



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA



ANÁLISIS TEC-ECONÓMICO DE
UNA INYECTORA DE PLÁSTICO
MANUAL

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO

PRESENTA:

MARTÍNEZ NAVARRO OSCAR
ALEJANDRO

DIRECTOR DE TESIS

DR. HERRERA TOLEDO RODOLFO ALBERTO

2015

Ciudad Universitaria, D. F.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos:

A mis padres, Jesús y María Soledad que me brindaron la guía adecuada desde el día que nací hasta el momento en el cuál la vida decidió separarlos.

A mi madre, Soledad, que pese a toda la adversidad jamás se dio por vencida y logró que tuviéramos una formación profesional.

A mi hermano, Jesús que me apoyo en las buenas y en las malas.

A mis amigos y compañeros que me apoyaron en el trayecto de esta carrera.

A Stephanie Cariño, quien siempre me motivó e incitó a continuar con la tesis pues confío en la llegada de éste día.

A todos mis profesores que fueron impactando en mi vida de manera positiva, y a mi asesor Rodolfo Toledo por todo su apoyo en éste trabajo y por sus consejos.

Y finalmente a mi Dios, Jehová, que de manera discreta me abrió caminos, puertas y oportunidades.

“Todas las nociones vagas deben derrumbarse antes de que un discípulo pueda llamarse así mismo un maestro.”

Bruce Lee

Índice

ÍNDICE	1
OBJETIVO GENERAL	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
INTRODUCCIÓN	4
CAPÍTULO I ESTADO DEL ARTE	6
I.1 TRANSFERENCIA DE CALOR EN LA TRANSFORMACIÓN DE PLÁSTICOS.	8
I.2 EL FUNCIONAMIENTO DE UNA INYECTORA DE PLÁSTICO.....	9
I.3 PARTES MÁS IMPORTANTES DE UNA MÁQUINA INYECTORA MANUAL.....	11
I.4 TIPOS DE MÁQUINAS DE INYECCIÓN DE PLÁSTICOS MANUALES.....	12
CAPÍTULO II MODELOS MATEMÁTICOS PARA EL MOLDEO POR INYECCIÓN.....	16
II.1 MOLDEO POR INYECCIÓN: INYECTORA MANUAL VERTICAL.....	16
II.2 LA ECUACIÓN DE FOURIER	21
CAPÍTULO III ESTUDIO OPERATIVO DE LA INYECTORA	27
III.1 ESTUDIO EN EL EJE “R”	27
III.2 ESTUDIO EN EL EJE “Z”	28
III.3 PÉRDIDAS POR CONVECCIÓN Y RADIACIÓN.	28
III.4 AISLAMIENTOS	30
CAPÍTULO IV ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROCESO DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO	34
IV. 1 CONCEPTOS Y COSTOS ENERGÉTICOS	34
IV.2 DESGLOSE DE VALORES Y CONSUMOS.....	35
CAPÍTULO V ANÁLISIS DE RESULTADOS	42
APÉNDICE	44
<i>PROPIEDADES DE LOS PLÁSTICOS MÁS COMUNES USADOS EN MOLDEO POR INYECCIÓN.....</i>	44
<i>PROPIEDADES DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.....</i>	45
<i>PROPIEDADES DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN (CONTINUACIÓN).....</i>	46
<i>TABLAS III. 1 Y III.2 DATOS OBTENIDOS PARA EL EJE Z Y EL EJE R.....</i>	47
<i>TABLAS DE DATOS Y RESULTADOS EN EXCEL.....</i>	49
ANÁLISIS CON ASBESTO	49
ANÁLISIS DE LA MADERA	50
GRÁFICA DE MADERA	51
ANÁLISIS YESO.....	52
GRÁFICA DEL YESO	53
ANÁLISIS DE LA FIBRA DE VIDRIO	54
GRÁFICA DE FIBRA DE VIDRIO	55
ANÁLISIS DEL CORCHO.....	56

GRÁFICA DEL CORCHO.....57
BIBLIOGRAFÍA58

Objetivo general.

Evaluar la efectividad en el sistema de calentamiento de una inyectora de plástico manual, mediante el cálculo de las pérdidas de transferencia de calor, realizar propuestas de mejora para aumentar la productividad de la empresa, disminuyendo las pérdidas de energía.

Objetivos específicos

Generar un modelo de distribución de temperaturas de la inyectora de plástico, tanto en eje “z” como en el eje “R”, describir el perfil de temperaturas para conocer el comportamiento del sistema.

Posteriormente realizar una propuesta de aislante, para reducir la velocidad de transferencia de calor al ambiente y así conservar la temperatura requerida de inyección para que sea lo más homogénea posible.

Evaluar la factibilidad económica de la propuesta y saber si puede justificarse como un proyecto rentable.

Introducción

El presente trabajo se presenta para obtener el título de Ingeniero Mecánico por la Facultad de Ingeniería de la UNAM mediante la opción de titulación por medio de tesis.

La elaboración del presente, tiene como finalidad crear conciencia en las empresas de la necesidad de disminuir las disipaciones de energía al ambiente y de la protección a los usuarios. El presente trabajo se enfoca únicamente a una inyectora de plástico manual, cuyo comportamiento es similar al de cualquier otra inyectora de plástico. Muchas veces se da prioridad a las capacidades de inyección que a la seguridad, o energía consumida.

Debido a que los plásticos se encuentran cada vez en mayores cantidades, la industria está enfocada en ganar más, invirtiendo menos. Para lograr ese objetivo conviene una sustitución de materiales más caros con procesos de fabricación costosos por el uso de algún polímero. Eso se conoció durante los años 1900 en el cual surgieron los primeros polímeros completamente sintetizados. Desde la creación de la baquelita, caucho, PVC o el poliestireno, los cuales en la actualidad son de uso común. Hubo sustitución de vidrios por metacrilato de metilo, creación del teflón para la cocina y el uso del Nylon para rendimientos elevados.

La segunda guerra mundial fue una fuente de investigación por los rivales militares para la investigación y mejora de los polímeros, generación de nuevos sintetizados, todo lo necesario que les diera ventaja sobre el bando enemigo. Y a partir de entonces han ido creciendo en aplicaciones a pasos agigantados.

Los procesos de conformado de plásticos varían de producto a producto desde moldeos por soplado, para crear piezas delgadas y huecas como las botellas plásticas o partes de automóviles, procesos más complejos como la extrusión que permite creaciones de películas plásticas, perfiles, bolsas plásticas entre otros. La inyección plástica que permite crear una infinidad de piezas gracias al uso de moldes que en su cavidad contienen el diseño de la pieza deseada. Permitiendo lograr una inmensa diversidad de formas.

Las inyectoras plásticas ya sean manuales, automáticas o semiautomáticas están diseñadas bajo modelos matemáticos, desde la planeación de la capacidad de inyección la velocidad de inyección, diseño de formas y procesos, la velocidad de transferencia de calor entre el sistema y la materia prima para obtener óptimos resultados.

Conocer las partes que operan en la máquina por estudiar, permiten ir desmenuzando el problema para llegar al origen de las pérdidas energéticas, algunos autores hablan del diseño completo de la máquina de inyección pasando por alto la potencia de la resistencia eléctrica o la velocidad de disipación de la energía.

La transferencia de calor es un concepto pocas veces conocido o valorado fuera del ramo ingenieril, en muchas ocasiones el foco principal de las empresas o usuarios es el de recibir remuneraciones económicas a causa de mayores ventas que prevenir las pérdidas de dinero debido a la disipación de energía. Ahorros energéticos equivalen a ahorros monetarios.

El conocimiento de las condiciones reales de un sistema ayuda a determinar el trabajo que está produciendo. En el caso de la inyectora plástica manual en la cual se enfoca éste estudio, en la zona de calentamiento, que es la parte del barril, la resistencia eléctrica se encuentra sin aislante alguno para evitar la disipación de la energía, lo que produce una pérdida monetaria al negocio.

La importancia del uso de aislantes térmicos es para conservar la energía, perseguimos el objetivo de mantener cierta temperatura en un sistema y para la protección de los usuarios en el caso de trabajar con temperaturas altas, recordando que la OSHA (Occupational Safety and Health Administration) enuncia que las superficies de trabajo no deben estar a una temperatura superior a los 60°C para evitar algún accidente con el trabajador.

Un buen aislante no solo permitirá un trabajo más cómodo y seguro, también logrará que los ahorros por el ámbito energético sean considerables disminuyendo pérdidas hasta en un 80% promedio (Cengel, 2007).

El uso de aislantes es una manera sencilla y económica de ahorrar energía y dinero. Es un método necesario para el óptimo desempeño de una máquina térmica. Los modelos aquí propuestos pretenden ayudar a determinar de la mejor manera cuales son los ahorros obtenidos, sirviéndose de referencia para el diseño de nuevas máquinas de ésta índole. Sentando un antecedente, debido a que en otros trabajos similares no se encuentra información de este rubro.

Capítulo I Estado del arte

La transferencia de calor es una rama de la ingeniería que busca determinar el rango de energía transferida entre determinados cuerpos debido a una diferencia de temperatura, el concepto de rango es la diferencia básica entre la transferencia de calor y la termodinámica. La termodinámica trata con sistemas en equilibrio y ésta se preocupa por la cantidad de calor que requiere un sistema para pasar de un estado a otro. Sin embargo la termodinámica no contesta la pregunta “¿Qué tan rápido?”, es la rama de la transferencia de calor que se encarga de contestar a esa pregunta.

Los términos referentes a temperatura y calor se entienden de manera intuitiva. La temperatura es la propiedad física que describes a un cuerpo que tan “caliente o frío” se encuentra. Si nosotros tocamos un metal caliente a 50 °C el calor fluirá del metal a nuestra mano. Por otra parte si nosotros tocamos un cubo frío de hielo, el calor fluirá de nuestra mano al cubo de hielo. Así el concepto intuitivo de temperatura es realmente definido como el intercambio de calor de un cuerpo a otro. El calor es la forma de energía que fluye de un cuerpo a otro como resultado de una diferencia de temperatura.

Por otro lado, todo mundo ha escuchado la palabra plástico, mas no todos la asocian al término polímero, y aunque puede aseverarse que son sinónimos, no es así; los plásticos forman parte de los polímeros, es decir es una clasificación dentro de la extensa familia de polímeros. Éstos principalmente se forman por las siguientes familias:

Elastómeros: se deforman mucho al someterlos a un esfuerzo pero recuperan su forma inicial al eliminar el esfuerzo.

Plásticos: Son aquellos polímeros que, ante un esfuerzo suficientemente intenso, se deforman irreversiblemente, no pudiendo volver a su forma original.

Fibras: Presentan alto módulo de elasticidad y baja extensibilidad, lo que permite confeccionar tejidos cuyas dimensiones permanecen estables.

Recubrimientos: Son sustancias, normalmente líquidas, que se adhieren a la superficie de otros materiales para otorgarles alguna propiedad, por ejemplo resistencia a la abrasión.

Adhesivos: Son sustancias que combinan una alta adhesión y una alta cohesión, lo que les permite unir dos o más cuerpos por contacto superficial. (Pereira, 2015)

El conformado de los polímeros, es en términos generales el conjunto de procesos físicos y químicos que involucran a los polímeros durante su manufactura, manipulación, composición o transformación en productos comerciales. En la actualidad existen diversos tipos de moldeo para los plásticos, cada proceso se utiliza para la obtención de productos completamente diversos y propiedades termo-físicas específicas (incluso químicas), dando esto versatilidad a la hora de obtener un producto final.

