotoinnovación forma parte de esas organizaciones que participan activamente en hacer de México un mejor lugar para vivir.

En los últimos años han desarrollado proyectos de innovación, han hecho historia al ganar de manera consecutiva 5 proyectos PEI, es la empresa del sector de rotomoldeo que ha ganado los proyectos más grandes del PEI 2014 y 2015 en todo México, y con nuestra OTC han apoyado Empresas como la VW con la cual este 2015 gano el proyecto más grande en todo México. Los proyectos los han desarrollado en temas de interfaces inteligentes human-machine, visión, nano-polímeros, fundición de moldes de aleaciones especiales de aluminio y cerámicos, control y automatización, y energías renovables como la fotovoltaica.

Toda la compañía inicia el 2015 certificada en ISO 9001:2008 (Validez EMA) y también inicio como OTC (OFICINA DE TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO) certificados por el CONACYT, Secretaria de Economía Federal e INADEM. Se sabe el enorme esfuerzo que está detrás de estos logros, por lo que la empresa da su más sincera felicitación a todo su valioso equipo de colaboradores.

1.3 Organigrama



1.4 Misión, visión y políticas

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.

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.

Hemos afianzado una alianza con empresas líderes y los laboratorios más modernos en nanotecnología, envejecimiento del plástico, pruebas de resistencia, moldes de fundición de aluminio, robótica, energía, diseño, etc.

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.

1.5 Productos y clientes

Los tinacos y cisternas sirven para almacenar grandes cantidades de agua, ya sea para consumo, aseo personal o labores domésticas, la diferencia más importante

entre ellos es la capacidad de almacenamiento y los materiales en que están elaborados; dichos materiales protegen al agua de agentes externos y de proliferación de bacterias al interior.

Existe gran variedad de capacidades en estos tinacos para satisfacer las necesidades del cliente. La venta de este producto va desde compra para consumo doméstico, para negocios donde tengan que almacenar agua y compra para reventa del mismo.

1.6 Certificación ISO 9001:2008



Ilustración 4: certificado de calidad ISO 9001:2008

1.7 Relación de la empresa con la sociedad

La empresa además de ser una célula económicamente activa, es también una célula social por lo que está formada por personas y para personas, la cual se encuentra dentro de la sociedad a la que sirve y no puede permanecer ajena a ella. Las empresas deben de estar comprometidas con la sociedad dándoles un servicio y productos de la calidad así mismo la sociedad debe favorecer al invertir en empresas mexicanas antes que en extranjeras para mejorar la economía del país.

CAPITULO 2

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA O ÁREA DE OPORTUNIDAD

2.1 Caracterización del área en que realizó el proyecto.

La empresa de rotoinnovación como principal aporte es la de la transformación de polímeros en tinacos por lo tanto el desarrollo de su tecnología va desarrollada en principalmente la optimización de ese proceso.

Como se puede observar en la ilustración 5 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.



Ilustración 5: croquis de la empresa

El área de producción, lugar donde se lleva a cabo esta tarea, consta de un número limitado de máquinas todas con el mismo principio de funcionamiento al igual que su aplicación de calor (flama abierta), el cual consta de una eficiencia muy baja.

Todo el proceso se ve limitado a los tiempos de rotomoldeo, es necesario alcanzar la temperatura mínima para la operación y una gran cantidad de energía se ve perdida en el ambiente.

Durante nuestra estancia en la empresa Rotoinnovación SA de CV, se trabajó en el diseño de un nuevo sistema de calentamiento para los moldes de acero inoxidable haciendo una aportación al área de ingeniería y específicamente al departamento de producción.

2.2 Objetivos

2.2.1 Objetivo general

Realizar un diseño de calentamiento en un molde de acero inoxidable a través de una red de resistencias eléctricas que permita la producción de productos rotomoldeados minimizando los tiempos de producción y ahorro de energía.

2.2.2 Objetivos específicos

- Realizar cálculos para la obtención de la potencia requerida para el moldeo rotacional y así enfocar en la selección de la resistencia eléctrica.
- Una vez realizados los cálculos necesarios seleccionar los elementos principales que constituirá el sistema de calentamiento tales como el número de resistencias necesarias y la potencia de cada uno de ellas.

2.3 Justificación

En la actualidad la tecnología ha tenido un avance muy importante en el ámbito industrial; ha habido avances muy significativos para la producción de plástico en proceso de rotomoldeo, pero con el afán de mejorar a un más el sistema de producción; por medio de calentamiento con resistencias eléctricas se pretende mejorar la eficiencia de calentamiento y mejorar el tiempo de producción, sin descuidar la calidad del producto final. En la producción de elementos rotomoldeados

o en cualquier otro tipo de industria el aprovechamiento de los recursos primarios son indispensables para minimizar los gastos de operación. Por ello la variedad de máquinas que se aplican en la industria del rotomoldeo se distinguen entre sí por la simple manera de aplicar calor al molde que las compone, la eficiencia derivada de la rapidez de producción y la cantidad de energía aprovechada por lo que al aplicar uno de los métodos con mayor eficiencia destaca en la reducción de costos ya que al maximizar la potencia disminuye el consumo de fuentes de energía. Esto se ve involucrado en que los productos rotomoldeados tendrían un gasto menor en su producción y por lo tanto la posibilidad de variar costos, lo que beneficiaría a la empresa y sus clientes ya que tendría precios competitivos al mercado propiciando a un aumento en su demanda al mercado de igual forma al trabajar con un proceso de mayor efectividad en cuanto a la inserción y extracción de calor acelera la producción lo que da como resultado el cumplir con la demanda generada.

2.4 Problemas a resolver

El polímero que se emplea en la producción de artículos rotomoldeados, en este caso en particular el polímero de alta densidad que se usa para la producción de tinacos, requiere de una temperatura mínima para alcanzar las condiciones necesarias para su moldeo.

Por lo tanto el conocer la cantidad de potencia requerida para alcanzar esa temperatura y conocer su comportamiento es fundamental para la selección de los sistemas adecuados con fin de aminorar los riesgos de falla, así como el garantizar que la operación se encuentre en condiciones ideales.

2.5 Alcances y limitaciones

2.5.1 Alcances

La aplicación de un método que requiere una red de resistencias eléctricas como fuente de calor aumenta su eficiencia por motivo que las resistencias se encuentran en contacto directo con el molde y con la ayuda de un sistema que permita el control de esta mismas se puede hacer que dé inicio las resistencias eléctricas trabajen al cien por ciento lo que hace que se llegue a una temperatura deseada de forma

rápida, ya obteniendo esa temperatura se baja la potencia de la resistencia para que se mantenga la temperatura y no exceda de lo que necesita el polímero para fundirse y así llevarse a cabo el proceso de rotomoldeo.

2.5.2 Limitaciones

El costo inicial de inversión por la red de resistencias eléctricas así como el equipo de control de esta; así como el cambio de resistencia por daños a ellas si se excede de su capacidad calorífica esta misma se puede dañar y con ello la calidad del producto.

Una revisión constante de las resistencias para asegurar el buen funcionamiento de estas y manteniéndola bien aislado para evitar pérdidas de calor al espacio.

CAPITULO 3

FUNDAMENTO TEÓRICO

3.1 Fundamento teórico

3.1.1 El proceso de rotomoldeo



Ilustración 6: polímero

3.1.2 ¿Qué es el rotomoldeo?

Es el método de transformación de plásticos por medio del cual se pueden fabricar cuerpos huecos de gran variedad de tamaños, formas y texturas.

En el cual se introduce un polímero en estado líquido o polvo dentro de un molde y esta gira en dos ejes perpendiculares entre sí, adapta el material a la superficie del molde.

El proceso del Rotomoldeo permite moldear la resina sin presión y con la temperatura necesaria para fundirla sin degradarla, conservando sus propiedades al máximo.

Una función básica en el Rotomoldeo es hacer que las partículas plásticas se fundan alrededor de las paredes calientes del molde durante el movimiento rotacional y biaxial.

3.1.3 Movimiento rotacional

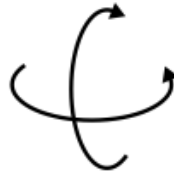


Ilustración 7: movimiento rotacional

El movimiento rotacional es lo que define a este productivo proceso. Similar al movimiento de los planetas, el rotomoldeo se entiende como un molde moviéndose en 2 ejes o planos simultáneamente, de tal manera que el plástico cubre las paredes del molde tomando su forma.

El rotomoldeo es un proceso simple de cuatro etapas en el cual un molde cerrado de paredes delgadas y alta capacidad de transferencia de calor.

El proceso consta de 4 pasos sencillos pero esenciales aquellos por los que el rotomoldeo es una técnica simple y por lo tanto es posible realizar modificaciones para aumentar su eficiencia.

1.- Con anterioridad el proceso iniciaba introduciendo el material al molde y posteriormente era agregado el calor, pero por variaciones en la homogeneidad del producto se opta por comenzar en el calentamiento del molde es decir, se somete a un flujo de calor y simultáneamente se hace rotar sobre uno de sus ejes perpendiculares a fin de permitir que el molde se caliente de manera uniforme.

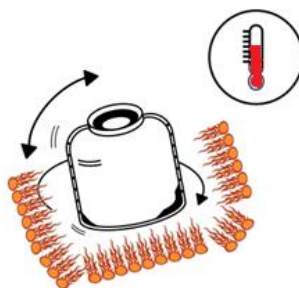


Ilustración 8: calentamiento del molde

2.- una vez que alcanzo la temperatura ideal (180°C) se comienza agregar la cantidad necesaria de materia prima a procesar al interior del molde por medio de la abertura con la que cuenta, que generalmente es un termoplástico en polvo finamente molido; sin embargo también se pueden procesar dispersiones de termoplástico en solventes no volátiles y algunas resinas termoestables. La cantidad de material introducida es el peso deseado de la pieza final. Continúa la rotación a fin de permitir que el material se vaya adhiriendo poco a poco a la pared interna, las partículas en el proceso de rotomoldeo no se funden solo se sinterizan en los puntos de contacto, hasta formar una red tridimensional porosa.

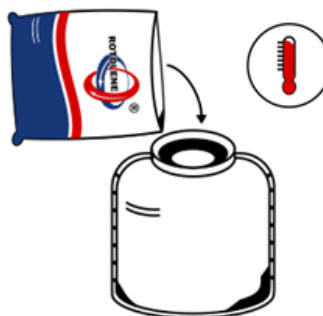


Ilustración 9: materia prima

La etapa de calentamiento del molde y la sinterización de las partículas toma normalmente entre 15 y 40 minutos, para un molde de acero inoxidable. La duración de ésta etapa está directamente relacionada con el espesor de la pared en la pieza final, pues conforme el plástico se deposita sobre las paredes del molde, debido a su baja conductividad térmica, actúa como un aislante que disminuye la transferencia de

calor hacia el material que todavía no se ha incorporado a las paredes. Además este proceso es importante ya que si la pieza no ha sido calentada lo suficiente no alcanzará sus propiedades mecánicas, de igual manera si el proceso de calentamiento es largo el polímero se degradará.

3.- Cuando todo el material plástico ha tomado la forma interna del molde, se procede a enfriarlo para que se endurezca y termine con las características buscadas, durante ésta etapa continúa la rotación, para garantizar uniformidad en la totalidad de la pieza, Como medio de enfriamiento es posible usar agua fría dispersada en gotas sobre la superficie del molde, una corriente de aire con alto nivel de humedad o aire frío.

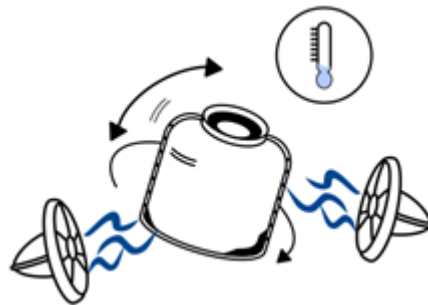


Ilustración 10: enfriamiento

Durante ésta etapa se adquieren las propiedades mecánicas del material y depende de la velocidad de enfriamiento ya que a una velocidad rápida de enfriamiento, las propiedades obtenidas varían completamente de las que se obtendrían al realizar un enfriamiento a una velocidad lenta, por ejemplo al enfriar de manera lenta se aumenta la dureza y reduce la resistencia al impacto de la pieza, un enfriamiento rápido conlleva a una pieza con mayor rigidez y menor dureza.

Además el enfriamiento debe ser tan rápido como sea posible sin provocar que las paredes del artículo se separen del molde debido al vacío provocado en el interior, causando la aparición de deformaciones. La rotación uniforme en ésta etapa del proceso es tan importante como durante el calentamiento, pues garantiza la existencia de tensiones internas, alabeo o deformaciones mínimas en los artículos. La etapa de enfriamiento es muy importante debido a que según las características químicas que posee el polímero se producen efectos sobre las propiedades físicas

del producto, siendo este efecto nulo si se utilizan polímeros amorfos, y dando especial cuidado al uso de polímeros cristalinos ya que se debe producir la menor distorsión en los cristales.

4.- Cuando la pieza se ha solidificado y enfriado hasta una temperatura a la cual sea manipulable por lo general es a los 40°C, se procede a sacarla del molde y se puede iniciar una nueva producción. Esta última etapa, aparentemente muy sencilla, puede llegar a requerir métodos de alta tecnología cuando las piezas fabricadas tienen diseños intrincados o son de gran tamaño.



Ilustración 11: desmolde

Es necesario comprender que el rotomoldeo no hace uso de la fuerza centrífuga que lanzaría el material hacia las paredes del molde, ya que las velocidades de rotación son relativamente bajas, y el polímero comienza a mezclarse de manera regular, como ya se mencionó adhiriéndose a la pared del molde, por otro lado la relación de velocidad entre la rotación de los ejes se ha comprobado de manera experimental que es de 4:1 entre el eje mayor y menor, ya que esta relación permite la formación de una capa de espesor uniforme en la mayor parte de las formas moldeadas.

En muchos casos el molde requiere de un proceso extra que se le hace llamar curado del molde en el cual se le hace llegar a temperaturas de 230°C para que de este modo el desmoldante que es agregado para la fácil extracción del tinaco del molde.