Los principios de la ciencia e ingeniería de los polímeros, brindan las bases para la comprensión y el análisis de los fenómenos que ocurren durante el procesado de los polímeros, y los factores que influyen en las propiedades de los productos plásticos. De hecho, estos principios forman las bases para un enfoque unificado para el diseño, control y optimización de todos los procesos de transformación de los polímeros así como de sus productos.

La secuencia de operación experimentada por el material durante esta transformación, involucra transporte del sólido, calentamiento, fundición, flujo de la fundición, conformado en un dado o molde y, finalmente solidificación por enfriamiento en el caso de los termoplásticos o curado por calor en el caso de los termoestables.

Los polímeros exhiben un comportamiento reológico. Además sus propiedades térmicas y termodinámicas no son fácilmente accesibles en la literatura comercial o científica, esto puede ser atribuido, al menos en parte, a la amplia variación en la composición y estructura de los polímeros además del infinito número de modificaciones físicas y químicas involucradas en la gigantesca área de los polímeros.

Los polímeros han estado presentes en la vida y la naturaleza desde sus comienzos, como pueden ser las proteínas, pero los primeros polímeros artificiales surgieron a mediados del siglo XIX desarrollándose hasta nuestros días. Los primeros polímeros artificiales se obtuvieron a base de la transformación de polímeros naturales (caucho, seda, algodón, etc.). Se creó que el primer polímero fue elaborado por Charles Goodyear en 1839 con el vulcanizado del caucho. En 1846 y 1868 se desarrollaron formas de sintetizar celuloide a partir del nitrato de celulosa.

El primer polímero totalmente sintético, fue desarrollado en 1907 por el químico estadounidense Leo Hendrik Baekeland: la baquelita. Este producto tuvo un gran éxito debido a sus peculiares propiedades: se le podía dar la forma deseada antes de que se enfriara, no conducía la electricidad y era resistente al agua y los disolventes.

Pronto surgieron otros polímeros que revolucionarían esta industria como el poliestireno y el policloruro de vinilo (PVC), 1911 y 1912 respectivamente. Estos polímeros fueron sustitutos del caucho y se usaron para la creación de objetos y utensilios de la vida cotidiana.

Otros polímeros importantes fueron el metacrilato de metilo polimerizado (plexiglás) que se usó como sustituto del cristal, el teflón, usado en utensilios de cocina por sus propiedades antiadherentes y el nylon, primer plástico de alto rendimiento.

El avance de la industria de los polímeros se intensificó mucho a partir de 1926, cuando el químico alemán Hermann Staudinger expuso su teoría de los polímeros: largas cadenas de pequeñas unidades unidas por enlaces. Esta industria volvió a sufrir otro gran avance en la segunda guerra mundial.

Puesto que la mayoría de los países no recibía materias primas en la segunda guerra mundial, ya sea porque el país que se la suministraba se encontraba en el bando contrario, o porque las rutas de comercio estaban muy controladas, se vieron obligados a desarrollar nuevos polímeros para sustituir las materias primas con las que normalmente hacían los distintos productos o armas

de combate. Ejemplo de esto puede ser el caucho sintético usado por Alemania para las ruedas de los tanques y el nylon, desarrollado por los E.E.U.U. Usado para fabricar textiles como paracaídas o prendas combinándolo con lana o algodón.

Durante la posguerra y hasta nuestros días la industria de los polímeros ha seguido avanzando a pasos agigantados desarrollándose nuevos polímeros como el polietileno o el polipropileno, dos de los polímeros más usados en la actualidad. En los últimos treinta años la industria de los plásticos ha sufrido un “boom” en su implementación y mejoras, buscando materiales que sean más “amigables con el ambiente”.

Como conclusión se puede decir que el desarrollo de los polímeros ha sido uno de los mayores avances tecnológicos llevados a cabo por el hombre puesto que se han convertido en el material base sin el cual no sería el ser humano capaz de fabricar un gran número de objetos: los plásticos.

No existiría el uso de los polímeros sin un proceso de conformado y sin el estudio de la transferencia de calor en el comportamiento de los mismos plásticos.

I.1 Transferencia de Calor en la Transformación de plásticos.

Existen dos propiedades que juegan un papel muy significativo en el conformado de los plásticos: Su baja conductividad térmica y su alta viscosidad en estado fundido. En la mayoría de los plásticos la conductividad térmica (“ k ”) ronda en los 0.2 [W/mK] la cual es de manera aproximada 200 veces menor que la conductividad de los aceros, y 2000 veces más pequeña que la conductividad del cobre. Debido a su baja conductividad conseguir un incremento en su temperatura así como su enfriamiento con llevan un reto mayor pues es muy lento.

La mayor parte de la energía necesaria para calentar y fundir los pellets de plástico dentro de una inyectora de plástico manual provienen del barril de calentamiento, esto significa la conversión de la energía eléctrica en calor, gracias a una resistencia eléctrica provista en la parte exterior que rodea el barril.

Es posible llevar a cabo cálculos relativamente precisos en el aumento, caída o distribución de la temperatura así como la energía necesaria en el sistema, aplicando los principios de conservación de la energía y las ecuaciones de conducción, convección y radiación de calor.

En el caso de la conducción es necesario conocer la conductividad térmica del material o los materiales involucrados. Para la convección la clave se encuentra en la determinación del coeficiente de transferencia de calor convectivo, el cual se encuentra de manera aproximada en tablas con las propiedades de los materiales. El cálculo de la radiación, requiere la emisividad del material así como la relativa orientación geométrica entre las superficies.

I.2 El funcionamiento de una inyectora de plástico.

En ingeniería, el moldeo por inyección es un proceso semicontinuo que consiste en inyectar un material en estado fundido en un molde (cerrado a presión y con menor temperatura) a través de un orificio pequeño, llamado compuerta o punto de inyección. En ese molde el material se solidifica. La pieza o parte final se obtiene al abrir el molde y sacar de la cavidad la pieza moldeada.

Entre los materiales que se les aplica el proceso de moldeo por inyección se encuentran los metales, los cerámicos y los plásticos.

Actualmente, el moldeo por inyección aplicado al plástico, es uno de los procesos más utilizados en la producción de piezas, como son juguetes, artículos de cocina, componentes de maquinaria, artículos de consumo, desechables, etc.

Este proceso de manufactura representa varias ventajas, las más importantes son:

- Velocidad de fabricación de piezas,
- Alto nivel de producción,
- Diversidad en los diseños de las piezas,
- Bajos costos en la producción,
- Versatilidad en los diseños.

El moldeo por inyección es una de las tecnologías de procesamiento de polímeros más utilizadas, debido a que representa un modo relativamente simple para fabricar componentes con formas geométricas complejas. Para lograr este objetivo, es necesaria una máquina de inyección que incluya un molde. El molde tiene una cavidad cuya forma y dimensiones son idénticas a las piezas que se desean obtener. La cavidad se llena con el polímero fundido, el cual se solidifica manteniendo la forma moldeada.

La función de una inyectora de plástico, es proveer de materia prima al molde que se encargará de darle forma y enfriarla. Mediante un ciclo de varios segundos se produce una o varias piezas por periodo.

El proceso de moldeo en una máquina de émbolo consiste en:

- la dosificación del volumen o peso del material granulado (pellets) o en polvo,
- carga del cilindro de inyección fundiendo la materia prima para que éste pueda fluir,
- plastificación del material,
- cierre del molde para evitar que el fluido se desplace por zonas no deseadas,
- acercamiento del mecanismo de inyección,
- inyección del material plastificado a través de una pequeño barreno llamado compuerta,
- maduración bajo presión,
- retorno del émbolo y del mecanismo de inyección a sus posiciones iniciales,

- enfriamiento del artículo en el molde a una temperatura considerablemente menor a la de la temperatura de fundición del polímero,
- apertura del molde y expulsión del artículo y el bebedero.

Se puede resumir éste proceso en los siguientes tres puntos:

1.- Se aplica calor al sistema, elevando la temperatura para fundir el plástico a un grado tal, que éste pueda fluir al aplicarle cierta presión, la cual varía de acuerdo a la pieza a inyectar. Este incremento de temperatura suele llevarse a cabo sólo en una parte de la máquina, conocida como barril.

En ésta parte se depositan gránulos de plásticos conocidos como pellets que se encuentran en la tolva de carga que, al ir adquiriendo energía en forma de calor, se transforma su estado físico en plástico fundido y de temperatura uniforme. Cabe mencionar que por lo general los polímeros tienen conductividades térmicas bajas, por lo que el proceso de incremento de temperatura debe combinarse con una inyección a baja velocidad para que sea más eficiente el fundido.

2.- El polímero fundido que se obtiene del cambio de fase de los pellets, se inyecta por medio de un canal que irá disminuyendo su profundidad de manera gradual. De esta manera, la presión ejercida dentro del canal desplazará al material para que pase a través de la compuerta directamente al molde.

3.- Dentro del molde, el plástico fundido es sometido a la presión del molde hasta que se enfría y se solidifica. Ya en estado sólido, la pieza es retirada para su siguiente proceso o uso, en algunos casos la inyectada esta lista para usarse.

La Figura I.1 muestra las partes principales de la inyectora de plástico aunque la disposición de éstas puede variar, el principio de operación es el mismo.

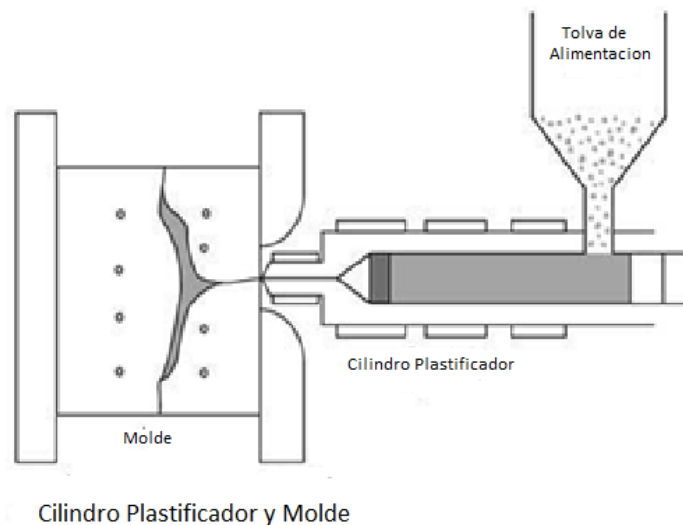


Figura I.1. Inyectora de plástico

I.3 Partes Más Importantes De Una Máquina Inyectora Manual

Unidad de inyección.

La función principal de la unidad de inyección es la de fundir, mezclar e inyectar el polímero. Para lograr esto, se utiliza una resistencia eléctrica que envuelve el barril de inyección, cuya temperatura de operación va a variar dependiendo del material que se desea fundir. El estudio del proceso de fusión de un polímero en la unidad de inyección debe considerar 3 aspectos termodinámicos:

- a) La temperatura de procesamiento del polímero.
- b) La capacidad calorífica del polímero (C_p [kJ/kg*K]).
- c) Calor latente de fusión, si el polímero es semicristalino.

La unidad e inyección es en origen una máquina de extrusión con un solo husillo, teniendo en el barril calentadores y sensores (usualmente un termopar) para mantener una temperatura programada constante.