3.1.4 Materiales de rotomoldeo

El proceso de rotomoldeo usa exclusivamente polímeros para la producción de cualquier producto. Estos pueden estar en estado sólido o líquido dependiendo de la

aplicación en la que se va a usar. En la industria del rotomoldeo, 80% de los materiales son del tipo termoplásticos, mientras que el otro 20% son termoestables. De los termoplásticos, el polietileno es el más usado y su participación representa el 85% del mercado mundial. El PVC-Plastisol representa el 12% y en el 3% restante están se reparte entre ABS, nylon, polipropileno, poliéster insaturado, poliestireno, poliuretanos y siliconas. Debido a que el objetivo principal del trabajo es diseñar un sistema de rotación para la fabricación de juguetes, se destacará al PVC-Plastisol como el más importante porque se usa como materia prima para la producción de las partes de muñecas. Sin embargo, debido a que el PVC ha sido atacado fuertemente por organizaciones medioambientales por los plastificantes con los que se mezcla, se pensar en materiales alternativos. Debe resaltarse que el plastificante que se usa (DOP) que no es uno de los que se han prohibido para la fabricación de juguetes.

3.2 Características generales de los polímeros

Los polímeros son macromoléculas constituidas por la unión de moléculas más pequeñas denominadas monómeros. Los monómeros están unidos unos a otros a través de enlaces fuertes o covalentes, mientras que las macromoléculas se unen unas a otras mediante enlaces débiles como puentes de hidrogeno. Estos enlaces débiles hacen que no sean tan resistentes como los metales y pero sí bastante elásticos bajo determinadas condiciones. Los polímeros exhiben dos temperaturas características que marcan los cambios relevantes en las propiedades. La primera es la temperatura de transición vítrea (T_g) que es común en todos los polímeros y se define como la temperatura bajo la cual el material se comporta como un cerámico (rígido y quebradizo) y sobre la cual el polímero es dúctil y flexible. La segunda temperatura es la temperatura de fusión (T_m) que sólo se presenta en los polímeros cristalinos y que se define como la temperatura a la cual el polímero pasa del estado sólido al líquido. Los polímeros también pueden clasificarse en función del cambio de su comportamiento frente a diversas temperaturas como termoplástico y termoestable. Los polímeros termoplásticos son aquellos que exhiben cambios en sus propiedades físicas según la temperatura a los que están sometidos. Un polímero termoplástico puede ser amorfo o cristalino. Un polímero amorfo es un

polímero que solo presenta T_g y tiene una estructura desordenada. Esto significa que las macromoléculas están unas encima de otras y/o enredadas. En contraste, un polímero cristalino es aquel que presenta estructura ordenada porque las macromoléculas tienden a arrollarse en forma de hélices que se alinean unas con otras dando un aspecto de orden. Los polímeros cristalinos se caracterizan por tener T_g y T_m por lo que si se calientan sobre la T_g , conservan sus propiedades mecánicas y las macromoléculas empiezan a adquirir movimiento cuando están la T_m . Dado que no existen polímeros de estructura totalmente cristalina, pero sí de estructura casi amorfa, un polímero cristalino es, en realidad, un polímero semicristalino. Un polímero semicristalino se caracteriza por presentar una fase amorfa y otra cristalina.

Dependiendo de la proporción en que se encuentre una u otra fase, el polímero podrá ser tratado como cristalino o amorfo. La cantidad de fase cristalina y amorfa que conforman un material se especifica con el grado de cristalinidad y normalmente se expresa en porcentaje. Por ejemplo, el PVC puede ser tratado como amorfo por su baja porcentaje de cristalinidad, mientras que el polietileno debe ser tratado como cristalino. El grado de cristalinidad es un buen indicador de las propiedades mecánicas de un polímero. Un polímero con mucha fase cristalina exhibe mejor resistencia que uno con mucha fase amorfa, pero este último es más resistente al impacto. Similarmente, un polímero con mucha fase cristalina es más estable a altas temperaturas que uno amorfo. La tabla 1 muestra el grado de cristalinidad de algunos polímeros termoestables y sus temperaturas características. Por otro lado, un polímero termoestable se caracteriza por presentar sólo fase amorfa y por tanto sólo tiene temperatura de transición vítrea. Se compara siempre con un “huevo duro” ya que una vez que esta cocido no puede suavizarse y lo único que se logra al calentarlo es degradarlo. Si se enfría bajo su T_g se pone frágil y quebradizo.

Los polímeros termoestables no pueden reciclarse por medios convencionales porque al calentarse muy por encima de su T_g se degradan. No pueden fundirse al igual que los termoestables porque no presenta T_m .

Tabla 1: características de algunos polímeros

características de algunos polímeros termoplásticos [Oxford University Press, 1999]

Material	Cristalinidad (%)	Tg °C	Tm °C	Referencia
polietileno de baja densidad (LDPE)	29-40	-118	110	[p.522]
Polietileno lineal de baja densidad (LLDPE)	33-53	-	123	[p.508]
Polietileno de alta densidad (HDPE)	35-90	-116	145	[p.493]
Policloruro de vinil (PVC)	12-18	85	261	[p.928]

Debido a que el objetivo del trabajo está relacionado con la producción de artículos termoplásticos, la siguiente sección se enfoca en describir las características principales de las resinas usadas en el proceso de rotomoldeo.

Polietileno (PE)

El polietileno se obtiene de la polimerización del etileno. Es el polímero termoplástico más usado en la industria del rotomoldeo por su bajo costo y su resistencia al agua, aceites, sustancias alcalinas y ácidos de todo tipo a temperatura ambiente. Es reciclable en su totalidad y con las precauciones adecuadas se puede volver a pulverizar y moldear. Está en estado sólido como polvo o gránulos, siendo el tamaño promedio desde 150 hasta 500 μm .

En general, propiedades como rigidez, contracción, resistencia a la corrosión y dureza crece conforme la densidad aumenta. En cambio, la resistencia al impacto y al cracking decrece conforme la densidad aumenta. Las diferencias entre el polietileno de alta densidad y el de baja densidad tienen que ver con la forma de las macromoléculas. El polietileno de baja densidad (LDPE) tiene macromoléculas con grandes ramas, lo que le confiere buena flexibilidad y resistencia al cracking. Debido a que las ramas son largas, estas no se aglomeran unas con otras disminuyendo las fuerzas de atracción y la densidad debido a que en un mismo volumen hay menos macromoléculas. Por el contrario, el polietileno de alta densidad (HDPE) se caracteriza por tener cadenas poliméricas con ramas muy cortas, haciéndolo un material rígido y fuerte porque las fuerzas de atracción entre macromoléculas son mayores, pero de baja resistencia al impacto y a las bajas temperaturas. Como las

ramas son cortas, las macromoléculas están más compactas y por tanto la densidad tiende a ser mayor. La dureza de estos polímeros es superior a los de baja densidad al igual que su resistencia al cracking (hasta 100 veces mayor). Finalmente, el polietileno lineal de baja densidad (LLDPE) se caracteriza porque las macromoléculas tienen ramas ligeramente más largas que uno de alta densidad y en mayor número. Este tipo de ramas mejora la resistencia y dureza del material en relación con el polímero de baja densidad a la vez que se conserva la resistencia a bajas temperaturas. La ilustración 2 muestra la diferencia entre las macromoléculas de los diferentes tipos de polietileno.

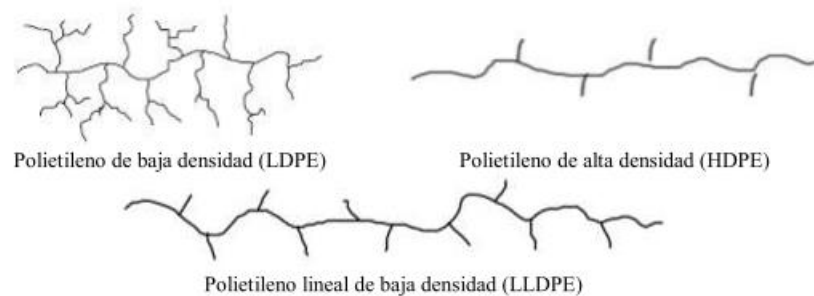


Ilustración 12: macromoléculas de los tipos de polímero

El polímero que se emplea en la planta designada para este diseño es un HDPE con las siguientes propiedades.

Tabla 2: propiedades del HDPE

propiedades del polímero	valores	unidad
Material	HPDE	
Densidad	937	kg/m ³
Masa	11	kg
temperatura de fundición	200	°c
h polímero	669000	j/kg

3.3 Moldes

Los moldes son elementos huecos de una o varias piezas y de buenas propiedades térmicas y resistencia al calor. El espesor de los moldes es pequeño en comparación con otros procesos de fabricación ya que en el rotomoldeo la presión de trabajo es cercana a la ambiental. Los materiales más comunes para la fabricación de moldes son acero, níquel, aluminio y cobre; aunque para aplicaciones especiales se usan moldes de materiales termoestables o de fibra de vidrio. El material adecuado para la fabricación del molde depende de la complejidad de la pieza. Por ejemplo, para la fabricación de tanques de almacenamiento es común usar moldes de acero rolado, pero para moldes de mucha complejidad (rostros) se prefiere usar níquel o cobre electroformado o fundición de aluminio. Indistintamente del material, un molde deben tener las siguientes características básicas:

- El molde debe estar hecho de un material de buena conductividad térmica para favorecer la transferencia de calor entre el portador de energía, el molde y el material.
- El molde debe tener la suficiente resistencia mecánica para no deformarse a pesar de las altas temperaturas del proceso, ya sea durante el enfriamiento o el calentamiento.
- El molde debe tener un respiradero libre de material para que el interior siempre esté a presión atmosférica (o cerca a esta). Si el molde no tiene respiradero, el aire encerrado dentro del molde aumentara su presión como resultado del calentamiento y el molde podría deformarse. Durante el enfriamiento, la disminución de la temperatura hará que la presión del aire disminuya más allá de la presión atmosférica y debido la diferencia de presiones, actuará una fuerza neta sobre el molde que podría deformarlo.
- Los moldes deben tener ángulos de salida apropiados para el desmolde y debe considerarse el encogimiento de los materiales durante el enfriamiento Si un molde consta de dos o más partes, el sistema que cierre debe permitir cerrarlos fuertemente y abrirlos con facilidad.

Una comparación entre las propiedades térmicas de los materiales más usados para la fabricación de moldes se puede ver en la tabla 3 Se observa de la tabla que el

aluminio es el más fácil de mecanizar y comparado con el níquel o el inoxidable presenta mejores propiedades térmicas. Pero la cantidad de energía requerida para calentarla es mayor en comparación con la de los demás si nos referimos a que trabajaremos con moldes grandes.

Tabla 3: propiedades físicas de algunos materiales para moldes

Material	Densidad Kg/m³	Coeficiente de conductividad térmica W/mK	Calor especifico J/kgK	Coeficiente de dilatación térmica (*106) K⁻¹
Aluminio	2800	147	917	23
Cobre	8960	400	385	12
Níquel	8830	22	419	14
Acero inox.	7800	26.1	490	16

Por lo que la mejor opción para moldes de gran tamaño es el acero inoxidable por sus propiedades térmicas.

3.4 Controlador PID

Es un mecanismo de control por realimentación ampliamente usado en sistemas de control industrial. Este calcula la desviación o error entre un valor medido y un valor deseado.

El algoritmo del control PID consiste de tres parámetros distintos: el proporcional, el integral, y el derivativo. El valor Proporcional depende del error actual. El Integral depende de los errores pasados y el Derivativo es una predicción de los errores futuros. La suma de estas tres acciones es usada para ajustar al proceso por medio de un elemento de control como la posición de una válvula de control o la potencia suministrada a un calentador.

Cuando no se tiene conocimiento del proceso, históricamente se ha considerado que el controlador PID es el controlador más adecuado. Ajustando estas tres variables en el algoritmo de control del PID, el controlador puede proveer una acción de control diseñado para los requerimientos del proceso en específico. La respuesta del controlador puede describirse en términos de la respuesta del control ante un error,

el grado el cual el controlador sobrepasa el punto de ajuste, y el grado de oscilación del sistema. Nótese que el uso del PID para control no garantiza control óptimo del sistema o la estabilidad del mismo.

Algunas aplicaciones pueden solo requerir de uno o dos modos de los que provee este sistema de control. Un controlador PID puede ser llamado también PI, PD, P o I en la ausencia de las acciones de control respectivas. Los controladores PI son particularmente comunes, ya que la acción derivativa es muy sensible al ruido, y la ausencia del proceso integral puede evitar que se alcance al valor deseado debido a la acción de control.

3.4.1 Funcionamiento del PID

Para el correcto funcionamiento de un controlador PID que regule un proceso o sistema se necesita, al menos:

Un sensor, que determine el estado del sistema (termómetro, caudalímetro, manómetro, etc.).

Un controlador, que genere la señal que gobierna al actuador.

Un actuador, que modifique al sistema de manera controlada (resistencia eléctrica, motor, válvula, bomba, etc.).

El sensor proporciona una señal analógica o digital al controlador, la cual representa el punto actual en el que se encuentra el proceso o sistema. La señal puede representar ese valor en tensión eléctrica, intensidad de corriente eléctrica o frecuencia. En este último caso la señal es de corriente alterna, a diferencia de los dos anteriores, que también pueden ser con corriente continua.

El controlador lee una señal externa que representa el valor que se desea alcanzar. Esta señal recibe el nombre de punto de consigna (o punto de referencia), la cual es de la misma naturaleza y tiene el mismo rango de valores que la señal que proporciona el sensor. Para hacer posible esta compatibilidad y que, a su vez, la señal pueda ser entendida por un humano, habrá que establecer algún tipo de interfaz (HMI-Human Machine Interface), son pantallas de gran valor visual y fácil manejo que se usan para hacer más intuitivo el control de un proceso.

El controlador resta la señal de punto actual a la señal de punto de consigna, obteniendo así la señal de error, que determina en cada instante la diferencia que hay entre el valor deseado (consigna) y el valor medido. La señal de error es utilizada por cada uno de los 3 componentes del controlador PID. Las 3 señales sumadas, componen la señal de salida que el controlador va a utilizar para gobernar al actuador. La señal resultante de la suma de estas tres se llama variable manipulada y no se aplica directamente sobre el actuador, sino que debe ser transformada para ser compatible con el actuador utilizado.

Las tres componentes de un controlador PID son: parte Proporcional, acción Integral y acción Derivativa. El peso de la influencia que cada una de estas partes tiene en la suma final, viene dado por la constante proporcional, el tiempo integral y el tiempo derivativo, respectivamente. Se pretenderá lograr que el bucle de control corrija eficazmente y en el mínimo tiempo posible los efectos de las perturbaciones.

3.5 Modulación de ancho de pulso (PWM)

Es un término de lujo para describir un tipo de señal digital. Modulación de ancho de pulso se utiliza en una variedad de aplicaciones, incluyendo circuitos de control sofisticado. Una forma común los usamos aquí en SparkFun es para controlar el oscurecimiento del RGB LED o para controlar la dirección de un servomotor. Podemos lograr una serie de resultados en ambas aplicaciones, ya la modulación de ancho de pulso nos permite variar la cantidad de tiempo que la señal es alta de forma analógica. Mientras que la señal sólo puede ser alto (normalmente 5V) o baja (planta) en cualquier momento, podemos cambiar la proporción de tiempo que la señal es alta en comparación con cuando es baja durante un intervalo de tiempo constante.

3.5.1 Ciclo de trabajo

Cuando la señal es alta, la llamamos "a tiempo". Para describir la cantidad de "a tiempo", se utiliza el concepto de ciclo de trabajo. El ciclo de trabajo se mide en porcentaje. El ciclo de trabajo porcentaje describe específicamente el porcentaje de tiempo en una señal digital es en más de un intervalo o período de tiempo. Este período es el inverso de la frecuencia de la forma de onda.

Si una señal digital pasa la mitad del tiempo de encendido y la otra mitad fuera, diríamos que la señal digital tiene un ciclo de trabajo del 50% y se asemeja a una onda cuadrada ideal. Si el porcentaje es superior al 50%, la señal digital pasa más tiempo en el estado alto que el estado de baja y viceversa, si el ciclo de trabajo es menor que 50%.

Ciclo de trabajo del 100% sería el mismo que para ajustar la tensión de 5 voltios (alto). Ciclo de trabajo 0% sería la misma que la señal de puesta a tierra.

3.6 Resistencias electricas

Se le denomina resistencia eléctrica a la igualdad de oposición que tienen los electrones al moverse a través de un conductor. La unidad de resistencia en el Sistema Internacional es el ohmio, que se representa con la letra griega omega (Ω), en honor al físico alemán Georg Ohm, quien descubrió el principio que ahora lleva su nombre.

Para un conductor de tipo cable, la resistencia está dada por la siguiente fórmula:

$$R = \rho \frac{\ell}{S}$$

Donde ρ es el coeficiente de proporcionalidad o la resistividad del material, ℓ es la longitud del cable y S el área de la sección transversal del mismo.

La resistencia de un material depende directamente de dicho coeficiente, además es directamente proporcional a su longitud (aumenta conforme es mayor su longitud) y es inversamente proporcional a su sección transversal (disminuye conforme aumenta su grosor o sección transversal).

Descubierta por Georg Ohm en 1827, la resistencia eléctrica tiene un parecido conceptual con la fricción en la física mecánica. La unidad de la resistencia en el

Sistema Internacional de Unidades es el ohmio (Ω). Para su medición, en la práctica existen diversos métodos, entre los que se encuentra el uso de un ohmnímetro. Además, su cantidad recíproca es la conductancia, medida en Siemens.

Por otro lado, de acuerdo con la ley de Ohm la resistencia de un material puede definirse como la razón entre la diferencia de potencial eléctrico y la corriente en que atraviesa dicha resistencia, así:1

$$R = \frac{V}{I}$$

Donde R es la resistencia en ohmios, V es la diferencia de potencial en voltios e I es la intensidad de corriente en amperios.

También puede decirse que "la intensidad de la corriente que pasa por un conductor es directamente proporcional a la diferencia de potencial e inversamente proporcional a su resistencia"

Según sea la magnitud de esta medida, los materiales se pueden clasificar en conductores, aislantes y semiconductor. Existen además ciertos materiales en los que, en determinadas condiciones de temperatura, aparece un fenómeno denominado superconductividad, en el que el valor de la resistencia es prácticamente nulo.

3.6.1. Características

Las Resistencias de Alta Densidad (Compactadas), para aplicaciones de alta temperatura donde la reducida durabilidad de los cartuchos, son un problema constante. Los cartuchos de alta densidad duran hasta 15 veces más en la misma aplicación que las resistencias de cartucho comunes. Son también capaces de brindar hasta 5 veces mayores densidades de potencia eléctrica con temperaturas de hasta 1500 °F (820°C). Varias terminaciones para proteger los cables contra la flexión, humedad, abrasión, contaminación y para aplicaciones especiales.

3.6.2. Potencia

Otro concepto importante, relacionado con las características de las resistencias, es la potencia, P . Se calcula como el producto de V , el voltaje, o diferencia de potencial a través de la resistencia, y la corriente, I , que circula por ella. Es decir, $P = VI$. La unidad de potencia en el Sistema Internacional, SI, es el vatio, abreviado W . Las resistencias más comunes se consiguen en potencias de $0.25\ W$, $0.5\ W$ y $1.0\ W$. La potencia de una resistencia nos dice cuánto calor es capaz de disipar por unidad de tiempo. Si el producto VI de una resistencia en un circuito tiene un valor superior al de su potencia se sobrecalentará y quemará, quedando inutilizada. La unidad de voltaje en el SI es el voltio, abreviado V , y la de la corriente, el amperio, abreviado A . De acuerdo con la expresión para calcular la potencia vemos que $1\ W = (1\ V)(1\ A)$.

3.6.3. Funcion “Ley de Ohm”

La función de la resistencia es convertir la diferencia de potencial en corriente. La diferencia de potencial puede verse como un desnivel eléctrico, similar al que existe en el lecho de un río, que hace fluir el agua desde un sitio alto hacia uno bajo. Cuando decimos que una batería es de $1.5\ V$ implicamos que su terminal positivo está $1.5\ V$ por encima del negativo, o que existe un desnivel eléctrico de $1.5\ V$ entre ambos terminales, siendo el positivo el más alto. Si conectamos una resistencia entre los terminales de la batería, el desnivel eléctrico hace que una corriente fluya del terminal positivo al negativo a través de la resistencia. El valor de esta corriente depende de la magnitud del desnivel y de la resistencia. Si representamos con V el valor de la diferencia de potencial, y con R , el de la resistencia, obtenemos el de I mediante la llamada ley de Ohm: $I = V/R$. Gracias a la ley de Ohm podemos expresar la potencia en función de V y R o de I y R . Efectivamente, si sustituimos $I = V/R$ en la ecuación $P=VI$ conseguimos la expresión $P = V^2/R$. Asimismo, si despejamos V de la ley de Ohm, $V = IR$, y la sustituimos en la expresión para la potencia obtenemos $P = I^2R$.

3.6.4. Tipos de resistencia

3.6.4.1. Resistencia banda de núcleo cerámico.



Ilustración 13: resistencia banda de núcleo cerámico

- Para aplicaciones de hasta 1600° F (875° C) y densidades de potencia de 45 W/ pulg.². Representa una excelente opción para la demanda creciente de ahorro de energía, brindando una reducción del consumo de potencia del 30 al 35%.
- La flexibilidad de esta pieza brinda una fácil instalación.
- Forro de acero inoxidable
- Aislamiento térmico de fibra cerámica marca kaowool
- Terminales de tornillo, cable con y sin malla, bornes con prisionero
- Cierre de tornillo Allen con y sin resorte, ceja de sujeción, cierre rápido tipo tambo
- Todo tipo de barrenos en la resistencia según diseño
- Diámetros disponibles desde 1 ½" hasta 15" en una sola pieza
- Ancho disponible hasta 20" en una sola pieza
- Voltaje 120, 240, 440, 480, 600 V.

3.6.4.2. Cinturón calefactor para bidones eco ancho 180mm.

Muy fácil de colocar. Banda calefactora flexible de silicona-fibra de vidrio (no se cuartean con el paso del tiempo). Con este cinturón-resistencia podemos calentar o

mantener la miel a una temperatura. Termostato de 0°C a 120°C. Es de hacer notar que a 30° conseguiremos una miel líquida conservando el 100% de sus propiedades y así podemos envasar fácilmente con un cazo o paleta. Potencia 1500w, longitud total 1665mm, ancho 180mm. Ideal para bidón de 200 litros de Ø575mm



Ilustración 14: resistencia para bidones eco ancho 180 mm

3.6.4.3. Resistencia de tira mica

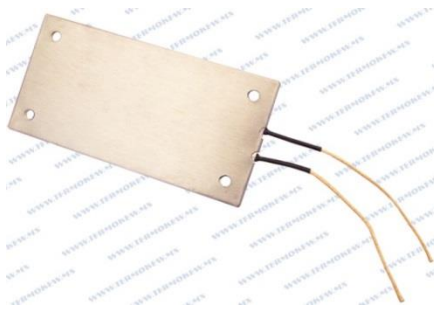


Ilustración 15: resistencia de tira mica

Este tipo de resistencia son para montaje a una superficie sólida y plana.

Aplicaciones: Para placas calientes hornos, moldes, troqueles, barras de sellado en caliente etc.

Observaciones:

Son para temperaturas bajas y moderadas de hasta 650 ° C se fabrican con lámina de acero inoxidable con varios tipos de terminal y cables flexibles.

Dimensiones. Desde ¾ hasta 24 (pulg).

Voltajes. 120, 220, 440 Volts

3.6.4.4. Resistencias tubulares

Aplicaciones típicas: La resistencia más versátil y ampliamente utilizada en aplicaciones industriales, comerciales, científicas y militares tales como calefactores combinados de radiación y convección, introducción en agujeros taladrados o en ranuras fresadas en placas o moldes, fundidos en metales y sujetos a oleoductos. Igualmente para la calefacción de líquidos por inmersión directa.

Características: El diseño de las resistencias tubulares produce un calefactor robusto y durable inigualable en su resistencia contra el choque, vibraciones, corrosión y altas temperaturas. Pueden ser formadas en una variedad ilimitada de figuras, a piezas soldadas con plata o al acero, latón, acero inoxidable o con cualquier pieza de metal exótico, así como fundidas en metales. Los materiales estándar del tubo son el cobre, acero inoxidable o incoloy con varios diámetros y arreglos de tornillos o cables flexibles con sellos, conexiones y bridas.

3.6.4.5. Tubular aletado

Aplicaciones típicas: Utilizadas para ser montadas transversalmente a una corriente de aire dentro de conductores de corriente forzada o para calentar por convección en aplicaciones tales como: calefacción de ambiente, hornos de secado, etc.

Características: El diseño básico de tubular aletadas es el mismo que el de la tubular con aletas fijas en forro de acero inoxidable para operar a una temperatura de hasta 500°C. Se fabrican de cualquier tamaño y medida de acuerdo a sus necesidades.

Tamaños: capacidades

Diámetro de la aleta:

Redonda: 1 3/8" y 1"

Cuadrada: 1"x 2"

Potencias: 60W/pulg.2



Ilustración 16: tubular aletado

Este calefactor se utiliza para calentamiento de atmosferas internas como hornos industriales, domésticos, túneles de calentamiento, y aletados funcionan para el calentamiento de aire forzado y convección.

3.6.4.6. Resistencias tubulares de inmersión



Ilustración 17: resistencia tubular de inmersión

Cobre: Estas resistencias blindadas de inmersión son construidas con blindajes de cobre electrolítico y provistas de cabezales roscados de bronce

Utilización: Destinadas a calentamiento de agua y soluciones débilmente alcalinas, permitiendo una rápida transferencia de calor, recomendadas para tanques y piletas. Pueden proveerse estañadas o cromadas.

Acero: Estas resistencias blindadas de inmersión son construidas con blindajes de acero y provistas de cabezales roscados de bronce o acero.

Utilización: Destinadas a calentamiento por inmersión de aceites vegetales, minerales, petróleo, kerosene, fuel oil, parafina, cera, etc.

Acero inoxidable: Estas resistencias blindadas de inmersión son fabricadas con blindajes de acero inoxidable y provisto de cabezales roscados de bronce o acero inoxidable.

Utilización: Destinadas a soluciones acuosas y alcalinas débiles o concentradas, vapores, solventes y galvanoplastia en general. Tipo B2S Destinadas a aplicaciones en soluciones altamente corrosivas por ejemplo: ácido sulfúrico, clorhídrico, etc. Siendo su blindaje de acero inoxidable AISI 316

3.6.4.7. Resistencia banda mica

Dispone de terminales tipo tornillo cierre de ceja.

Son utilizadas en las inyectoras, extrusoras de plástico y moldeo por soplado.

Diámetros: Desde 1" ½ hasta 15". Desde 38.10 mm hasta 318 mm.

Voltajes: 120, 220, 440 Volts



Ilustración 18: resistencia banda mica

3.6.4.8. Calentadores cuerda OMEGALUX®



Ilustración 19: calentador tipo cuerda OMEGALUX

Descripción

Calentadores cuerda OMEGALUX® aplicar calor a la tubería con diámetros tan pequeños como 1/8 "(3,2 mm). Con una temperatura de funcionamiento máxima permisible de 482 ° C (900 ° F), los calentadores de cable serie FGR se pueden envolver alrededor ya sea conductor o superficies no conductoras. Cada extremo termina con 24 "de alambre de plomo (610 mm) de fibra de vidrio largas aisladas. Estos calentadores de cuerda son muy similares a nuestras cintas del calentador. Por favor revisa nuestros calentadores de cinta para sus necesidades de aplicación.

Especificaciones

Temperatura máxima admisible: 482 ° C (900 ° F)

Adecuado para su uso en la superficie conductora: Sí

Resiste la humedad, vapor o sustancias químicas: No

Diámetro estándar: 5 mm (3/16 pulgadas)

Voltaje: 120 voltios CA o CC, 240V opcional

Lineal Potencia: 4 Watts / in. aprox.