Unidad de cierre

Consta de una prensa mecánica o hidráulica con una fuerza de cierre (por unida de área) de varios mega pascales (MPa) que contrarresta la presión ejercida por la unidad de inyección a la hora de hacer fluir el polímero fundido al molde. Si la presión es insuficiente, el molde no se mantiene en equilibrio, y el polímero escapará por la unión del molde, esto provocará que el producto final tenga rebabas o defectos en su fabricación.

Molde

También conocido como HERRAMIENTA es la parte más importante de la máquina de inyección, ya que es el espacio donde se genera la pieza; Si es necesario producir otra pieza simplemente se cambia la herramienta, al ser una pieza intercambiable que se ajusta a la unidad de cierre, la Figura I.2 muestra las partes del molde, que son:

- a) Cavidad: es la zona donde ocupara la pieza el volumen.
- b) Canales o ductos: Son conductos a través de los cuáles el polímero fundido fluye debido a la presión de inyección. El canal de alimentación se llena a través de la boquilla los siguientes canales son los bebederos y finalmente se encuentra la compuerta
- c) Canales de enfriamiento: Son canales por los cuales circula agua para regular la temperatura del molde. Su diseño es complejo y específico para cada pieza y molde, debido a que de un correcto enfriamiento depende que la pieza no se deforme debido a contracciones irregulares.

- d) Platinas, donde existe una platina móvil y una fija, la móvil se mueve a la fija, uniéndose hasta formar una sola pieza con ayuda de la unidad de cierre
- e) Barras expulsoras: al abrir el molde, estas barras, expulsan la pieza formada de la cavidad.

Como se puede apreciar cada elemento del sistema es de suma importancia puesto que le da calidad a la pieza formada, velocidad a la producción y una facilidad para la operación del mismo, algunas inyectoras tienen unidades adicionales a éstas y aunque no son necesarias simplifican el proceso, mejoran la producción y se vuelve más ergonómico su uso.

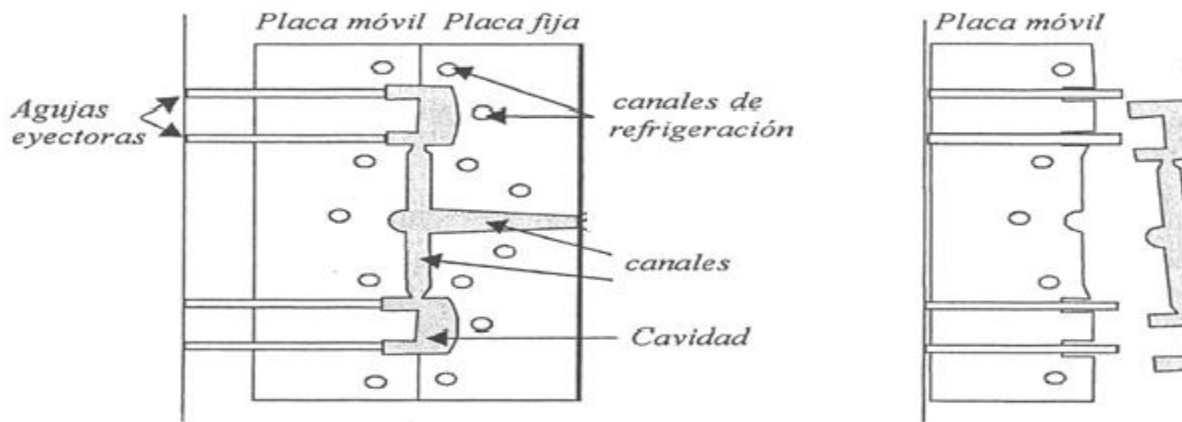


Figura 1.2 Partes del molde de inyección

1.4 Tipos de máquinas de inyección de plásticos Manuales.

Debido a la demanda de plásticos en la industria, se debió ir creciendo en la generación de diversas máquinas inyectoras, y su variación proviene desde el uso de espacios específicos en la zona de operación o buscar el incremento de presiones para piezas de mayor volumen, se mencionan las principales máquinas de inyección.

Para este trabajo se investigó que las inyectoras manuales son utilizadas para producciones pequeñas, es decir pequeñas series; se usan en laboratorios o pequeños negocios. De manera particular, en estas máquinas la presión de la unidad de cierre y la de inyección son proporcionadas por el usuario. Esta fuerza proporcionada por el operario se ejerce sobre un mecanismo de palancas y engranajes

La Figura 1.3 muestra de manera general los partes principales de este tipo de inyectora y sus mecanismos de acción, en la parte superior se ve el piñón y cremallera que representan a estas máquinas manuales. Seguido del cilindro de calentamiento, y las platinas que ejercerán la fuerza para cerrar el molde.

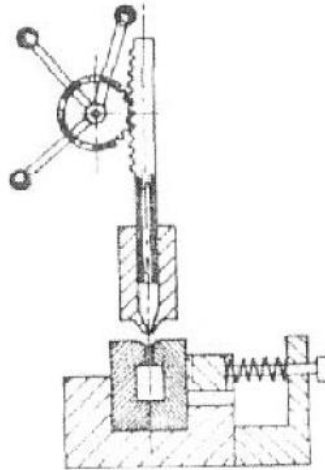


Figura 1.3 Máquina Manual accionada con cremallera y piñón

Debido a que la fuerza necesaria es proporcionada por el operario, se presentan limitaciones de la fuerza de inyección, El desgaste existente por el trabajo repetitivo, implica una disminución por el cansancio en la fuerza del ser humano. Con una configuración básica la inyectora manual es ideal para una producción baja, debido a que la energía de operación proviene del usuario, el incremento en el número de piezas implica un mayor desgaste para la persona que está inyectando. Sin embargo también cuentan con sus ventajas:

- Posee un bajo costo inicial.
- Facilidad a la hora de cambiar moldes.
- Versatilidad en el cambio de materiales.

Con una configuración básica la inyectora manual es ideal para una producción baja, debido a que la energía de operación proviene del usuario, el incremento en el número de piezas implica un mayor desgaste para la persona que está inyectando.

Máquinas Hidráulicas

Dentro de las máquinas manuales las hidráulicas intentan automatizar la producción, sin embargo por su sistema hidráulico no son capaces de funcionar en altas producciones.

Son accionadas por un solo sistema hidráulico, esta contiene una bomba y un motor para proveer la energía necesaria para la inyección del polímero. Debido a su tipo de funcionamiento y debido a la disposición de sus piezas suelen ser horizontales. Estas máquinas requieren una interacción

mínima con el usuario u operador en comparación con las manuales. El sistema de calentamiento está provisto de un arreglo de resistencias, el cual solo basta con conectarlo a la alimentación de corriente.

Una gran diferencia existente entre este tipo de máquinas y las anteriores, es la capacidad de inyección, así como las presiones manejadas, puede variar la capacidad de inyección desde 0.03 [Kg] a 0.04 [Kg] hasta 6 [Kg] a 8 [Kg] y por ende la presión será mayor mientras más cantidad de material se deba inyectar.

La Figura I.4 muestra uno de los diseños de las inyectoras con sistema hidráulico y como se ha mencionado, generalmente presentan una posición horizontal en su diseño.

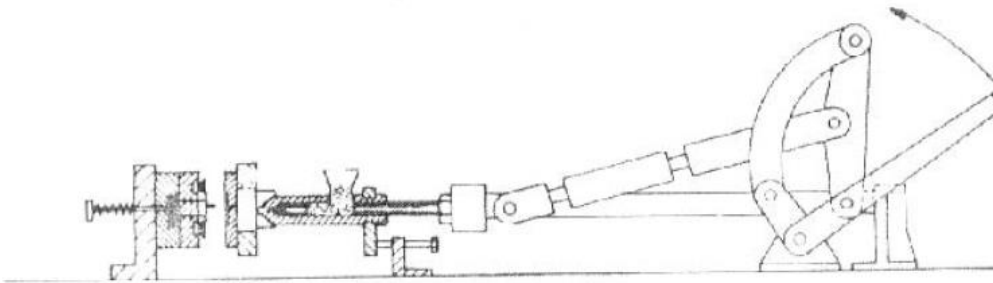


Figura I.4 Inyectora Manual Horizontal Con Sistema Hidráulico

La Figura I.5 muestra otra inyectora hidráulica pero esta es automatizada, así como la posición de su diseño es vertical.

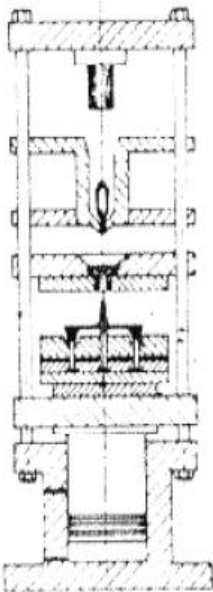


Figura I.5 Máquina de Inyección Hidráulica vertical

Capítulo II Modelos Matemáticos Para El Moldeo Por Inyección

Toda creación del hombre es regida por la física y las matemáticas, si bien puede ser desde un modelo físico-matemático sencillo, hasta uno con un grado que requiere especializaciones que llevan años y a todo un grupo de gente “experta” en ese ámbito.

El presentarse a lo desconocido, el no poder comprender algún fenómeno natural ha llevado al ser humano al diseño, creación y el invento de modelos físicos y matemáticos para intentar comprender el mundo que nos rodea. Es por ello que las inyectoras de plásticos no son excepción alguna a este tipo de análisis.

En el presente capítulo se describen de manera breve los modelos matemáticos que rigen el moldeo por inyección de plástico de forma manual. Se mencionan los parámetros de diseño para la inyección plástica y finalmente las ecuaciones que rigen al sistema estudiar, teniendo las ecuaciones características de disipación de temperatura tanto para el eje “Z” como en “R” siendo Z la altura en milímetros del barril de calentamiento y R el radio del mismo barril.

En el caso de la fundición de los polímeros en una inyectora manual, no es simplemente la acción de desplazar los pellets por el barril de calentamiento, y que éstos se fundan para llegar al molde y obtener la forma deseada. Para ello se hace uso de una singular asignatura en el área de la ingeniería Mecánica: La transferencia de calor.

Al conocer el tipo de comportamiento que tiene el sistema, es posible definir tanto los valores de temperatura, energía suministrada y necesaria para obtener el producto deseado con las condiciones y propiedades solicitadas.

El área o la zona donde se realiza éste análisis es el barril de calentamiento puesto que ahí se genera la transferencia de calor de la resistencia térmica al cilindro y del cilindro al material por inyectar.

II.1 Moldeo por Inyección: Inyectora Manual Vertical.

Éste proceso es gobernado por las mismas leyes de la conservación de masa, de momento y de energía. A su vez es distinguido por su periodicidad. Se determina por los siguientes parámetros fundamentales:

- Temperatura.
- Cantidad de materia que admite el cilindro de inyección.
- Presión.
- Velocidad de inyección.
- Duración del ciclo.
- Temperatura del molde.

- Eficiencia energética del cilindro de calentamiento.
- índice de pérdidas de presión en el cilindro de inyección.
- capacidad plastificadora de la máquina.

Para conocer los parámetros fundamentales de la máquina de inyección a estudiar basta conocer el volumen de la pieza a fabricar, la velocidad y la presión específica de inyección y la fuerza de cierre del molde.