Calentador Duración: 3, 6, 8 o 10 pies (0.9, 1.8, 2.4 o 3.0 m)

Plomo Longitud: 24 pulgadas (609 mm)

Terminación: Stripped cables

3.6.4.9. Resistencia de caucho de silicona.

Robusto, todavía delgado, ligero y utilización flexible de Watlow® calentadores de caucho de silicona sólo está limitado por la imaginación. El calor se puede poner exactamente donde se necesita para mejorar la transferencia de calor, velocidad cálidas ups y la disminución requisitos de potencia en un proceso de solicitud. Caucho de silicona de fibra de vidrio reforzado proporciona dimensiones la estabilidad sin sacrificar la flexibilidad. Porque muy poco el material se separa el elemento de la parte, la transferencia de calor es rápida y eficiente. Calentadores se construyen con un alambre enrollado elemento o con un elemento de lámina grabada. Su construcción delgada le permite encajar en aplicaciones donde el espacio es limitado.



Ilustración 20: resistencias de silicona

Capacidades de rendimiento

- Las temperaturas de funcionamiento de hasta 500 ° F (260 ° C)
- Densidades vatios hasta 80 W / pulg2 (12,5 W / cm2), dependiente de la temperatura de aplicación
- El cable de cuerda elemento de espesor - 0.055 in (1,4 mm).
- Elemento grabado lámina - 0,022 in (0,56 mm).
- UR®, cUR®, VDE y reconocimientos CE están disponibles en muchos diseños de hasta 428 ° F (220 ° C)

Características y Beneficios

Diseñado con la forma exacta y el tamaño necesario

- Cumple con los componentes y / o equipamiento

Más de 80 diseños disponibles de inmediato desde el almacén

Reduce el tiempo de inactividad

Construido con alambre de cuerda o papel de grabado elementos

- Permite un calentador delgado, ligero
- Proporciona la flexibilidad deseada para muchas aplicaciones dinámicas
- Proporciona baja masa y fácilmente repetible distribuido densidades de potencia.

El caucho de silicona es resistente a productos químicos y a la humedad.

- Proporciona una mayor vida útil de los calentadores

Adhesivos o sujetadores de vulcanización

- Permite a los calentadores a unir fácilmente a las partes

Aplicaciones Típicas

- Equipo de procesamiento de semiconductores.
- Protección Freeze y la prevención de la condensación de muchos tipos de instrumentación y equipos.
- Equipos médicos tales como analizadores de sangre y pruebas calentadores de tubo.
- Periféricos informáticos tales como impresoras láser.
- El curado de laminados plásticos.
- Equipo de procesamiento de fotos.

Determinar Watt Densidad

El gráfico de densidad máxima permitida Watt ilustra la densidad de potencia máxima recomendada calentador en varios piezas de metal o temperaturas del aire ambiente. Sin embargo, no indica la densidad de potencia necesaria para alcanzar una temperatura determinada parte. Ver la temperatura superficial vs. Gráfico Tiempo en la página siguiente para obtener ayuda con estos cálculos. Al utilizar este gráfico, considere:

- Temperatura de la Parte se mide en el punto donde la contactos calentador de la parte metálica.
- Los termostatos y controladores on-off son típicamente bimetálico o el bulbo capilar.
- Los controladores no son ciclismo estado normalmente sólida, tiempo de dosificación o rectificador controlado de silicona (SCR) controladores de temperatura.

Valores de densidad de vatios que deben clasificar de un tercio si se utiliza aislamiento.

- UL® límites de temperatura reconocimiento no se detallan.
- Póngase en contacto con su representante antes de Watlow selección de alta densidad de vatios elementos de lámina grabada, o calentadores que

funcionan con aislamiento dorso o partes no metálicas que son conductores térmicos pobres.

Ejemplo: Un calentador de alambre enrollado con un no-ciclismo controlador a una temperatura parte de (120 ° C) 250 ° F puede ser nominal de 24 W / in² (3,7 W / cm²) como máximo. Un papel de grabado calentador de operar en las mismas condiciones se puede clasificar a 45 W / in² (7 W / cm²) como máximo.

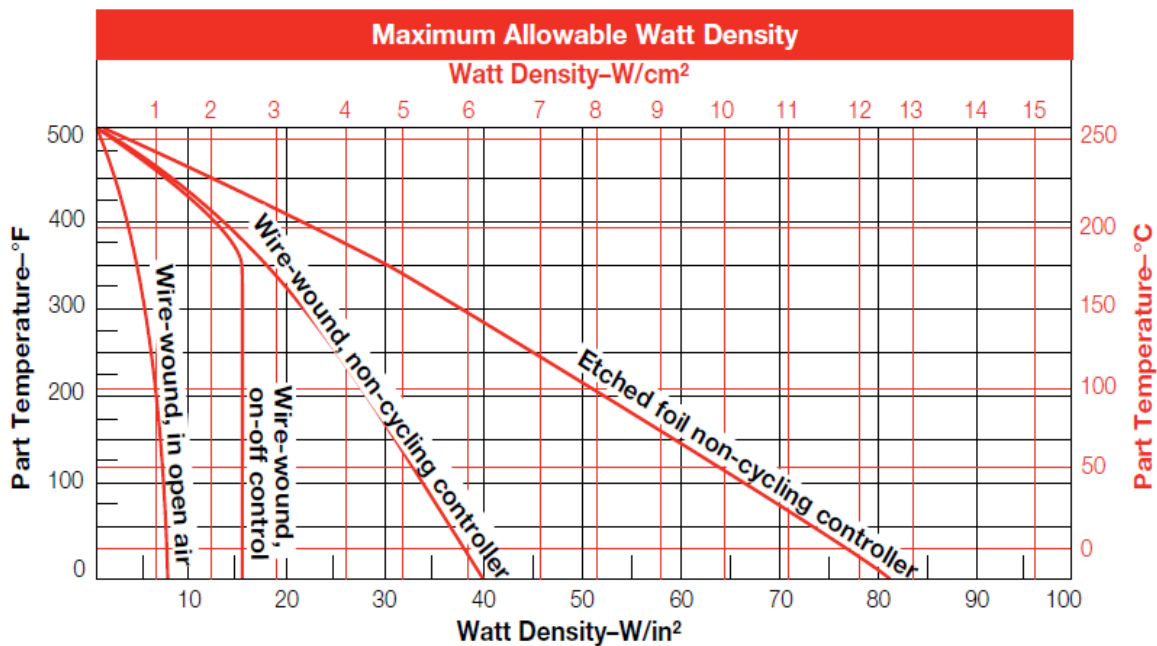


Ilustración 21: máxima densidad de potencia permisible

Aplicaciones y datos técnicos

Especificaciones de goma de silicona

Max. Ancho x Max. Largo

- Herida alambre: 36 x 120 en (914 mm x 3048 mm)
- Papel de grabado: 18 x 34 in (457 mm x 863 mm)

Espesor

- Herida alambre: 0.055 in (1,4 mm).
- Papel de grabado: 0.022 in (0,6 mm).

Peso

- Herida alambre: 8 oz / ft² (0,24 g / cm²)
- Papel de grabado: 3 oz / ft² (0,09 g / cm²)

Max. Temperatura de funcionamiento: 500 ° F (260 ° C)

Max. Temperatura para el reconocimiento UL®: 428 ° F (220 ° C)

Min. Temperatura ambiente: -80 ° F (-62 ° C)

Temperatura de la superficie - tiempo

Este gráfico ilustra la temperatura de la superficie una silicona calentador de caucho alcanzará cuando sin aislamiento y suspendido verticalmente en 70 °F (20 °C) al aire en calma. Los datos se basan en 0.055 in. (1,4 mm) de espesor construcción y se ofrece como una herramienta de referencia.

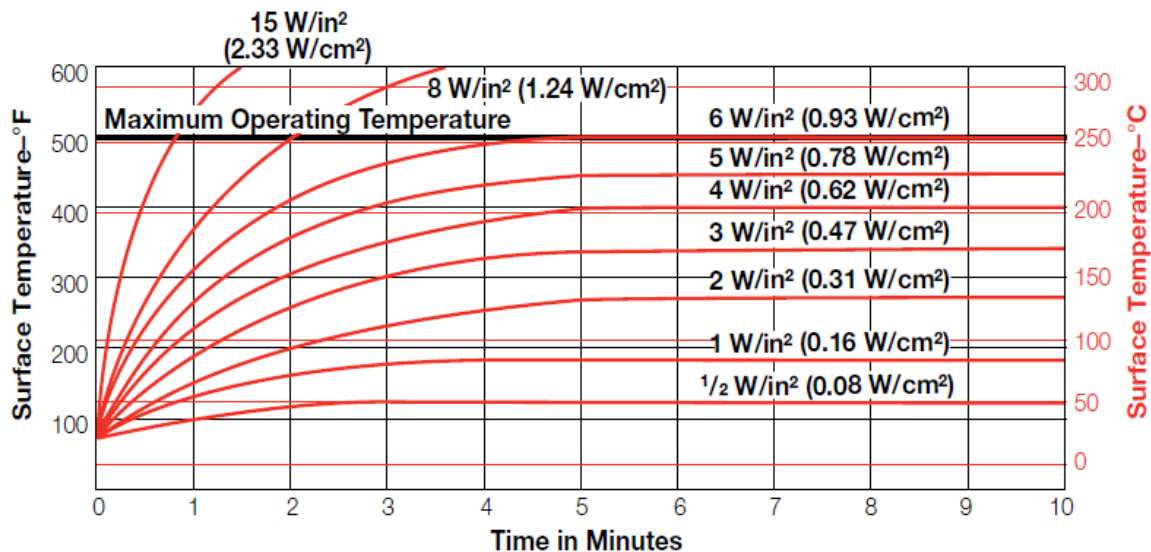


Ilustración 22: tabla de máxima operación de temperatura de la resistencia de silicona.

3.7 Transferencia de la energía

La energía se puede transferir hacia una masa dada, o desde ésta, por dos mecanismos:

Calor Q y trabajo W . Una interacción energética es transferencia de calor si su fuerza impulsora es una diferencia de temperatura. De lo contrario, es trabajo. Tanto un pistón que sube, como una flecha rotatoria y un alambre eléctrico que crucen las fronteras del sistema, están asociados con interacciones de trabajo. El trabajo realizado por unidad de tiempo se llama potencia y se denota por W . La unidad de potencia es el W o el hp ($1 hp = 746 W$). Los motores de automóviles y las turbinas hidráulicas, de vapor y de gas producen trabajo; los compresores, bombas y mezcladoras consumen trabajo. Advierta que la energía de un sistema disminuye conforme realiza trabajo y aumenta si se realiza trabajo sobre él.

En la vida diaria con frecuencia se hace referencia a las formas latente y sensible de la energía interna como calor y se habla del contenido de calor de los cuerpos (Ilustración 23). Sin embargo, en la termodinámica a esas formas de energía se les suele mencionar como energía térmica, con el fin de impedir que se tenga una confusión con la transferencia de calor.

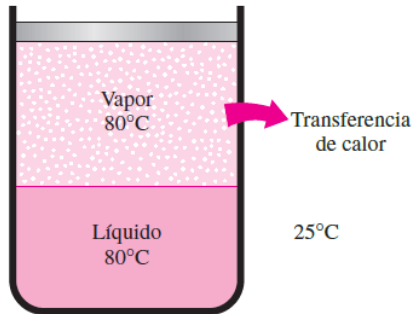


Ilustración 23: Las formas sensible y latente de energía interna se pueden transferir como resultado de una diferencia de temperatura y se mencionan como calor o energía térmica.

Manteniéndose alineados con la práctica actual, llamaremos a la energía térmica calor y a la transferencia de energía térmica transferencia de calor. La cantidad de calor transferido durante el proceso se denota por Q . La cantidad de calor transferido por unidad de tiempo se llama razón de transferencia de calor y se denota por \dot{Q} . El punto arriba representa la derivada respecto al tiempo, o “por unidad de tiempo”. La velocidad de transferencia de calor, \dot{Q} , tiene la unidad J/s, lo cual es equivalente a W. Cuando se cuenta con la razón de transferencia de calor, \dot{Q} , entonces se puede determinar la cantidad total de transferencia de calor Q durante un intervalo de tiempo Δt a partir de

$$Q = \int_0^{\Delta t} \dot{Q} dt \quad (J)$$

Siempre que se conozca la variación de \dot{Q} con el tiempo. Para el caso especial de \dot{Q} constante, la ecuación anterior se reduce a

$$Q = \dot{Q} \Delta t \quad (J)$$

La razón de transferencia de calor por unidad de área perpendicular a la dirección de esa transferencia se llama flujo de calor y el flujo promedio de calor se expresa como (Ilustración 24)

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{A} \quad (W/m^2)$$

Donde A es el área de transferencia de calor. En unidades inglesas, la unidad de flujo de calor es Btu/h · ft². Note que el flujo de calor puede variar con el tiempo así como con la posición sobre una superficie.

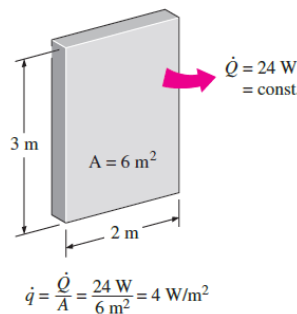


Ilustración 24: El flujo de calor es la transferencia de calor por unidad de tiempo y por unidad de área, y es igual a $\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{A}$ cuando \dot{Q} es uniforme sobre el área A.

3.8 Balances de energía

3.8.1. Balance de energía para sistemas cerrados (masa fija).

Un sistema cerrado consta de una masa fija. La energía total E para la mayor parte de los sistemas que se encuentran en la práctica consiste en la energía interna U. Éste es en especial el caso para los sistemas estacionarios, ya que no comprenden cambios en la velocidad o elevación durante el proceso. En ese caso, la relación del balance de energía se reduce a

$$\text{Sistema cerrado estacionario: } E_{\text{ent}} - E_{\text{sal}} = \Delta U = mc_v \Delta T$$

Donde se expresa el cambio en la energía interna en términos de la masa m, el calor específico a volumen constante c_v , y el cambio en la temperatura, ΔT , del sistema. Cuando el sistema sólo comprende transferencia de calor y ninguna interacción de trabajo cruza su frontera, la relación del balance de energía se reduce todavía más hasta (Ilustración 25)

Sistema cerrado estacionario, sin trabajo: $Q = mc_v\Delta T$

Donde Q es la cantidad neta de la transferencia de calor que entra o sale del sistema. La anterior es la forma de la relación del balance de energía que se usará con más frecuencia al tratar con una masa fija.

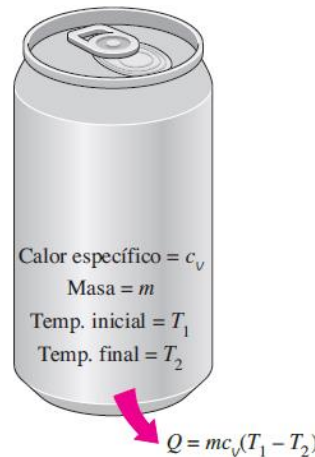


Ilustración 25: En ausencia de cualesquiera interacciones de trabajo, el cambio en el contenido de energía interna de un sistema cerrado es igual a la transferencia neta de calor.

3.8.2 Balance de energía para sistemas de flujo estacionario.

Un gran número de aparatos de ingeniería, como los calentadores de agua y los radiadores de los automóviles, implica flujo de masa, hacia adentro y hacia afuera de un sistema, y se consideran como volúmenes de control. La mayor parte de los volúmenes de control se analizan en condiciones estacionarias de operación.

El término estacionario significa ningún cambio con el tiempo en una ubicación específica. Lo opuesto a estacionario es no estacionario o transitorio. Asimismo, el término uniforme implica ningún cambio con la posición en toda una superficie o región en un tiempo específico. Estos significados son coherentes con su uso cotidiano [novia estable (estacionaria), distribución uniforme, etc.]. El contenido total de energía de un volumen de control durante un proceso de flujo estacionario permanece constante ($E_{VC} = \text{constante}$). Es decir, el cambio en la energía total del volumen de control durante un proceso de este tipo es cero ($\Delta E_{VC} = 0$). Por lo tanto, la cantidad de energía que entra en un volumen de control en todas las formas (calor,

trabajo, transferencia de masa) para un proceso de flujo estacionario debe ser igual a la cantidad de energía que sale de él.

La cantidad de masa que fluye a través de una sección transversal de un aparato de flujo, por unidad de tiempo, se llama gasto de masa o razón de transferencia de masa y se denota por \dot{m} . Un fluido puede fluir hacia adentro o hacia afuera de un volumen de control a través de tubos o ductos. El gasto de masa de un fluido que fluye en un tubo o ducto es proporcional al área de la sección transversal A_c de ese tubo o ducto, la densidad ρ y la velocidad V del fluido. El gasto de masa a través de un área diferencial dA_c se puede expresar como $\delta\dot{m} = \rho V_n dA_c$, donde V_n es la componente de la velocidad perpendicular a dA_c . El gasto de masa a través de toda el área de la sección transversal se obtiene por integración sobre A_c .

A menudo se puede considerar, en forma aproximada, que el flujo de un fluido por un tubo o ducto es unidimensional. Es decir, se puede suponer que las propiedades varían sólo en una dirección (la del flujo). Como resultado, se supone que todas las propiedades son uniformes en la sección transversal perpendicular a la dirección del flujo y también se supone que las propiedades tienen valores promedio en masa sobre toda la sección transversal. En la aproximación de flujo unidimensional, el gasto de masa de un fluido que fluye en un tubo o ducto se puede expresar como (Ilustración 26).

$$\dot{m} = \rho V A_c \quad \left(\frac{kg}{s} \right)$$

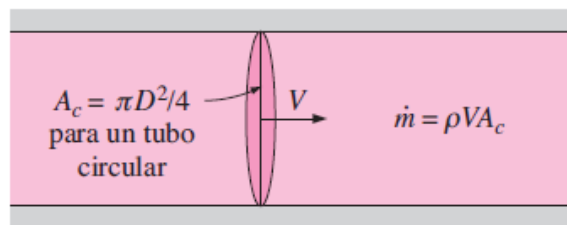


Ilustración 26: El gasto de masa de un fluido en una sección transversal es igual al producto de la densidad de ese fluido, la velocidad promedio del mismo y el área de la sección transversal.

Donde ρ es la densidad del fluido, V es la velocidad promedio del mismo en la dirección del flujo y A_c es el área de la sección transversal del tubo o ducto.

El volumen de un fluido que fluye por un tubo o ducto por unidad de tiempo se llama gasto volumétrico \dot{V} , y se expresa como

$$\dot{V} = VA_c = \frac{\dot{m}}{\rho} \quad \left(m^3/s \right)$$

Note que el gasto de masa de un fluido por un tubo o ducto permanece constante durante el flujo estacionario. Sin embargo, éste no es el caso para el gasto volumétrico, a menos que la densidad del fluido permanezca constante.

Para un sistema de flujo estacionario con una entrada y una salida, la razón de transferencia de masa hacia adentro del volumen de control debe ser igual a la velocidad del flujo de masa hacia afuera de él; es decir, $\dot{m}_{ent} = \dot{m}_{sal} = \dot{m}$.

Cuando los cambios en las energías cinética y potencial son despreciables, que es el caso más común, y no se tiene interacción de trabajo, el balance de energía para tal sistema de flujo estacionario se reduce a (Ilustración 27)

$$\dot{Q} = \dot{m}\Delta h = \dot{m}c_p\Delta T \quad \left(KJ/s \right)$$

Donde \dot{Q} es la razón de la transferencia neta de calor hacia adentro o hacia afuera del volumen de control. La anterior es la forma de relación de balance de energía que se usará con la mayor frecuencia para los sistemas de flujo estacionario.

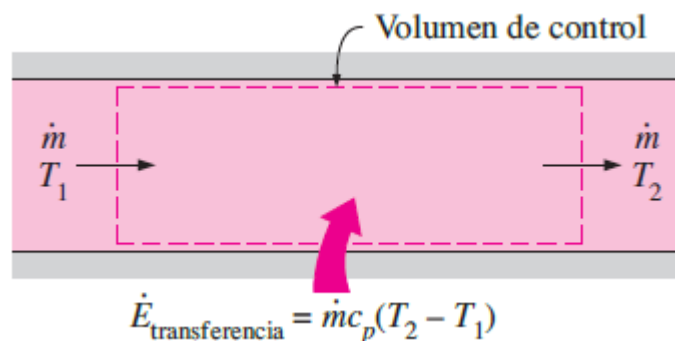


Ilustración 27: En condiciones estacionarias, la razón neta de transferencia de energía hacia un fluido en un volumen de control es igual a la razón de incremento en la energía de la corriente de fluido que fluye a través de ese volumen.

3.8.3. Balance de energía en la superficie

Como se mencionó al inicio del capítulo, el calor se transfiere por los mecanismos de conducción, convección y radiación y, a menudo, el calor cambia de vehículos a medida que se transfiere de un medio a otro. Por ejemplo, el calor conducido hasta la superficie exterior de la pared de una casa en invierno es transferido por convección, por el aire frío del exterior, conforme es irradiado hacia los alrededores fríos. En esos casos puede ser necesario seguir el rastro de las interacciones energéticas en la superficie y esto se hace aplicando el principio de conservación de la energía a la superficie.

Una superficie no contiene volumen ni masa y, por lo tanto, tampoco energía. Por lo mismo, una superficie se puede concebir como un sistema ficticio cuyo contenido de energía permanece constante durante un proceso (precisamente como un sistema de estado estacionario o de flujo estacionario). Entonces el balance de energía para una superficie se puede expresar como

Balance de energía en la superficie: $\dot{E}_{ent} = \dot{E}_{sal}$

Esta relación es válida tanto para condiciones estacionarias como transitorias y el balance de energía en la superficie no comprende generación de calor puesto que una superficie no tiene volumen. En la Ilustración 28 el balance de energía para la superficie exterior, por ejemplo, se puede expresar como

$$\dot{Q}_1 = \dot{Q}_2 + \dot{Q}_3$$

Donde \dot{Q}_1 es la conducción a través de la pared hasta la superficie, \dot{Q}_2 es la convección de calor de la superficie hacia el aire del exterior y \dot{Q}_3 es la radiación neta de la superficie hacia los alrededores.

Cuando no se conocen las direcciones de las interacciones, se puede suponer que todas se dirigen hacia la superficie y el balance de energía en la superficie se puede expresar como $\sum \dot{E}_{ent} = 0$. Note que las interacciones en la dirección opuesta finalizarán con valores negativos balanceando esta ecuación.

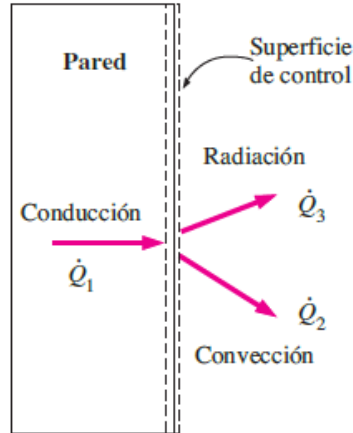


Ilustración 28: Interacciones energéticas en la superficie exterior de la pared de una casa.

3.9 Mecanismos de transferencia de calor

Un análisis termodinámico se interesa en la cantidad de transferencia de calor conforme un sistema pasa por un proceso, de un estado de equilibrio a otro. La ciencia que trata de la determinación de las razones de esas transferencias de energía es la transferencia de calor. La transferencia de energía como calor siempre se produce del medio que tiene la temperatura más elevada hacia el de temperatura más baja, y la transferencia de calor se detiene cuando los dos medios alcanzan la misma temperatura.

El calor se puede transferir en tres modos diferentes: conducción, convección y radiación. Todos los modos de transferencia de calor requieren la existencia de una diferencia de temperatura y todos ellos ocurren del medio que posee la temperatura más elevada hacia uno de temperatura más baja. En seguida se da una breve descripción de cada modo. En los capítulos posteriores de este texto se da un estudio más detallado de estos modos.

3.10 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 red y al transporte de energía por parte de los electrones libres. Por ejemplo, llegará el momento en que una bebida enlatada fría en un cuarto cálido se caliente hasta la temperatura ambiente como resultado de la transferencia de calor por conducción, del cuarto hacia la bebida, a través del aluminio.

La rapidez o razón de la conducción de calor a través de un medio depende de la configuración geométrica de éste, su espesor y el material de que esté hecho, así como de la diferencia de temperatura a través de él. Se sabe que al envolver un tanque de agua caliente con fibra de vidrio (un material aislante) se reduce la razón de la pérdida de calor de ese tanque. Entre más grueso sea el aislamiento, menor será la pérdida de calor. También se conoce que un tanque de agua caliente perderá calor a mayor rapidez cuando se baja la temperatura del cuarto en donde se aloja. Además, entre más grande sea el tanque, mayor será el área superficial y, por consiguiente, la razón de la pérdida de calor.

Considere una conducción de estado estacionario de calor a través de una pared plana grande de espesor $\Delta x = L$ y área A , como se muestra en la Ilustración 29.

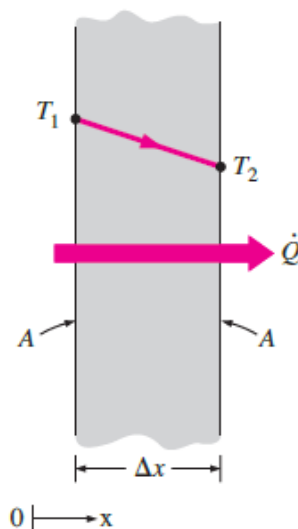


Ilustración 29: Conducción de calor a través de una pared plana grande de espesor Δx y área A .

La diferencia de temperatura de uno a otro lado de la pared es $\Delta x = T_1 - T_2$. Los experimentos han demostrado que la razón de la transferencia de calor, \dot{Q} , a través de la pared se duplica cuando se duplica la diferencia de temperatura ΔT de uno a otro lado de ella, o bien, se duplica el área A perpendicular a la dirección de la transferencia de calor; pero se reduce a la mitad cuando se duplica el espesor L de la pared. Por lo tanto, se concluye que la razón de la conducción de calor a través de una capa plana es proporcional a la diferencia de temperatura a través de ésta y al área de transferencia de calor, pero es inversamente proporcional al espesor de esa capa; es decir,

$$\text{Razón de conducción del calor} \propto \frac{(\text{Área})(\text{Diferencia de temperatura})}{\text{Espesor}}$$

O bien,

$$\dot{Q}_{cond} = KA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -KA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (W)$$

Donde la constante de proporcionalidad k es la conductividad térmica del material, que es una medida de la capacidad de un material para conducir calor (Ilustración 30).

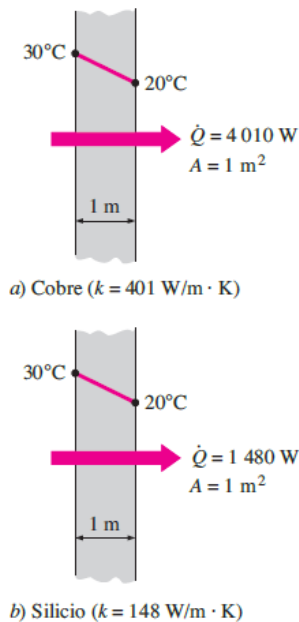


Ilustración 30: La razón de conducción del calor a través de un sólido es directamente proporcional a su conductividad térmica.

En el caso límite de $\Delta x \rightarrow 0$, la ecuación que acaba de darse se reduce a la forma diferencial

$$\dot{Q}_{cond} = -KA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (W)$$

La cual se llama ley de Fourier de la conducción del calor, en honor de J. Fourier, quien la expresó por primera vez en su texto sobre transferencia de calor en 1822. Aquí, dT/dx es el gradiente de temperatura, el cual es la pendiente de la curva de temperatura en un diagrama T-x (la razón de cambio de T con respecto a x), en la ubicación x. La relación antes dada indica que la razón de conducción del calor en una dirección es proporcional al gradiente de temperatura en esa dirección. El calor es conducido en la dirección de la temperatura decreciente y el gradiente de temperatura se vuelve negativo cuando esta última decrece al crecer x. El signo negativo en la ecuación anterior garantiza que la transferencia de calor en la dirección x positiva sea una cantidad positiva.