En cuanto al análisis energético, el autor Savgorodny en su libro “Transformación de Plásticos” menciona algunos parámetros para conseguir un cálculo preciso de un cilindro de émbolo para lograr una plastificación adecuada y optimizar la energía utilizada. Teniéndose en cuenta las particularidades siguientes:

“La integración de la ecuación de la conductividad térmica para cuerpos cilíndricos, esféricos y de forma plana, los principales medios de transferencia de calor son la conducción y la convección; pueden estar representados gráficamente por medio de una interdependencia de valores adimensionales:

Criterio de Fourier

$$Fo = \frac{\alpha * t}{x^2}$$

Relación de las variaciones térmicas

$$\theta = (T - T_x)/(T - T_0)$$

Criterio Biot (relación de las resistencias térmicas, m)

$$Bi = \frac{h * x}{k}$$

Y relación de las distancias

$$n = \frac{r}{\frac{x}{2}}$$

En las cuales:

α , es difusividad térmica $\left[\frac{m^2}{s}\right]$;

t , el tiempo de calentamiento, [s];

x , espesor de la capa del material a calentar, [m];

T , la temperatura del medio ambiente, [°C];

T_x , la temperatura, transcurrido el tiempo τ , [°C];

T_0 , la temperatura inicial del cilindro, [°C];

k , la conductividad térmica, $\left[\frac{W}{m \cdot ^\circ C}\right]$;

h , el coeficiente convectivo, $\left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right]$;

r , la distancia entre el centro del eje del cilindro hasta el punto dado, [m].

Al determinar la temperatura en el centro del cilindro tenemos $r = 0$ y $n = 0$. En la capa delgada de material que hace contacto con la superficie del cilindro debido a los valores altos del coeficiente α y la reducida conductividad del material, $\frac{1}{Bi}$ es muy pequeño.

Además, Fo depende directamente de la temperatura, adimensional, θ (en las máquinas de inyección $\theta \approx 0.1$). Para las mismas máquinas el número de Fourier varía de 0.5 a los valores mínimos se toman cuando se trata de canales cilíndricos y los máximos para canales anulares.”¹

Podemos resumirlos de la siguiente manera:

Fo	Tipo de superficie
0.01	para placas planas
0.05	para cilindros
0,03	para esferas

El tiempo que permanece el material en el cilindro calentado será:

$$t = z t_c$$

Donde:

z , es la relación entre el volumen del material que permanece en el cilindro y el volumen correspondiente a una colada (adimensional).

t_c , la duración de un ciclo [h].

De esta forma, la duración máxima del ciclo será:

¹ (Savgorodny, 1979, págs.143,144,145)

$$t_c = t/z$$

El espesor “x” de la capa anular se determina con $Fo = 1$ de la condición:

$$Fo = \frac{\alpha * t_{cal}}{x^2}$$

Donde t_{cal} es el tiempo de calentamiento. Puesto que

$$\alpha = \frac{k}{C * \rho}$$

Se tiene que: $x = \sqrt{\frac{k * t_{cal}}{C * \rho}}$ conforme incrementa la capacidad térmica del material y su densidad el espesor irá disminuyendo.

Donde:

k , es la conductividad del material, $\frac{W}{m * K}$

C , la capacidad térmica del material, $\frac{J}{kg * K}$

ρ , la densidad del material, $\frac{kg}{m^3}$

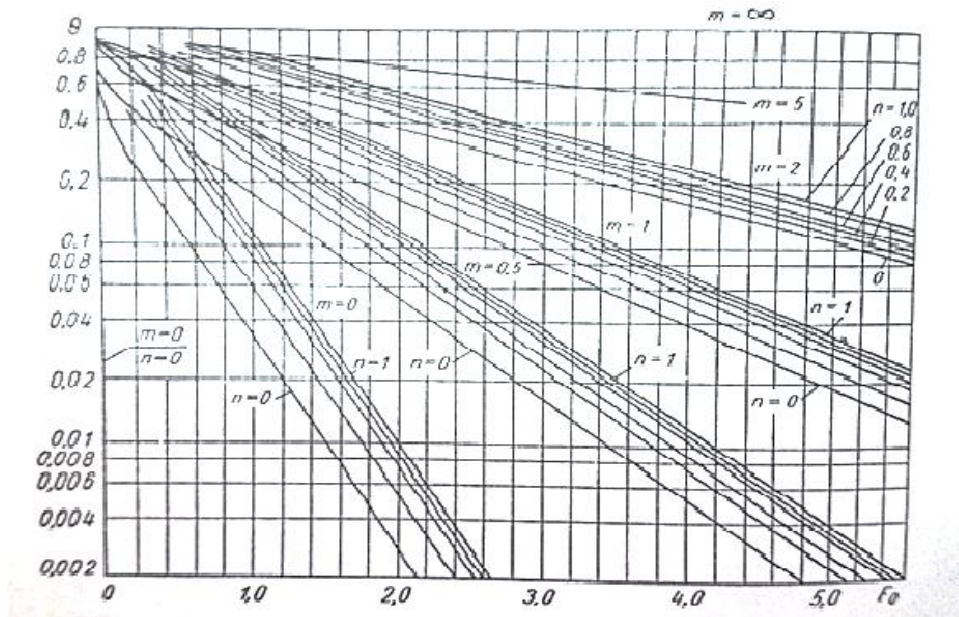


Figura II.1 Nomograma para determinar el criterio de Fourier con relación a los valores adimensionales de temperatura θ , tomando diversos valores de n y del número de Biot²

El calor utilizado exclusivamente para calentar el material durante 1 hora esta dada por:

$$Q = cm \left(\frac{60}{t_c} \right) \Delta T,$$

Donde:

m , es la masa de una inyectada, kg;

ΔT , la diferencia de las temperaturas inicial y final del material, °C.

Las dimensiones interiores del cilindro se obtienen por las ecuaciones siguientes:

$$Q = \left(\frac{\pi D l k \Delta T}{x} \right) \quad y \quad z = \left(\frac{\pi l (D-x) x \rho}{m} \right)$$

Siendo:

$$\frac{Q}{z} = \left(\frac{D k \Delta T_1 m}{(D-x) x^2 \rho} \right)$$

D , es el diámetro interior del cilindro, [m] ;

l , la longitud del cilindro, [m] ;

Puesto que el material en su desplazamiento se calienta desde T_1 hasta, tendremos:

² (Savgorodny, 1979, pag.144)

$$\Delta T_1 = \frac{\Delta T_0 - \Delta T_f}{Ln \frac{\Delta T_c}{\Delta T_f}}$$

ΔT_1 , la diferencia media de las temperaturas en las superficies exterior e interior del material, [°C]

Siendo éstos los parámetros establecidos en el libro Savgorodny para diseñar desde cero una inyectora, sin embargo, la disipación de la energía al medio, es un punto que no se ha tratado y éste fenómeno está basado en tres leyes o en tres ecuaciones.

II.2 La ecuación de Fourier

Esta ley establece que el flujo de calor entre dos cuerpos es directamente proporcional a la diferencia de temperatura entre ambos, sólo puede fluir del cuerpo más caliente hacia el más frío.

El sistema de inyección de plástico manual implica de manera principal la conducción de calor del barril hacia los pellets del material a inyectar, la ecuación de Fourier en coordenadas cartesianas es como se muestra a continuación:

$$Q = -K A \left(\frac{dT}{dx} \right)$$

Bajo las siguientes suposiciones: Estado estable, Conducción unidimensional a través del espesor y conductividad térmica constante.

De acuerdo a datos experimentales en el modelo de coordenadas rectangulares:

- La \dot{Q} se duplica cuando se duplica ΔT
- La \dot{Q} se duplica cuando el área (A) perpendicular
- La \dot{Q} se reduce a la mitad cuando se duplica la longitud L

Donde $\frac{dT}{dx}$ es el gradiente de temperatura en dirección x, sin embargo al ser un barril con forma cilíndrica conviene utilizar coordenadas cilíndricas por ende la transformación de la ecuación de Fourier a coordenadas cilíndricas es:

$$Q = -K A \left(\frac{dT}{dr} \right)$$

Siendo “r” el radio del cilindro.

Éste viene siendo uno de los principales medios de transferencia de calor, debido a que se transfiere de la resistencia eléctrica al cilindro y del cilindro al material a inyectar. Sin embargo, si la energía que provee la resistencia eléctrica sigue suministrando calor, la temperatura irá en aumento pudiendo dañar el plástico a inyectar, de igual modo si se deja de suministrar energía térmica por medio de la resistencia eléctrica el calor ira disminuyendo, debido a la transferencia de calor que existe en éste por convección, ya sea por el flujo del plástico a través del cilindro o por la interacción con el medio.

La transferencia de calor por convección está regido por la “Ley de enfriamiento de Newton, la ley de Fourier para conducción y la teoría de cuerpo negro en el caso de la transferencia de calor por radiación.

La siguiente Figura II.2 es representativa del cilindro a analizar, mostrando sus dimensiones así como sus temperaturas en los extremos.

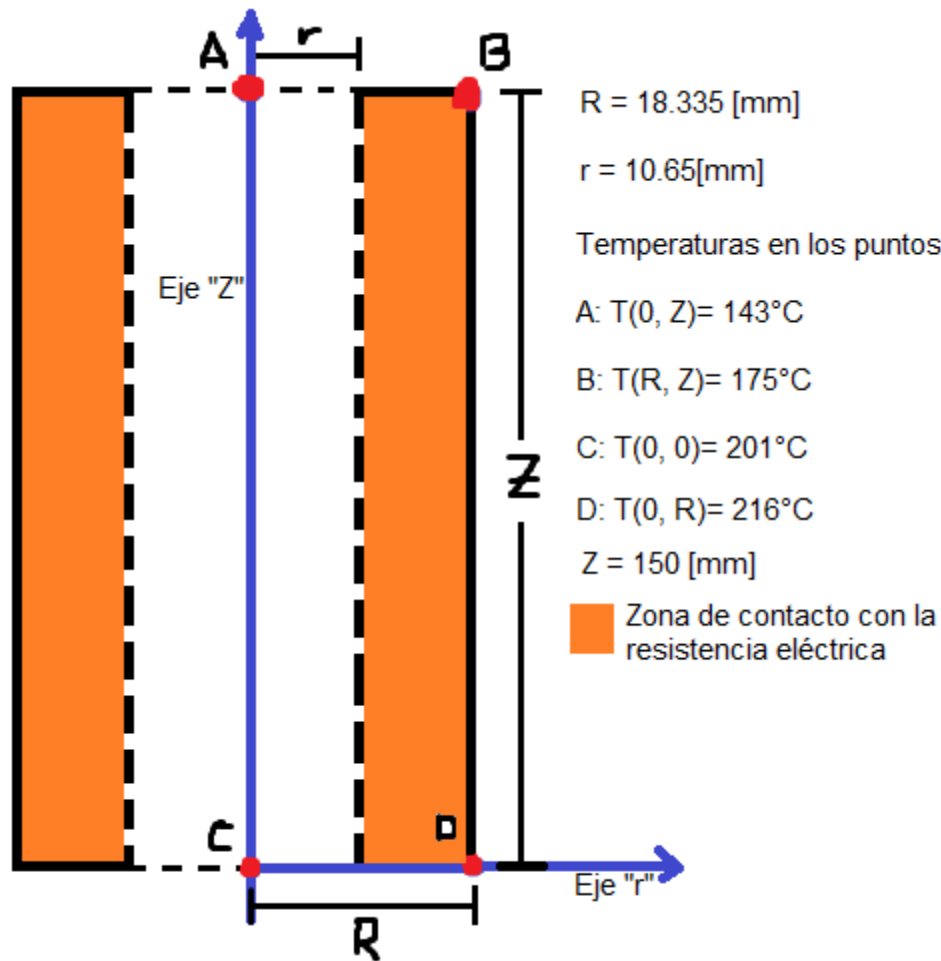


Figura II.2 Bosquejo del barril de calentamiento con sus respectivas temperaturas

Conociendo que $\dot{Q} = kA \left(\frac{dT}{dr} \right)$ para conducción en el cilindro a analizar, y las dimensiones del barril de calentamiento corresponden al radio exterior ($R_{ext} = R = 18.5 \times 10^{-3}$) y radio interior ($R_{int} = r = 10.65 \times 10^{-3}$) cuyas temperaturas en los puntos A, B, C, D son de 143°C , 175°C , 201°C y de 216°C respectivamente, que serán utilizados para cálculos posteriores.