3.10.1. Conductividad térmica

Se ha visto que los diferentes materiales almacenan calor en forma diferente y se ha definido la propiedad de calor específico c_p como una medida de la capacidad de un material para almacenar energía térmica. Por ejemplo, c_p 4.18 kJ/kg · °C, para el agua, y c_p 0.45 kJ/kg °C, para el hierro, a la temperatura ambiente, indica que el agua puede almacenar aproximadamente 10 veces más energía que el hierro por unidad de masa. Del mismo modo, la conductividad térmica k es una medida de la capacidad de un material para conducir calor. Por ejemplo, $k = 0.607$ W/m °C, para el agua, y $k = 80.2$ W/m °C, para el hierro, a la temperatura ambiente, indican que el hierro conduce el calor más de 100 veces más rápido que el agua. Por lo tanto, se dice que el agua es mala conductora del calor en relación con el hierro, aun cuando el agua es un medio excelente para almacenar energía térmica. La ecuación

$$\dot{Q}_{cond} = KA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -KA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (W)$$

Para la razón de la transferencia de calor por conducción, en condiciones estacionarias, también se puede concebir como la ecuación de definición para la conductividad térmica. Por lo tanto, la conductividad térmica de un material se puede

definir como la razón de transferencia de calor a través de un espesor unitario del material por unidad de área por unidad de diferencia de temperatura. La conductividad térmica de un material es una medida de la capacidad del material para conducir calor. Un valor elevado para la conductividad térmica indica que el material es un buen conductor del calor y un valor bajo indica que es un mal conductor o que es un aislante.

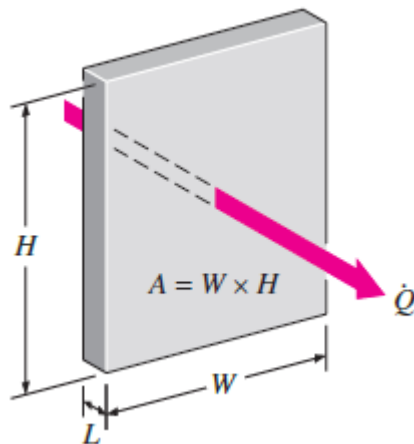


Ilustración 31: En el análisis de la conducción del calor, A representa el área perpendicular a la dirección de transferencia de calor.

3.10.2 Difusividad térmica

El producto ρc_p , que se encuentra con frecuencia en el análisis de la transferencia de calor, se llama capacidad calorífica de un material. Tanto el calor específico c_p como la capacidad calorífica ρc_p representan la capacidad de almacenamiento de calor de un material. Pero c_p la expresa por unidad de masa, en tanto que ρc_p la expresa por unidad de volumen, como se puede advertir a partir de sus unidades $\text{J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ y $\text{J/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$, respectivamente.

CAPITULO 4

DESARROLLO DEL PROYECTO

4.1 Funcionamiento del sistema

Para diseñar el sistema de calentamiento a base de resistencias es necesario conocer la cantidad de energía que el molde requiere para que ocurra la diferencia de temperatura, una vez establecido los parámetros iniciales y realizar los cálculos pertinentes se realiza una distribución de cargas para la selección de las resistencias la cantidad y la potencia con la que debe de contar.

El sistema suministrara la cantidad de energía necesaria al molde con el fin de que ocurra una diferencia de temperaturas desde 20°C que es la temperatura más baja que se considera en que el molde se encontrara hasta una temperatura mayor de los 230°C que es la temperatura mínima que requiere el proceso del curado de los moldes la cual es la temperatura más alta que se necesita por tal motivo para realizar los cálculos se toma una temperatura de 250°C para mantener un rango de seguridad.



Ilustración 32: Resistencia de silicona.

Una vez realizada la tarea el sistema deberá mantener una temperatura de funcionamiento estable, es decir, que no deben existir caídas de temperatura

considerables de modo que el proceso se mantenga constante y el proceso se realiza de manera eficiente

Una vez que el molde adquiere la temperatura de funcionamiento este lo transfiere al polietileno por medio de la transferencia de calor por conducción de manera que como el principio básico de funcionamiento establece el molde adquiere la forma del molde.

4.2 Análisis de resistencia

Analizando la resistencia 150/600W de 150 por 508 mm

Propiedades del molde	valores	unidad
Material del molde	acero inoxidable	
Calor especifico	490	j/kg*k
Masa	1.17	kg
Densidad	7800	kg/m ³
Temperatura inicial	20	°C
Temperatura requerida	250	°C
Grosor del molde	0.002	m
Área	0.075	m ²
Tiempo	300	segundos
Conductividad térmica	26.1	w/m*k
Potencia de resistencia	600	w
Volumen	0.00015	m ³
Temperatura placa	333.9717425	°C

Analizando la resistencia 150/600W de 76 por 508 mm

Propiedades del molde	valores	unidad
Material del molde	acero inoxidable	
Calor especifico	490	j/kg*k
Masa	0.6022848	kg
Densidad	7800	kg/m3
Temperatura inicial	20	°C
Temperatura requerida	250	°C
Grosor del molde	0.002	m
Área	0.038608	m2
Tiempo	300	segundos
Conductividad térmica	26.1	w/m*k
Potencia de resistencia	600	w
Volumen	0.000077216	m3
Temperatura placa	629.9223138	°C

4.2.1 Prueba placa muestra a 100 PWM

Se toma una muestra del molde una sección de acero inoxidable del mismo material del que fue realizado el molde de 450L con las dimensiones 50x15cm se aplica la resistencia conectada a un voltaje de 220v según las especificaciones para lograr su potencia máxima de 600w durante un periodo de 300 segundos; conectada la resistencia a un circuito PWM a 100%.

Objetivo: Realizar análisis de la resistencia para comprobar la potencia que la resistencia aporta a la placa.

Materiales y datos:

Sección material 50x15cm

Resistencia de 220v/600w

Densidad del material = 7800 kg/m3

Calor especifico = 490 j/kg . K

Grosor del molde = 0.002 m

Área = (0.5x0.15) = 0.075 m²

Volumen = (0.075x0.002) = 0.00015 m³

Masa = (7800x0.00015) = 1.17 kg

Aislante tela

Cámara termografica

Datos de la cámara termografica:

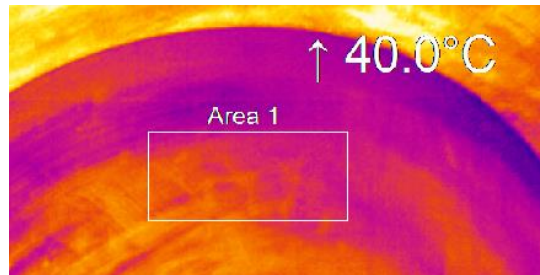


Ilustración 33: temperatura de inicio

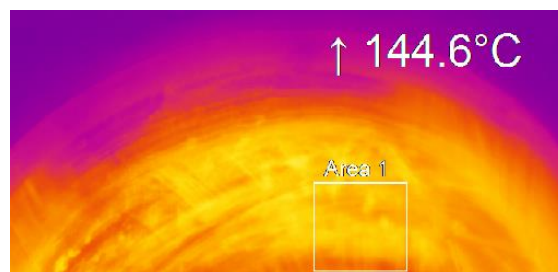


Ilustración 34: temperatura final

Temperatura inicial = 40 °C

Temperatura final = 144.6 °C

Tiempo = 300 segundos

$Q = m C_p \Delta T$

$Q = (1.17) (490) (144.5 - 40)$

$Q = 59909.85 \text{ j}$

Watts = Q / Tiempo

Watts = $59909.85/300$

Watts = 199.69 w

Densidad de potencia = Watts/Área

Densidad de potencia = $199.69/0.075$

Densidad de potencia = 2662.66 w/m^2

Energía provechada de la resistencia = $(199.69/600) (100) = 33.28 \%$

4.2.2 Prueba placa muestra a 40 PWM

Se toma una muestra del molde una sección de acero inoxidable del mismo material del que fue realizado el molde de 450L con las dimensiones 50x15cm se aplica la resistencia conectada a un voltaje de 220v según las especificaciones para lograr su potencia máxima de 600w durante un periodo de 300 segundos; conectada la resistencia a un circuito PWM a 40%.

Objetivo: Realizar análisis de la resistencia para comprobar la potencia que la resistencia aporta a la placa

Materiales y datos:

Sección material 50x15cm

Resistencia de 220v/600w

Densidad del material = 7800 kg/m^3

Calor específico = $490 \text{ j/kg}^{\circ}\text{K}$

Grosor del molde = 0.002 m

Área = $(0.5 \times 0.15) = 0.075 \text{ m}^2$

Volumen = $(0.075 \times 0.002) = 0.00015 \text{ m}^3$

Masa = $(7800 \times 0.00015) = 1.17 \text{ kg}$

Aislante tela

Cámara termográfica

Datos de la cámara termográfica:

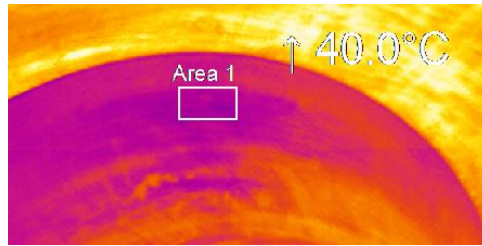


Ilustración 35: Temperatura de inicio

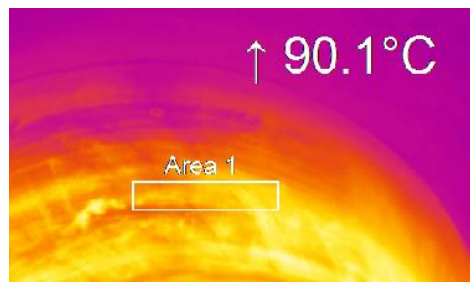


Ilustración 36: Temperatura final

Temperatura inicial = 40 °C

Temperatura final = 90 °C

Tiempo = 300 segundos

$$Q = m C_p \Delta T$$

$$Q = (1.17) (490) (90 - 40)$$

$$Q = 28665 \text{ j}$$

$$\text{Watts} = Q / \text{Tiempo}$$

$$\text{Watts} = 28665/300$$

$$\text{Watts} = 95.55 \text{ w}$$

$$\text{Densidad de potencia} = \text{Watts}/\text{Área}$$

$$\text{Densidad de potencia} = 95.55/0.075$$

$$\text{Densidad de potencia} = 1274 \text{ w/m}^2$$

$$\text{Energía provechada de la resistencia} = (95.55/600) (100) = 15.925 \%$$

4.2.3 Prueba placa muestra

Se toma una muestra del molde una sección de acero inoxidable del mismo material del que fue realizado el molde de 450L con las dimensiones 57x15cm se aplica la resistencia conectada a un voltaje de 220v según las especificaciones para lograr su potencia máxima de 600w durante un periodo de 5 min.

Objetivo: Realizar análisis de la resistencia para comprobar la potencia que la resistencia aporta a la placa.

Materiales

Sección material 57x15cm

Resistencia de 220v/600w

Aislante tela

Cámara termografía

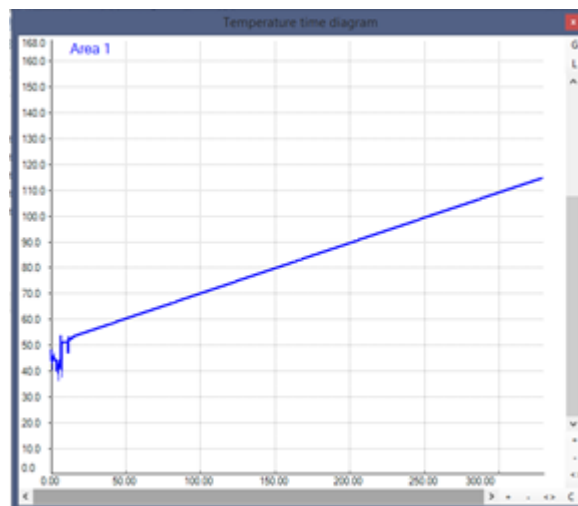


Ilustración 37: Temperatura tiempo placa muestra.

Según los cálculos realizados la necesidad de la placa es de una potencia de 526w para lograr una diferencia de temperatura de 20°C a 250°C en un lapso de 5 min
La prueba nos arroja una diferencia de temperatura de 37.4°C a 114.8°C

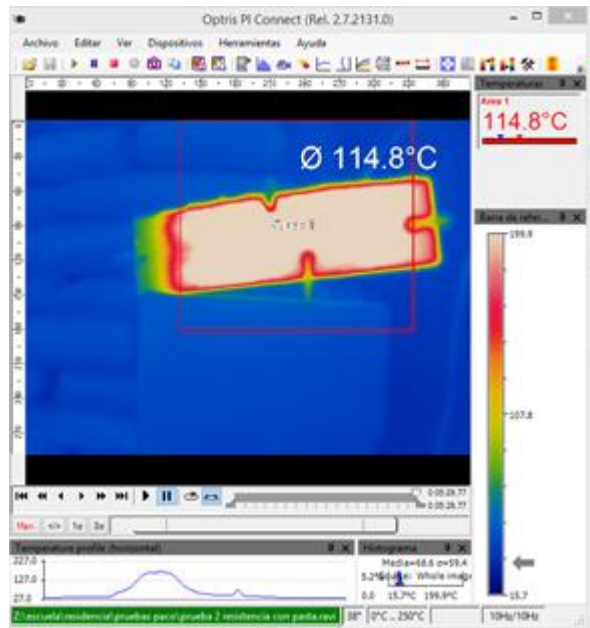


Ilustración 38: Cámara termografía, temperatura final

4.2.4 Prueba sección de molde 450L

Se realiza una conexión de resistencias de 600w de potencia para cubrir una sección más extensa se cubre una parte del molde con el fin de analizar el aprovechamiento de las resistencias se toman las mismas precauciones que con la placa de muestra para obtener un mejor resultado.

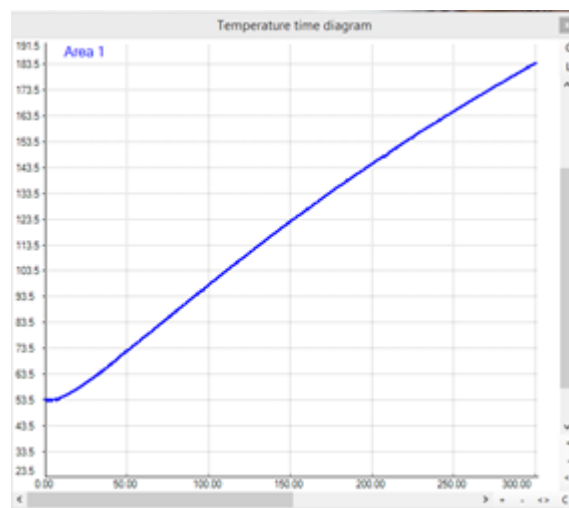


Ilustración 39Tiempo - Temperatura muestra sección

La diferencia de temperatura alcanzada es de 52.5°C a 184.2°C en un tiempo de 5 min.