Las temperaturas promedio para el exterior del cilindro así como en su interior fueron de 216°C y de 201°C respectivamente medidos con un termopar al encontrarse en operación la inyectora.

Considerando “Estado Estable” puesto que el material no se desintegra y se mantiene el barril de calentamiento alimentado de manera constante, tampoco se posee un elemento generador de calor, a su vez al estar trabajando en una forma cilíndrica, por simplicidad se usarán coordenadas de ésta naturaleza para obtener:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(r \frac{\partial T}{\partial \theta} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right) = 0$$

Que es la expresión de Laplace para régimen estable

En el problema presentado existe simetría en el eje r en la figura y al ser el espesor del radio muy pequeño se puede considerar constante, tampoco existe variación de la temperatura en el radio, y la temperatura cambia en la dirección de Z.

Quedando finalmente como

$$\frac{1}{r} \left(\frac{\partial}{\partial r} \right) \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right) = 0$$

Para conocer la variación de la distribución de temperaturas se debe integrar la ecuación anterior siendo “T” dependiente de “r” y “z” en éste caso, se procede a utilizar el método de separación de variables y proponiendo a “T” como: $T = f_1(r) f_2(z)$ por comodidad serán $f_1(r) = R$ y $f_2(z) = Z$ usando la constante de separación λ^2 queda la expresión después de manejo algebraico como:

$$\frac{R'' + \frac{1}{r} R'}{R} = \frac{-z''}{z} = -\lambda^2$$

lo que nos da dos ecuaciones independientes.

Las reescribimos de la siguiente forma, una para la dimensión “Z” y la otra para la dimensión “r”:

$$R'' + R' + rR\lambda^2 = 0 \quad \text{Y para “Z”}: z'' + z\lambda^2 = 0$$

Siendo sus soluciones para cada una representadas de la mejor manera por Zill ³ volviéndose la solución compleja, sabemos que algunos problemas de ingeniería requieren de un conocimiento matemático, pero no hay que perder de vista el objetivo perseguido en el trabajo, el cual es resolver un problema de ingeniería, las matemáticas no dejan de ser una herramienta de la ingeniería, no es el fin de resolver el problema a través de métodos exactos cuando no sea practico.

³ (Zill, 1997, págs. 483, 484, 485,491, 492, 493)

Además con éste método, no se puede hallar una solución única, debido a que se requiere de una serie de funciones trigonométricas para poder obtener las posibles soluciones y es mediante el uso de un software, lo que vuelve nuestro problema poco práctico debido a la inmensa variedad de polímeros utilizados por las mismas inyectoras, y la diversidad de inyectoras obteniendo así una variación muy amplia de valores para cada material, debido a las propiedades de cada material que varían en sus temperaturas de fusión y valores de operación.

Dicho lo anterior se analizará de manera independiente la variación de la temperatura respecto a “Z” y “r”. Volviendo el problema unidimensional para cada variable y así determinar un perfil de temperaturas para cada caso, tratando de brindar conclusiones al realizarlo de esta manera.

Sea en “r” $\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dT}{dr} \right) = 0$ puesto que es la ecuación diferencial que rige, nuestro problema debemos encontrar la función inicial que gobierna la conducción de calor, por ende se debe integrar dos veces la ecuación anterior para obtener nuestras constantes de integración y encontrar la ecuación característica respecto a “r”.

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dT}{dr} \right) = 0$$

$$\int \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dT}{dr} \right) = \int 0$$

$$\int r \frac{dT}{dr} = \int a_1$$

$$\int dT = \int \frac{a_1}{r} dr$$

$$T(r) = a_1 \ln r + a_2$$

Siendo “ $T(r) = a_1 \ln r + a_2$ ” nuestra ecuación general se debe hallar las constantes “ a_1 ” y “ a_2 ” para ellos se usarán las lecturas de temperaturas en la dirección de “r”

$$T(r_1) = 216, \quad r_1 = 18.335[mm]$$

$$T(r_2) = 201, \quad r_2 = 10.65[mm]$$

$$T_s = T_1 = 216 = a_1 \ln r_1 + a_2$$

$$T_i = T_2 = 201 = a_1 \ln r_2 + a_2$$

$$a_1 = \frac{T_2 - T_1}{\ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right)}; \quad a_2 = T_2 - \frac{T_2 - T_1}{\ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right)} \ln r_1$$

Se sustituye en la ecuación...

$$T(r) = \frac{T_i - T_s}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \ln r + \left(T_s - \frac{T_i - T_s}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \ln r_1 \right)$$

$$T(r) = (T_i - T_s) \left(\frac{\ln r}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} - \frac{\ln r_1}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \right) + T_s.$$

$$T(r) = (T_i - T_s) \left(\frac{\ln\left(\frac{r}{r_1}\right)}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \right) + T_s. \dots\dots\dots (R)$$

$$T(r) = (-15) \left(\frac{\ln\left(\frac{r}{18.5 \times 10^{-3}}\right)}{\ln\left(\frac{10.65 \times 10^{-3}}{18.5 \times 10^{-3}}\right)} \right) + 216$$

Finalmente se obtiene la ecuación de la temperatura en función de “r” para cualquier radio dentro de nuestro problema incluso pudiendo extrapolar la ecuación con unas sencillas mediciones a otra inyectora de características similares.

De manera similar, para la dirección “z” se integran ambas partes de la ecuación para encontrar los valores iniciales.

$$\int \frac{d^2T}{dz^2} = \int 0$$

$$\int \frac{dT}{dz} = \int C_1$$

$$T(z) = C_1 z + C_2$$

$$T(0) = C_2$$

$$C_2 = 216$$

$$142 = C_1 z + 216$$

$$C_1 = -493.33$$

$$T(z) = -493.33z + 201$$

La ecuación " $T(z) = -493.33z + 201$ " genera un comportamiento lineal en la variación de la temperatura en el eje "Z". Siendo estos los dos modelos bases para el estudio de la inyectora manual y sentando los recursos necesarios para los análisis siguientes.

Como es posible apreciar las ecuaciones obtenidas presentan un comportamiento lineal para el eje "Z" y un comportamiento logarítmico para "r". Con estas expresiones es posible describir el comportamiento general de la inyectora en dos dimensiones, y así conocer sus especificaciones para poder lograr las optimizaciones de la misma.

Los factores que influyen en la disipación de la energía como la convección y la radiación, también son posibles de conocer, gracias a sus ecuaciones. Sin estos modelos matemáticos, difícilmente se podría describir alguna tendencia y buscar alguna solución sería imposible pues no se conocería la raíz de algún problema o deficiencia.

Capítulo III Estudio Operativo De La Inyectora

Estudio Operativo De La Inyectora De Plástico Manual (Sistema Actual)

Las ecuaciones obtenidas en el capítulo anterior, sentaron las bases para iniciar un análisis operativo de la inyectora desde la obtención de gráficas para ver el comportamiento de la temperatura, la propuesta de la mejora del consumo energético, aislantes y protección al operario.

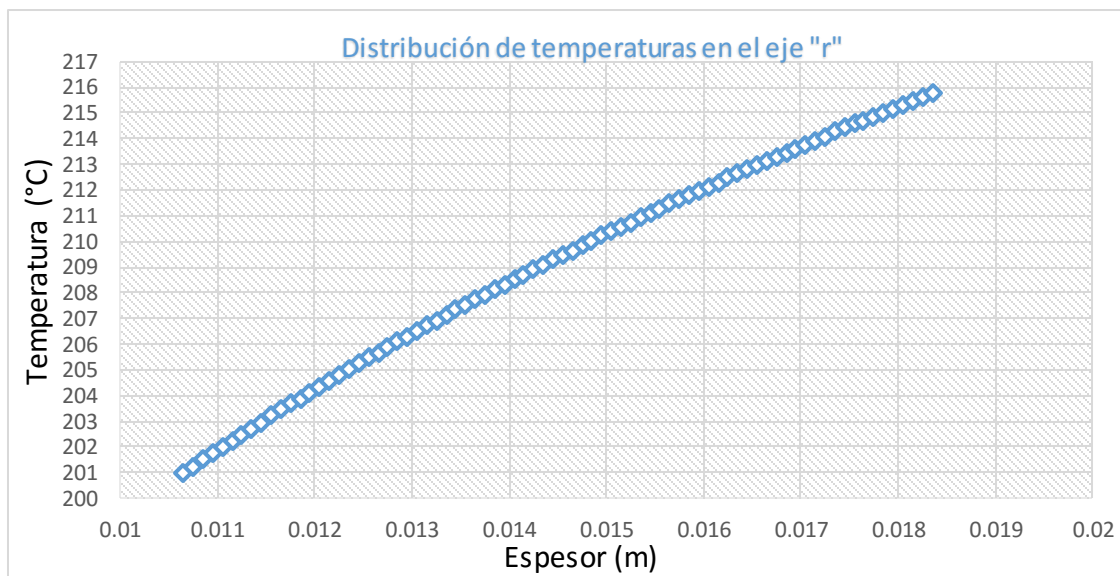
La inyectora manual en consideración, no cuenta con sistemas aislantes para evitar la pérdida de calor en la resistencia térmica, por ello es necesario poder visualizar el comportamiento de la temperatura es los dos ejes a estudiar, y también la propuesta de posibles materiales aislantes térmicos.

Éstos aislantes no solo disminuyen el consumo de energía, también evitan el contacto directo con la superficie que se encuentra a altas temperaturas, y podrían llegar a ocasionar un accidente grave.

La potencia eléctrica en consideración son 800 watts nominales, pero debido a la disipación de la energía por convección y radiación son aprovechados solamente 665 watts, recordando que el barril de calentamiento no presenta recubrimiento alguno.