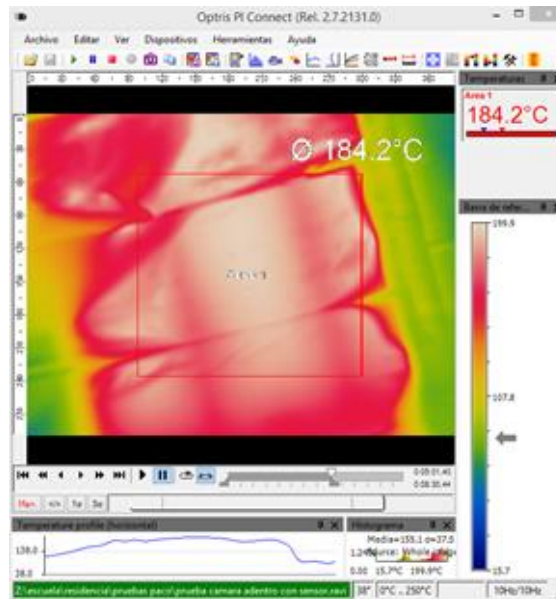


Ilustración 40: Cámara termografica sección molde 450L

Masa de la sección 5.86131Kg

Calor específico 490j/Kg*°C

Lo que nos da como resultado una potencia de 1260.82w para el lapso de 5 min

La densidad de carga es de 3232.88 W/m²

La potencia que aporta cada resistencia es de 242.46W lo que es un 40% de la resistencia que se es aprovechada.

CAPITULO 5

ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Distribución de resistencias en el molde

Para un buen calentamiento del molde que se utiliza en la fabricación de tinacos se propone la siguiente distribución de resistencias, ya que el área de calentamiento varían dependiendo la sección del molde, por lo tanto habrán resistencia de diferentes tamaños que dependerán de la sección donde se calentara.

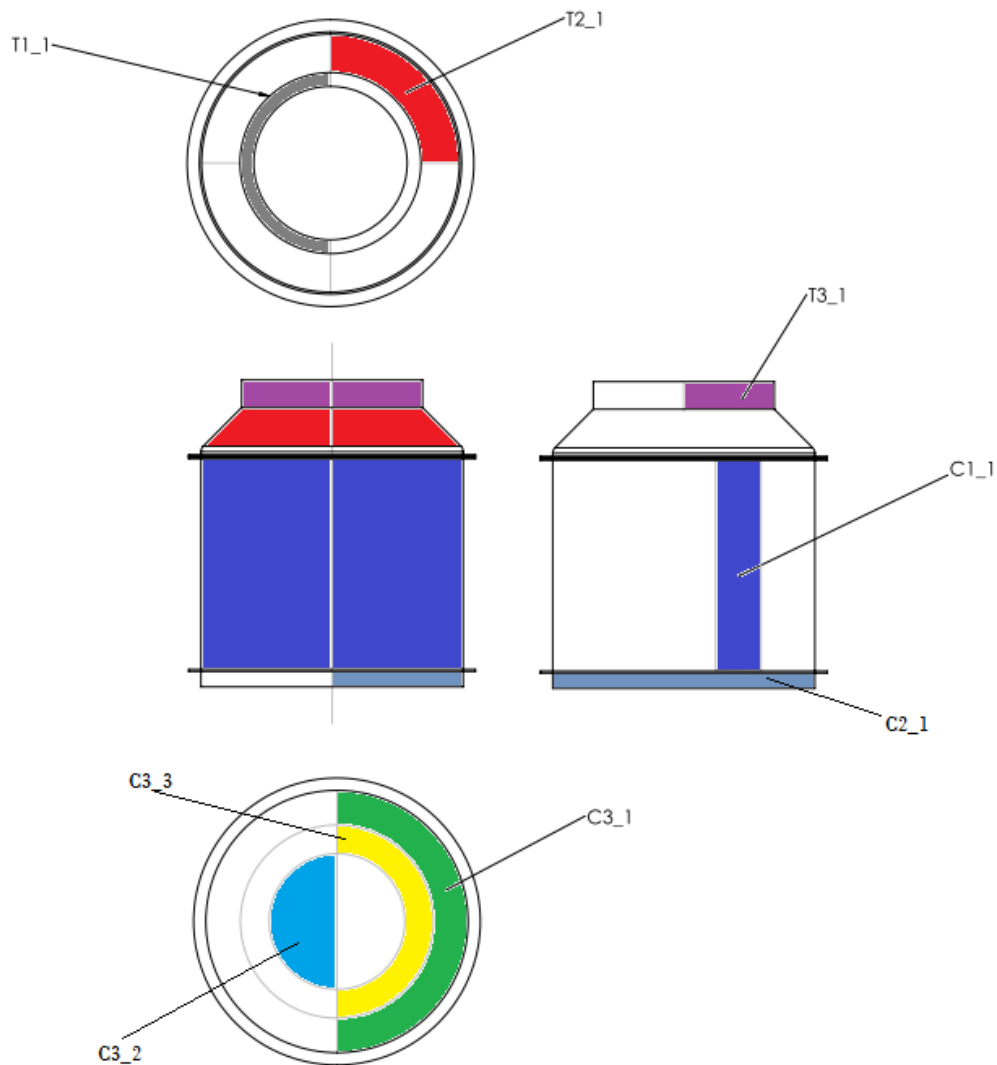


Ilustración 41: Distribución de resistencias en el molde

5.2 Resultados

Conforme a los cálculos realizados se obtuvieron las resistencias que se deben utilizar para el buen funcionamiento del sistema de calentamiento de rotomoldeo de un molde de 450 litros, para ser eficiente el proceso de producción en la empresa Rotoinnovación S.A. DE C.V.; se utilizara resistencia de caucho de silicona la cual son: rudas, flexibles y ligeras. Las resistencias de caucho de silicona llegan alcanzar 260 °C, aumentan la transferencia de calor y por lo tanto aumenta la velocidad de calentamiento del molde, el cual es conveniente para el molde porque para el proceso de producción se requiere calentar como mínimo a 180 ° C en el proceso de producción, la temperatura será controlada con un sensor de temperatura.

A continuación se muestra una tabla con las propiedades del molde que se utilizara para el sistema de calentamiento:

propiedades del molde	Valores	unidades
material del molde	acero inoxidable	
calor especifico	490	j/kg*k
Masa	69.30	kg
Masa de tapa	17.32	kg
Masa de cilindro	51.98	kg
densidad	7800	kg/m ³
temperatura inicial	20	°c
temperatura final	250	°c
grosor del molde	0.002	m
área	3.19	m ²
Área tapa	0.65	m ²
Área cilindro	2.72	m ²
conductividad térmica	26.1	w/m*k

Tabla 4: Propiedades del molde

Para un buen análisis de la transferencia de calor que ejercerán las resistencias eléctricas se secciono el molde por zonas a continuación se ven las propiedades por zonas:

Zona	Masa	Área
T1	1.248Kg	0.08m ²
T3	2.652Kg	0.17m ²
T2	6.24Kg	0.4m ²
C1	28.704Kg	1.84m ²
C2	2.028Kg	0.13m ²
C3	8.892Kg	0.57m ²

Tabla 5: Propiedades por zona

En la siguiente tabla se muestran los flujos de calor y la potencia necesaria para calentar el molde por cada una de las zonas de calentamiento.

zona	Flujo de calor	potencia
T1	140649.6j	468.832 W
T3	298880.4j	996.268 W
T2	703248j	2344.16W
C1	3234940.8j	10783.136W
C2	228555.6j	761.852W
C3	1002128.4j	3340.428W

Tabla 6: Cantidad de calor por zona

Después de haber obtenido toda la cantidad de calor por zona se obtuvo la potencia total para todo el sistema, así como su densidad de carga. Este dato será de e vital importancia para simular todo el estudio y así colaborar que el sistema si funcionara de acuerdo a lo esperado.

Potencia total requerida	26033.7W
Densidad de carga total	15850.67W/m ²
Densidad de carga por zona	5860.4W/m ²

Tabla 7: Densidad de carga

De acuerdo a todas las pruebas que realice deduje que este tipo de resistencias a utilizar pierden gran parte de calor ya que son bidireccional por ello de acuerdo al estudio que realice propongo las siguientes resistencias eléctricas de caucho silicona para llevar a cabo con éxito el calentamiento del molde. También es necesario colocar pasta térmica al momento de instalar todas las resistencias en el molde para hacer más eficiente la transferencia de calor, y así eficientar el sistema de calentamiento.

zona	Área	Potencia necesaria	Potencia resistencia
T1_1	0.04m ²	234.416W	500Wx2
T3_1	0.085m ²	500W	1000Wx2
T2_1	0.1m ²	600W	1200Wx4
C1_1	0.69x0.15=0.1035m ²	606.5514W	1220Wx18
C2_1	0.065	381W	770Wx2
C3_1	0.06m ²	351.624W	700Wx2
C3_2	0.11m ²	644.644W	1290Wx2
C3_3	0.11m ²	644.644W	1290Wx2

Tabla 8: Resistencias eléctricas sugeridas

5.3 Simulación del sistema

La simulación del sistema se realizó por el método de elemento finito usando como apoyo el software Comsol Multiphysics. El software utiliza las ecuaciones adecuadas para obtener un buen resultado.

5.3.1 preproceso

En esta etapa se dibujó el molde en 2D en el plano X,Y y con las dimensiones mostradas en la ilustración 42, están en metros. Para el efecto de la simulación el material que se le aplicó al molde es el acero ASTM A240 calibre 14, y adentro del molde se encuentra aire.

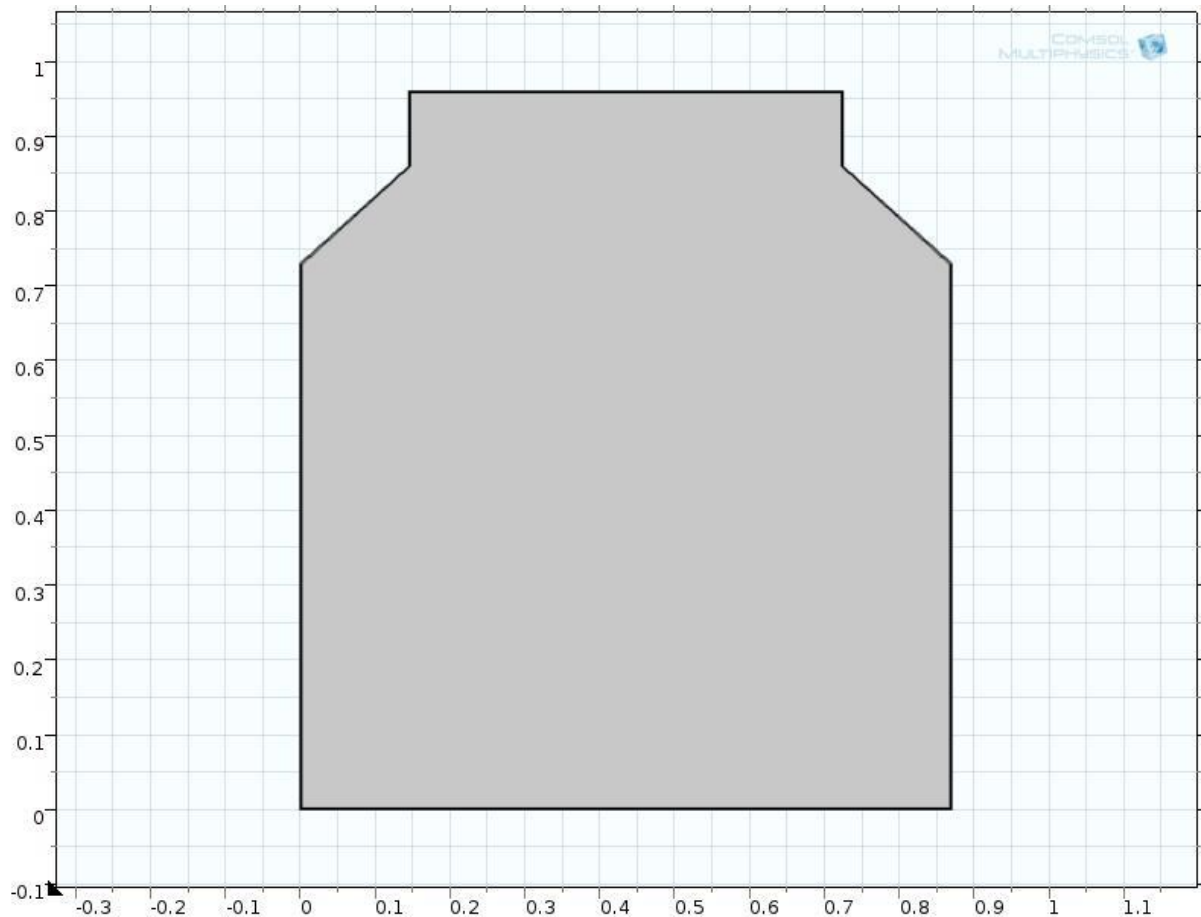


Ilustración 42: molde de 450 en 2D

5.3.1.1. Físicas

En Comsol Multiphysics se pueden mezclar físicas lo cual es muy importante y podemos ver el comportamiento de dichas mezclas de físicas. En este análisis se utilizó la física de calentamiento por el efecto joule que está conformado por: corrientes eléctricas y transferencia de calor en sólidos y una multifísica que se encarga de mezclar las dos físicas mencionadas anteriormente.

5.3.1.2. Ecuaciones utilizadas por el software

5.3.1.2.1. Ecuaciones de corriente eléctrica

$$\nabla * J = Q_j$$

$$J = \sigma E + \frac{\partial D}{\partial t} + J_e$$

$$E = -\nabla V$$

5.3.1.2.2. Ecuaciones de transferencia de calor

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_p u * \nabla T = \nabla * (k \nabla T) + Q$$

5.3.1.3. Datos de entrada

Según los cálculos que se realizaron previamente donde se calculó la potencia total de calentamiento del molde de 450 litros, este consumirá 26033.7 W a una temperatura ambiente de 20 °C, basta saber estos datos para analizar el proceso.