III.1 Estudio en el eje "r"

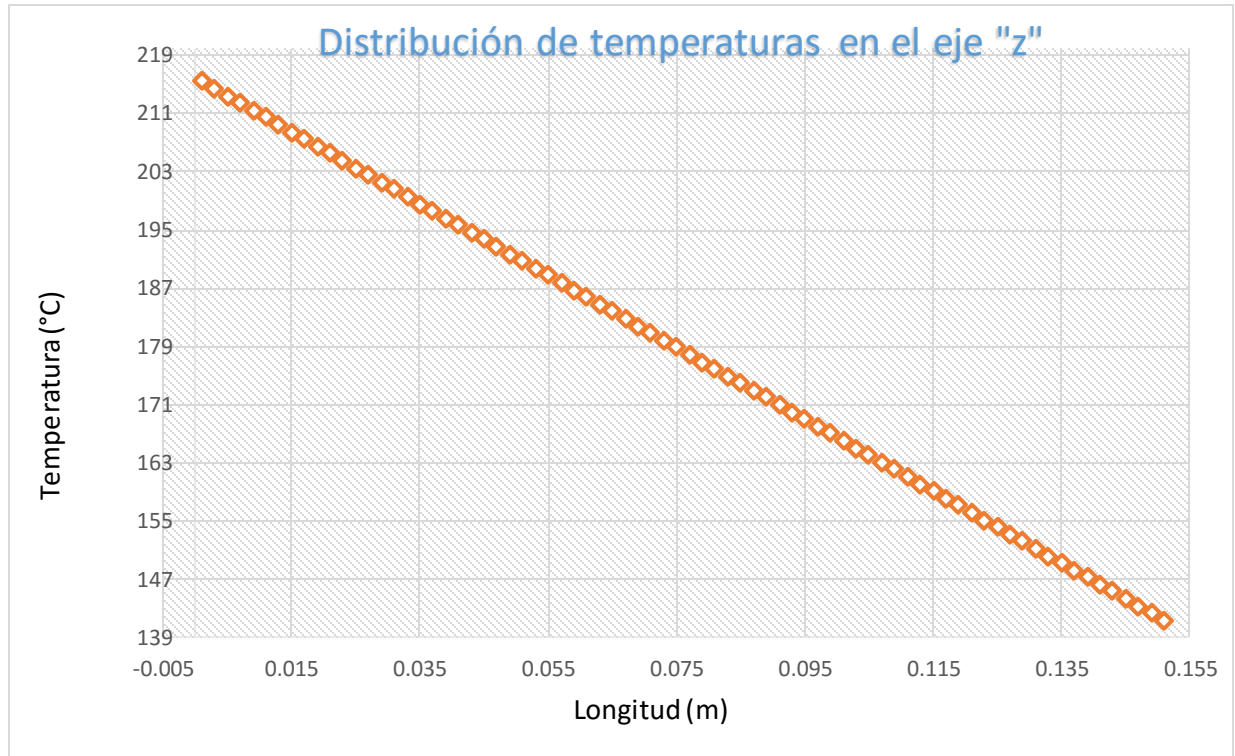
En la Gráfica III.1 se puede apreciar el comportamiento logarítmico de la temperatura en la dirección "r", siendo el espesor del cilindro; iniciando en los 201 [°C] y finalizando a los 216 [°C]. Conforme el espesor incrementa el flujo del calor va disminuyendo.



Gráfica III. 1 Distribución de temperaturas en "r"

III.2 Estudio en el eje “Z”

En el caso del eje vertical, se realizó una tabla (véase el apéndice) y la Gráfica III.2 para visualizar mejor la caída de la temperatura en ésta se muestra la recta con una pendiente negativa lo que implica una caída de la temperatura conforme se va alejando de la zona en la que se encuentra la resistencia del equipo de inyección.



Gráfica III. 2 Distribución de temperaturas en "z"

III.3 Pérdidas por convección y radiación.

Transferencia de Calor al ambiente por Convección

Esta ley se aplica a la transferencia de calor por convección; de manera principal al contacto de una superficie con un fluido, dicha ley tiene un coeficiente convectivo "h" para cada sustancia, la cual es una propiedad de la materia, se debe cumplir que: $T_{sup} > T_{fluido}$ para éste caso, sin embargo se puede presentar el caso contrario.

La expresión que la define es la ecuación siguiente.

$$\dot{Q} = A * h * \Delta T \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

Transferencia de Calor al ambiente por Radiación

La transferencia de calor por radiación entre un cuerpo y el medio que lo rodea, se calcula por medio de la ecuación de Stefan-Boltzman la cual está definida por la expresión:

$$\dot{Q}_{Rad} = \varepsilon * \sigma * A * (T_{sup}^4 - T_{\infty}^4)$$

Donde:

ε : Emisividad.

σ : Constante de Stefan-Boltzman = $5.67 \times 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 * K^4} \right]$.

A: Área de la superficie.

T_{sup} : Temperatura de la superficie.

T_{∞} : Temperatura ambiente.

h : Coeficiente convectivo.

ΔT : Diferencia de temperaturas.

La ecuación III.1 $Q_{sistema} = Q_{operación} + Q_{Radiación} + Q_{Convección}$ indica los dos factores que influyen en la pérdida de energía usada para calentar el barril.

Estos datos muestran el estado actual de la inyectora de plástico mostrando la pérdida de calor significativa en el eje "Z". Debido a que el calor está dado por

$$Q_{sistema} = Q_{operación} + Q_{Radiación} + Q_{Convección};$$

El calor de radiación \dot{Q}_{Rad} es obtenido por la ecuación de Stefan-Boltzman cuya expresión queda:

$$\dot{Q}_{Rad} = \varepsilon * \sigma * A * (T_{sup}^4 - T_{\infty}^4)$$

Cabe mencionar que la temperatura medida fue de 20°C y el valor de la emisividad fue tomado del libro Cengel, considerando acero intensamente oxidado.

Siendo $\dot{Q}_{Rad} = (0.80)(5.67 \times 10^{-8})(20.125 \times 10^{-3})(483.5^4 - 293^4)$ lo que nos da una pérdida por radiación de 43.16 watts.

Con:

ε : Emisividad.

$$\sigma: \text{Constante de Stefan-Boltzman} = 5.67 \times 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 * K^4} \right]$$

El flujo de calor por convección se obtiene mediante la ley de enfriamiento de Newton la cual se aplica para convección natural en éste caso particular. La ley de enfriamiento de Newton aplica cuando existe contacto de una superficie a un fluido siempre y cuando:

$T_{sup} > T_{fluido}$ La expresión que la define es la ecuación siguiente.

$$\dot{Q} = -Ah \Delta T \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

$$\text{Siendo: } \dot{Q} = -(20.125 \times 10^{-3}) * (24) * (190)$$

$$\dot{Q} = 91.77 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$$

Donde h: coeficiente de convección $\left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$ obtenido para el peor de los casos en convección natural, de Cengel-2007.

Estos dos mecanismos de transferencia de calor implican una pérdida de la potencia a su valor nominal, siendo de 665 [W] la potencia real estimada.

Conocidas las soluciones particulares del sistema, es posible la propuesta de un aislante térmico, el cual permitirá ahorrar energía conservando el calor en el barril, implicando menor gasto energético que se traduce en ahorro económico. También logrando una protección para el usuario.

III.4 Aislamientos

La Occupational Safety and Health Administration (OSHA)⁴ en sus normas recomienda que la temperatura de las superficies de trabajo deben estar por debajo de los 60 [°C], ésta norma tiene un equivalente mexicano siendo el documento que lo aprueba DOF:1710812010 con un equivalente NOM-001-SCFI-1993.

Con esto en mente se propondrán diversos materiales y espesores para lograr el objetivo mencionado.

La disminución de la transferencia de calor a través de superficies se le conoce como aislamiento térmico. Los aislamientos térmicos son materiales o combinaciones de materiales cuya función principal es brindar resistencia al flujo de calor. La gran mayoría de los aislantes térmicos usados

⁴ Por sus siglas en inglés.

son heterogéneos, con una conductividad térmica baja además de contener aire dentro del mismo material.

La ventaja que se obtiene al aislar un sistema térmico principalmente es la seguridad del usuario. Sin embargo en un mundo donde se gobierna por dinero el factor principal es el ahorro económico, puede decirse que con la cantidad de energía ahorrada en el primer año es aislamiento se paga solo.

Expandiendo la perspectiva, el aislamiento protege al usuario, al ambiente y genera ahorros económicos. En el barril de calentamiento ayudará a prevenir la oxidación en la superficie del tubo, puesto que evita el contacto con el vapor de agua que existe en el aire condensándose en la superficie y provocando óxido poco a poco.

En el mercado actual existen diversos aislantes, sin embargo, la mayoría están fabricados con fibra de vidrio, lana mineral, polietileno, espuma o silicato de calcio. El tipo de aislante será determinado al tipo de ambiente en cual se usará. La tabla A5 y A6 que se encuentra en el Apéndice, obtenida de Cengel-2007.

En el caso de la inyectora de plástico, debido a sus dimensiones y para el cilindro de calentamiento así como su resistencia los materiales más convenientes en la primera capa son: cemento con cal, previniendo el deterioro o daño de algún otro aislante debido al contacto directo con la superficie a elevadas temperaturas.

Una vez conseguida la reducción de temperatura puede utilizarse cualquier otro aislante, se proponen: fibra de vidrio, madera, yeso o corcho; debido a su asequibilidad. El espesor del aislante se limitó a 22 [mm] debido al espacio disponible en el diseño de la inyectora, de ésta manera no se ve afectada la comodidad para manipular el molde y no se compromete la calidad en la producción de la pieza.

Corresponden 10 [mm] al aislante de espesor fijo que es el asbesto, éste material inicial es propuesto para brindarle una protección a los materiales siguientes, y así, evitar que se degraden, incendien, o sobrepasen su temperatura de operación. Seguidos de 12 [mm] de espesor como máximo de otro material aislante para lograr una temperatura objetivo de 60°C.

Para conseguir dicho objetivo se tomaran en cuenta materiales con conductividades térmicas k inferiores a los 0.15 [W/mK], lo cual es una propiedad necesaria para brindar el aislamiento térmico al barril de calentamiento, en dichos materiales, y como comparación se usara un material específico utilizado para aislar tuberías de cobre, de forma económica que es el yeso.

El método usado para la consideración de los aislantes es el uso de resistencias térmicas, la siguiente Figura muestra el bosquejo usado para el cálculo de los aislantes, y en el apéndice se incluyen las tablas elaboradas con Excel para dichos cálculos.

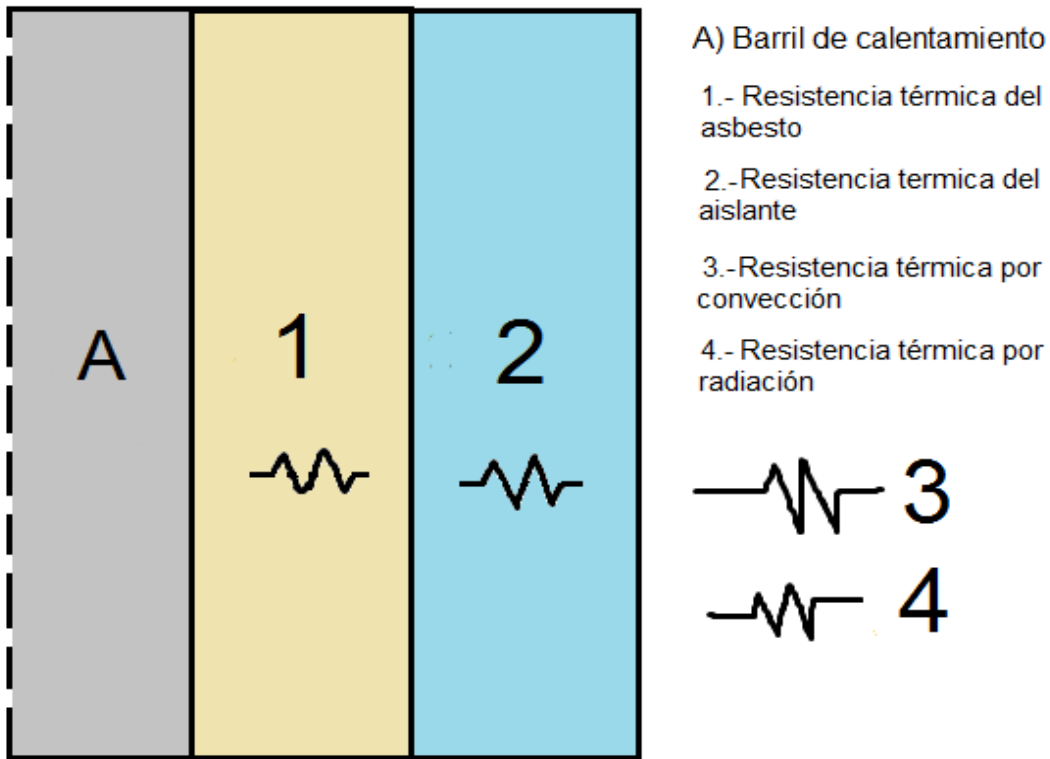


Figura III.1 Representación del orden de las resistencias térmicas en un corte vertical del cilindro de calentamiento, presentando la parte derecha debido a la simetría existente.

En la Figura III.1 se muestra el orden de las resistencias térmicas involucradas en el cálculo de la disipación de la energía. Para las primeras dos resistencias térmicas se utilizan las fórmulas

de resistencias por conducción en un cilindro siendo: $R_{cilindro} = \left(\frac{\ln\left(\frac{r_{ext}}{r_{int}}\right)}{2\pi Lk} \right)$

Y quedando para r_{ext} el radio exterior de cada material y r_{int} el radio exterior del barril de calentamiento. Para el caso de la resistencia por convección: $R_{convección} = \frac{1}{h \cdot A}$ y la resistencia por radiación se calcula con la siguiente expresión $R_{radiación} = \frac{1}{h_{rad} \cdot A}$ así mismo el coeficiente de transferencia de calor " h_{rad} " se expresa por $h_{rad} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_{sup}^2 + T_{cielo}^2) \cdot (T_{sup} + T_{cielo})$

Con

T_{sup} : Temperatura de la superficie.

T_{cielo} : Temperatura ambiente.

ε : Emisividad del material.

σ : Constante de Stefan-Boltzman.

L: Longitud de la superficie.

h: coeficiente convectivo

La Tabla III.1 muestra los valores de las temperaturas a diferentes espesores de los materiales propuestos. Se puede apreciar como la madera y el corcho, llegan a unas temperaturas que no causarían alguna lesión en el operario.

Material \ Espesor		2 [mm]	4[mm]	6[mm]	8[mm]	10[mm]	12[mm]
Asbesto	[W/m*K]						
	K=0.6	161.93 [°C]	158.42 [°C]	155.09 [°C]	151.91 [°C]	148.88 [°C]	
Yeso	[W/m*K]						
	K=0.76	119.42 [°C]	113.18 [°C]	107.5 [°C]	102.34 [°C]	97.65 [°C]	93.36 [°C]
Fibra de Vidrio	[W/m*K]						
	K=0.05	44.13 [°C]	40.34 [°C]	37.48 [°C]	35.25 [°C]	33.48 [°C]	32.03 [°C]
Corcho	[W/m*K]						
	K=0.039	39.64 [°C]	36.46 [°C]	34.08 [°C]	32.24 [°C]	30.79 [°C]	29.61 [°C]
Madera	[W/m*K]						
	K=0.115	64.54 [°C]	58.6 [°C]	53.89 [°C]	50.09 [°C]	46.96 [°C]	44.35 [°C]

Tabla III.1 Comparativa de valores obtenidos con diversos espesores de los aislantes propuestos

Se puede apreciar en la tabla que la temperatura recomendada por la “OSHA” que son 60 °C se mejoran fácilmente con dos milímetros de aislamiento con la fibra de vidrio y el corcho, siendo el corcho el mejor aislante de los materiales propuestos. El que presenta un menor aislamiento es el yeso que con 12 [mm] de espesor en el aislante solo logra una disminución de temperatura hasta 93 °C, aproximadamente.

Sin duda alguna el uso de aislantes es una gran opción a la hora de referirse a ahorros de energía implicando de igual manera ahorros económicos.

La pérdida de energía o la transferencia de calor hacia el ambiente por medio de radiación y convección variarán de acuerdo al material, dimensiones y propiedades. Los valores de la emisividad de los aislantes (Testo, 20015), (S.A, 2015). Por ende será necesario volver a calcular la transferencia de calor para cada caso.

Capítulo IV Análisis económico del proceso de inyección de plástico

El tener considerados los recursos ocupados, así como el costo que tiene la manutención y/o fabricación de cada producto son la base necesaria para poder realizar una comparación entre las diversas opciones que pueden existir en el mercado, fijarse un tiempo de recuperación de la inversión con la empresa en cuestión, para el aislante utilizado será la pauta inicial para la inyectora de plástico.

Considerando a las políticas de la empresa dueña de las inyectoras, para la realización de un proyecto un plazo de 3 años para la recuperación del costo del aislante, se analizará para cada uno de los casos propuestos, teniendo como objetivo que el costo del aislante se pague solo con el ahorro de la potencia de la resistencia térmica.

Una mala calidad en el producto derivado de la no homogeneidad en el calentamiento del material produce pérdidas de materia prima y aunque es su mayoría puede reciclarse esto tiene un impacto en el tiempo de operación y retrasa en cierto grado la producción del número total de piezas por inyectar.

IV. 1 Conceptos y costos energéticos

Existe una diferencia entre demanda energética y consumo energético, de manera general la demanda energética está sometida a factores externos como transferencia de calor por convección ya sea natural o forzada, radiación y conducción, temperatura ambiente y temperatura de operación. En cuanto al consumo energético es la utilización de la energía para cubrir la demanda que representa el sistema.

La potencia eléctrica es medida en Watts (energía sobre tiempo), sin embargo debemos de saber el tiempo de utilización del sistema en horas para saber el consumo de energía eléctrica

Esto es Potencia por tiempo igual a energía

El organismo encargado de regular el consumo de energía eléctrica en México es la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y mide el consumo realizado en kilowatts-hora [kWh].

Para el Distrito Federal y área Metropolitana el costo del [kWh] es de \$0.825 pesos para los primeros 75 [kWh] (0-75) los siguientes 65 kWh (75 kWh a 140 kWh) su costo es de \$0.996 y los adicionales a éstos tienen un precio de \$2.917 (140.01 kWh en adelante).

Cabe mencionar que la PYME en cuestión cuenta con un par de inyectoras plásticas manuales que operan bajo las mismas condiciones y el análisis realizado en el equipo fue en condiciones óptimas.

La potencia de la resistencia eléctrica es de 0.800 [kW] considerando que la máquina se encuentra en uso durante 6 horas se tiene un consumo de 4.8 kWh por el tiempo en

funcionamiento. Llevándolo a 5 días a la semana obtenemos un consumo de 24 [kWh] al final. Siendo la facturación cada 2 meses, implica 8 semanas en operación, por lo tanto el consumo semanal lleva a una cifra de 192 [kWh] promedio al final del bimestre.

Debido a la diferencias en las tarifas de consumo de la CFE la facturación a final del ciclo llega a un costo de \$278.3 pesos, en condiciones sin aislamiento. En un año se tiene un gasto de \$1669.8 pesos. Y en tres años es de \$5009.4 pesos.

Como se mencionó la potencia teórica de la resistencia térmica de la inyectora es de 0.8 [kW]. La pérdida de energía de la misma por los mecanismos de convección y radiación es de 0.135 [kWh], que son el 16.875% del total. Por ende, la eficiencia de la resistencia eléctrica es del 83.125% significando un consumo de 665 [kWh] aprovechados. Siendo consumos inaceptables para una máquina eléctrica.

Es esencial para cualquier industria o empresa, sin importar el tamaño, minimizar las pérdidas para poder optimizar las ganancias; en muchas ocasiones no es conveniente elevar el precio a los productos debido a la competitividad del mercado, por lo tanto se debe buscar otro camino para incrementar los ingresos. El principal caso es minimizar la energía no aprovechada.

Puesto que el 16.875% del consumo de la energía se disipa al ambiente, tiene como implicación un costo, que es de \$281.78 pesos al año en pérdidas, en el periodo propuesto de 3 años sería de \$845.34 sólo por la inyectora en cuestión, si se llegase a tener un mayor número de maquinaria y con una mayor producción el costo fácilmente puede duplicarse.

IV.2 Desglose de Valores y consumos

El objetivo de los aislantes propuestos, como se ha mencionado, es la protección del operario y poder aprovechar de una mejor manera la energía que se viene disipando en el ambiente. Las siguientes tablas y gráficas muestran la reducción de la energía disipada por radiación (Tabla IV.1) y convección (Tabla IV.3).

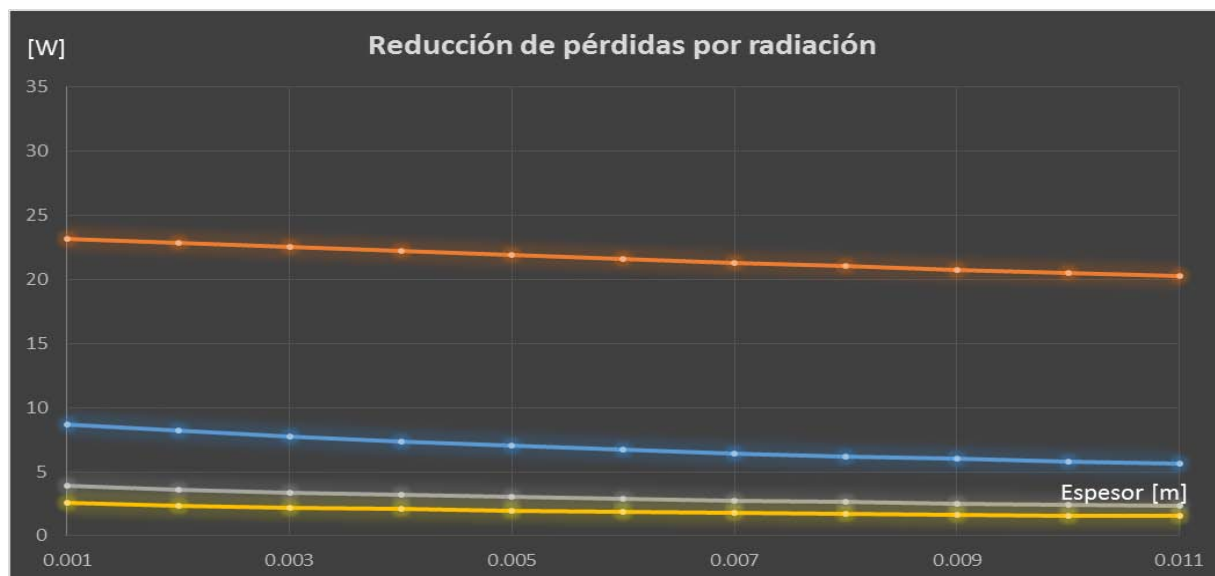
Valores de la pérdida de calor por Radiación en función del espesor en [W]				
Espesor [m] /Material	Madera	Yeso	Fibra de Vidrio	Corcho
0.001	8.69125845	23.1479974	3.88842511	2.55296362
0.002	8.18468701	22.8264985	3.621042	2.37272932
0.003	7.74549966	22.5101918	3.39495501	2.22099093
0.004	7.3611755	22.2000804	3.2012457	2.09144867
0.005	7.02207819	21.8968917	3.03338356	1.97952925
0.006	6.72067925	21.6011323	2.88647968	1.88183375
0.007	6.45101724	21.3131336	2.75680302	1.79578414
0.008	6.20831406	21.0330884	2.64145768	1.71939002
0.009	5.98869769	20.7610801	2.53816222	1.65109043
0.01	5.78899892	20.4971069	2.4450952	1.58964413
0.011	5.60659999	20.2411011	2.360785	1.53405176
0.012	5.43932051	19.9929443	2.28402983	1.48349972

Tabla IV.1 Valores de la pérdida de calor por radiación en función del espesor

En la Tabla IV.1 en la parte superior se aprecia como el mejor aislante es el corcho, disipando un aproximado de 1.5 [W] con un mayor espesor del aislante, que en comparación al valor inicial las pérdidas son mínimas

La Gráfica IV.1 muestra la tendencia que tienen los materiales para reducir la cantidad de energía disipada conforme se incrementa el espesor del aislante, es bueno recordar que a una menor temperatura superficial implica una menor disipación de energía al ambiente.