5.3.1.4. Mallado

Para el proceso de simulación se utilizó el mallado normal que trae el software, como se ve en la ilustración 43.

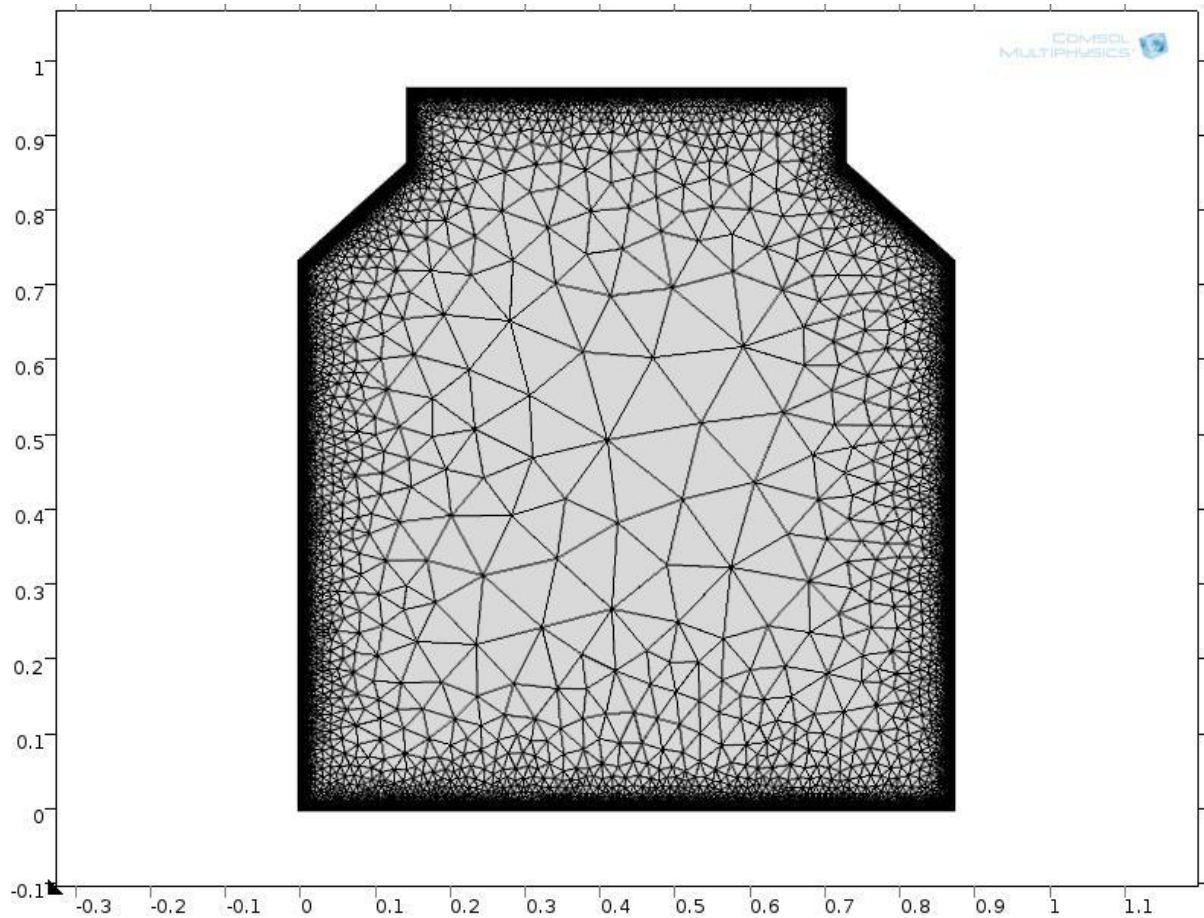


Ilustración 43. Proceso de mallado

5.3.2 Proceso

En esta etapa se anexan las especificaciones del modelo para realizar el análisis.

5.3.2.1. Estudio

El tipo de estudio que se utilizó para este proceso es temporal, es decir que cambia respecto del tiempo y se puede poner el tiempo de acuerdo al estudio y en este caso el tiempo que se puso fue de 1 – 300 segundos, con intervalos de un segundo.

5.3.3 Postproceso

En esta etapa se presentan los resultados.

5.3.3.1 Resultados del estudio

En la ilustración 44 se observa el comportamiento de la temperatura a los 300 segundos según la condición que se le puso anteriormente, dando un resultado satisfactorio para dicho análisis. Con ello se comprueba que con las resistencias sugeridas no habrá ningún problema con el proceso de calentamiento del molde.

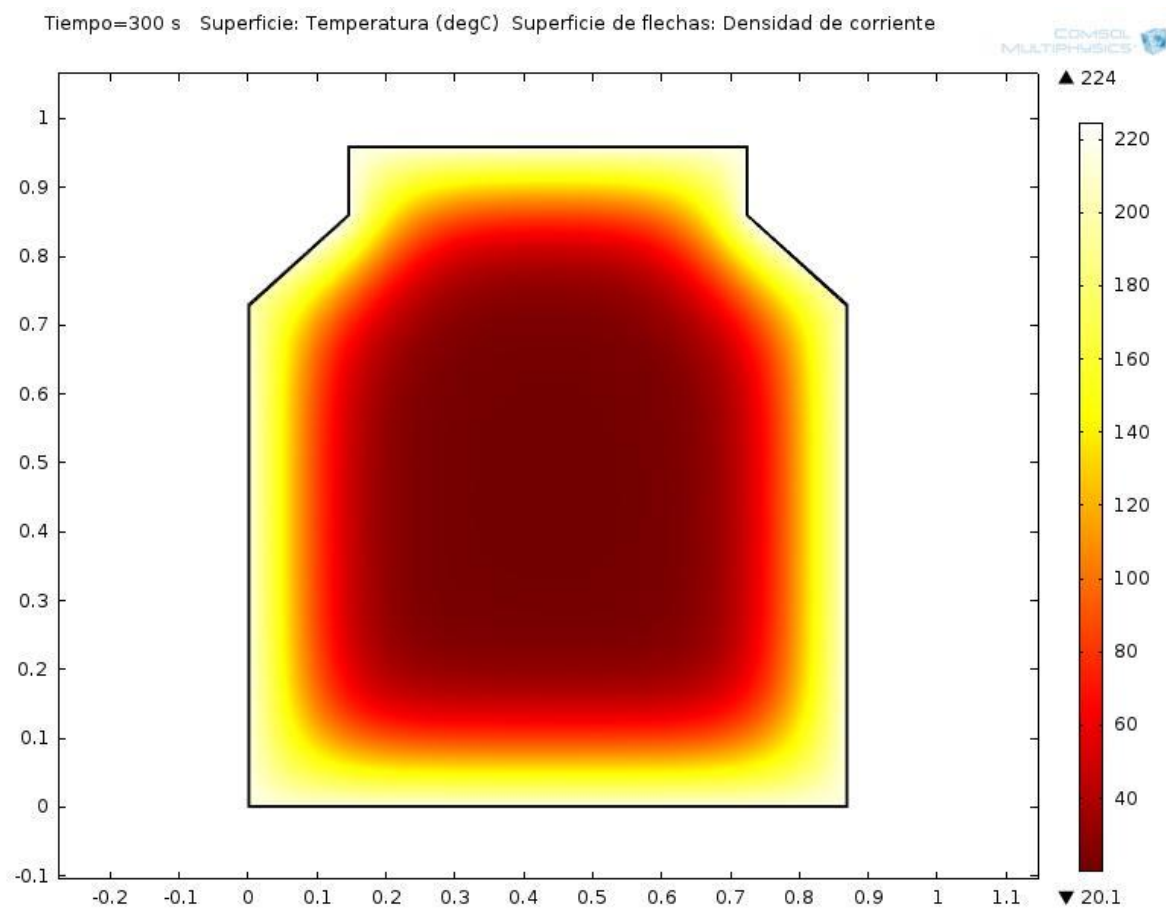


Ilustración 44: Temperatura del molde

En la ilustración 45 se pueden observar los contornos isotérmicos. Que son los cambios de temperatura que hay en el molde y se nota claramente cada capa de temperatura en cada milímetro del molde.

Tiempo=300 s Curva de nivel: Temperatura (degC) Superficie de flechas: Flujo de calor total

COMSOL
MULTIPHYSICS

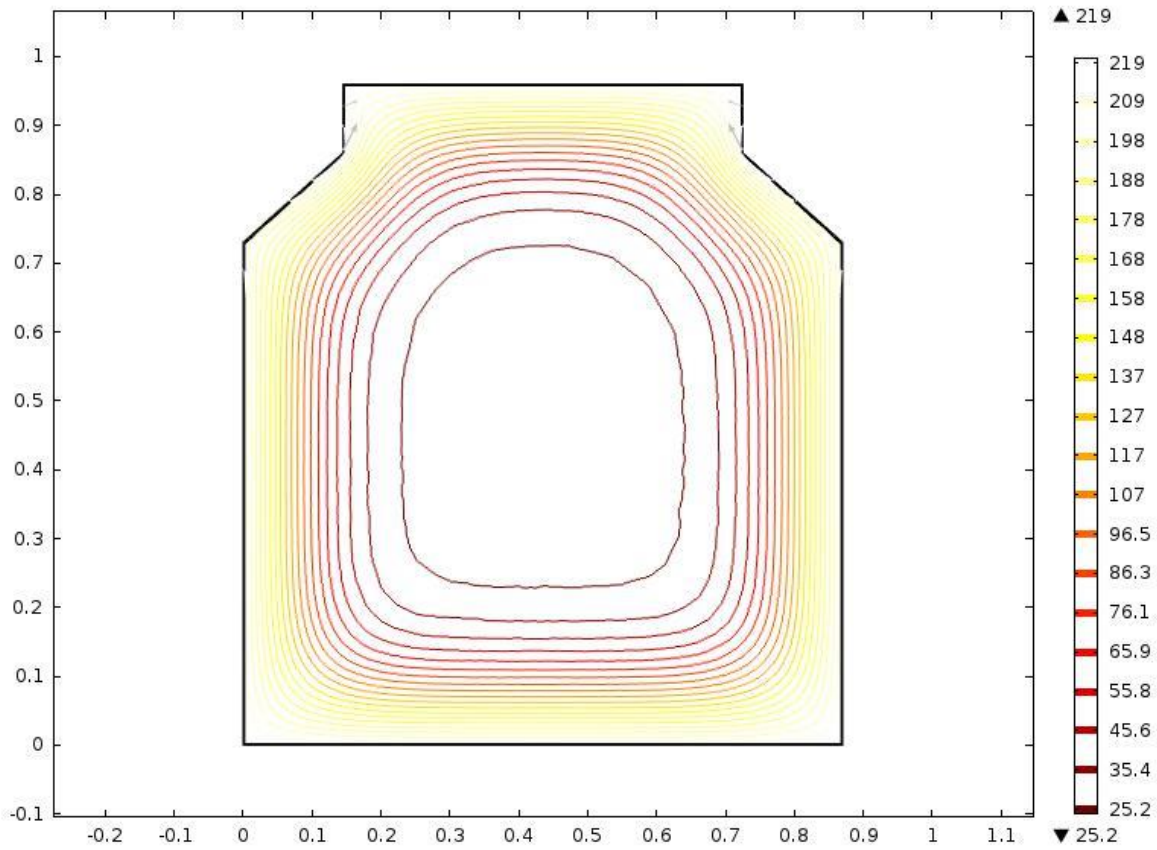


Ilustración 45: contornos isotérmicos

CONCLUSIÓN

Durante el proceso de calentamiento se demuestra que es eficiente, porque la selección de las resistencias de caucho de silicona son las más factibles para llevar a cabo este proceso. De acuerdo al estudio y la simulación podemos observar que fueron las esperadas, puede uno observar por medio de la simulación como se comportara el calor alrededor del molde durante un calentamiento aproximado a 5 minutos.

Estos resultados obtenidos durante el proceso de calentamiento del molde son claras y favorables utilizando el software mencionado anteriormente, por lo tanto se reducen los gastos y se evita perdidas porque ya no es necesario estar haciendo más pruebas lo cual es muy costosa; mediante esta simulación se puede asegurar que las resistencias propuestas calentaran con éxito el molde y así obtener un producto de calidad, en menor tiempo que en el sistema de calentamiento por flama abierta que es el que se utiliza hoy en día la empresa ROTOINNOVACION SA DE SV; por lo tanto con este nuevo sistema de calentamiento la empresa ahorrara tiempo, costo de producción y mayor calidad del producto.

FUENTES BIBLIOGRAFICAS

- EL ROTOMOLDEO. (2012). Recuperado el NOVIEMBRE de 2015, de <http://www.polimers.com/rotomoldeo/index.html>
- ROTOINOVACIÓN . (2014). Recuperado el 2015, de <http://www.rotoinnova.com/>
- ALFA SISTEMAS Y CONTROLES. (2015). Recuperado el NOV de 2015, de <http://www.alfasistemasycontroles.com/>
- ASRCALFACTORES. (2015). Recuperado el NOV de 2015, de <http://www.asrcalfactores.com.mx/tubulares.php>
- CALENTADORES FLEXIBLES. (2015). Recuperado el NOV de 2015, de <http://mx.omega.com/heaters/pdf/FGR.pdf>
- RESISTENCIA BANDA DE NÚCLEO . (2015). Recuperado el NOVIEMBRE de 2015, de <http://productosijm.com/producto/resistencia-banda-de-nucleo-ceramico/>
- TERMOKEW. (NOV de 2015). Recuperado el NOV de 2015, de <http://www.termokew.mx/resistencias-calentamiento.php>
- WATLOW. (2015). Recuperado el NOV de 2015, de <http://www.watlow.com.mx/>
- CANO, A. (2015). KINTEL. Recuperado el NOV de 2015, de <http://www.kintel.com.mx/resistencias-tipo-tubular/>
- Cengel, Y. A. (2011). TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA. fundamentos y aplicaciones. Mexico DF.: Mc Graw Hill.
- MAZZONE, V. (MARZO de 2002). CONTROLADORES PID. Recuperado el NOVIEMBRE de 2015, de <http://www.eng.newcastle.edu.au/~jhb519/teaching/caut1/Apuntes/PID.pdf>
- S.R.L, H. (2008). KOUNTARAS. Recuperado el NOV de 2015, de http://www.kountaras.com/documentos_html/tubulares_cabezales_inmersion.html