Cada color viene referido al material, es decir el azul para la madera, naranja para el yeso, gris para la fibra de vidrio y amarillo para el corcho.



Gráfica IV.1 Reducción en las pérdidas por radiación

El yeso (línea en color rojo) permite el paso de una mayor cantidad de energía y esto tiene que ver de manera directa a la temperatura superficial que es mayor a los demás. Y teniendo a la línea amarilla como el que menor energía disipa.

La Tabla IV.2 muestra la diferencia entre la energía disipada por la resistencia térmica en un periodo de un año, con los diferentes aislantes y sin ellos.

Datos y comparaciones de energía disipada por radiación con y sin aislante.				
Energía kWh	Madera	Yeso	Fibra de vidrio	Corcho
Consumo energía	0.0055	0.02	0.0023	0.0015
horas en uso por día	6	6	6	6
días a la semana en operación	5	5	5	5
semanas por periodo	8	8	8	8
semanas al año	52	52	52	52
Energía disipada en el ciclo [kWh]	1.32	4.8	0.552	0.36
Energía disipada al año [kWh]	8.58	31.2	3.588	2.34
Energía disipada sin aislante [kWh]	0.04316	0.04316	0.04316	0.04316
Energía disipada sin aislante al año	67.3296	67.3296	67.3296	67.3296

Tabla IV. 2 Datos y comparaciones de energía disipada por radiación con y sin aislante

Inicialmente se tenían 67.33 [kWh] transferidos al ambiente por radiación, ahora se tienen una disminución de la energía disipada, desde los 31.2 [kWh] hasta los 2.34 [kWh] anuales. Este hecho implica un ahorro del 87.25% para la madera, del 53.66% para el yeso, 94.67% para la fibra de vidrio y del 96.52% menos para el corcho.

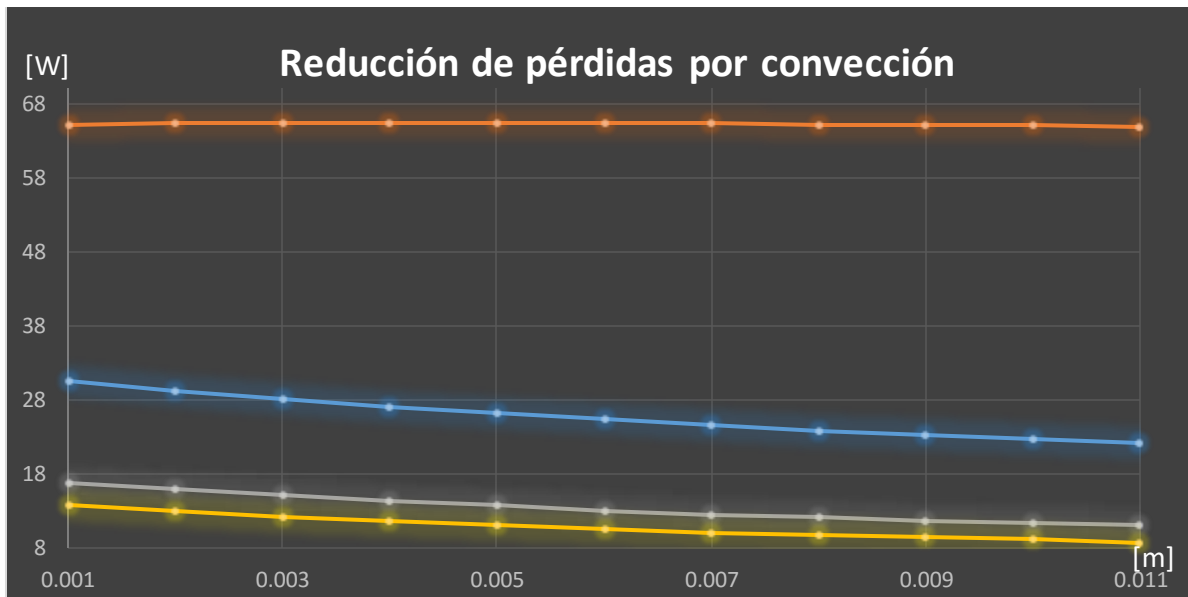
Por otro lado, la transferencia de calor por convección es el factor que mayor pérdida de energía produce en el sistema, no obstante, de manera similar a la radiación, también éstas se pueden reducir con los mismos aislantes y así lo presenta la Tabla IV.3 que a continuación se muestra.

Valores de la pérdida de calor por convección en función del espesor en [W]				
Espesor [m] /Material	Madera	Yeso	Fibra de Vidrio	Corcho
0.001	30.477997	65.0967875	16.79589687	13.7219594
0.002	29.2158241	65.2186696	15.83003472	12.8842691
0.003	28.0845023	65.2968015	14.99475601	12.1653162
0.004	27.064408	65.3363109	14.26492901	11.5412335
0.005	26.1396589	65.3417486	13.62149741	10.9941629
0.006	25.2972635	65.3171533	13.04974804	10.5104752
0.007	24.5264927	65.2661094	12.53813932	10.0795873
0.008	23.8184079	65.1917988	12.07748974	9.69315577
0.009	23.1655026	65.0970467	11.66040331	9.34451346
0.01	22.5614269	64.9843626	11.28085522	9.02826827
0.011	22.0007728	64.8559759	10.93388776	8.7400119
0.012	21.4789059	64.7138683	10.61538374	8.47610495

Tabla IV.3 Valores de la pérdida de calor por convección en función del espesor en [W]

Es posible apreciar cómo los valores van disminuyendo de manera considerable, pues sin aislamiento alguno se calcularon 91.77 [W] transferidos al ambiente por el mecanismo de convección, y aunque es un medio de transferencia de calor distinto, su similitud al decremento se debe, a que el principal factor de la disipación de energía es la temperatura superficial.

El yeso continúa siendo el material que mayor energía disipa al ambiente, seguido de la madera y teniendo como mejor aislante al corcho.



Gráfica IV. 2 Reducción de la energía disipada

La gráfica IV.2 muestra la tendencia de cada material: Rojo para el yeso, azul para la madera, gris para la fibra de vidrio y finalmente el amarillo para el corcho. De hecho el yeso se mantiene en sus valores rondando de los 64 a 64 Watts disipados, lo que lo hace la opción menos viable para los fines buscados.

La tabla IV.4 muestra los valores obtenidos para el caso convectivo, pudiendo brindar información valiosa para obtener los ahorros económicos posteriores.

Datos y comparaciones de energía disipada por convección con y sin aislante.				
Energía kWh	Madera	Yeso	Fibra de vidrio	Corcho
Consumo energía	0.0215	0.0647	0.0106	0.0085
Horas en uso por día	6	6	6	6
Días a la semana en operación	5	5	5	5
Semanas por periodo	8	8	8	8
Semanas al año	52	52	52	52
Energía disipada en el ciclo [kWh]	5.16	15.528	2.544	2.04
Energía disipada al año [kWh]	33.54	100.932	16.536	13.26
Energía disipada sin aislante [kWh]	0.09177	0.09177	0.09177	0.09177
Energía disipada sin aislante al año [kWh]	143.1612	143.1612	143.1612	143.1612

Tabla IV.4 Energía disipada con y sin aislante

Es posible ver que en relación con el uso del equipo sin aislantes se disipaban 91.77 watts al día de operación, ahora se tiene un consumo del 23.43% referentes a los 91.77 [W] con el uso del aislante de madera, del 70.5% de la energía usada para el yeso, un 11.5% para la fibra de vidrio y el porcentaje mínimo lo tiene el corcho con un 9.26% relativo a los 91.77 watts mencionados.

Con estos detalles es posible proyectar la pérdida de energía con las propuestas hechas, considerando el porcentaje que representan al valor total consumido. Se realizará de esta manera debido a la diferencia de precios en la tarifa del consumo energético de la CFE, y debido a que es imposible conocer con qué tipo de cobro fue considerada la energía disipada.

Al tener los valores de ambos casos de disipación para cada material, se realiza el cálculo de la potencia real de la bomba, recordando que dicha expresión para lograrlo es:

$$W_{real} = W_{teorica} - \dot{Q}_{Rad} - \dot{Q}_{Conv} ;$$

Cómo lo muestra la Tabla IV.5, para cada material utilizado.

Potencia real en KW de la resistencia según el material aislante					
Tipo de aislante	Potencia teórica	Pérdidas por radiación	Pérdidas por convección	Potencia Real utilizada	Eficiencia
Madera	800	5.5	21.5	773	96.625
Yeso	800	20	64.7	715.3	89.4125
Fibra de vidrio	800	2.3	10.6	787.1	98.3875
Corcho	800	1.5	8.5	790	98.75

Tabla IV.5 Potencia real con aislantes

Teniendo en consideración los porcentajes y con el valor de la energía disipada anteriormente es apreciable que la eficiencia de la resistencia térmica sube desde el 89.4% hasta el 98.75% teniendo un aumento en el mejor de los aislantes del 15.625%.

El primero de los casos que es la madera, se tiene un pérdida de energía de 42.12 [kW] al año, de 132.32 [kW] para el yeso, en el caso de la fibra de vidrio y el corcho son de 20.12 [kW] y 15.6 [kW] respectivamente. En el periodo de un año, la disipación de la energía tiene un costo calculado de \$56.32, \$176.7, \$26.91, \$20.88, para la madera, yeso, fibra de vidrio y corcho, en ese orden, respecto a la eficiencia con los aislantes.

Para el periodo de 3 años se habrán ahorrado \$676 pesos con un aislante de madera en puro concepto de energía, \$305 pesos con yeso, \$764.5 con la fibra de vidrio y finalmente si se usa corcho un ahorro de \$783 pesos.

Es posible apreciar la reducción de la energía disipada, para cada propuesta de los aislantes; se estima un costo de producción para el caso del yeso, en 75 pesos, teniendo de referencia los precios brindados por el proveedor "Jaro Robert" perteneciente a "Construrama".

Para el caso de la madera, el costo no fue posible obtenerlo debido a la variación de materiales por usar y de precios de fabricación, presentando un valor promedio de \$250 pesos.

La fibra de vidrio cuenta con diferentes presentaciones, el mejor precio y la presentación más adecuada a las dimensiones de la resistencia se encuentra en el sitio web "mercado libre" tiene un precio de \$180 pesos, el proveedor es "VeneGas", quien vende éste material por metro, así como es posible conseguirlo en la tienda Mc Master en internet.

Para el caso del corcho, se consigue en láminas de diversos espesores, desde 1 [mm] con precio \$22.43 y hasta 6 [mm] con valor de \$130.50. Se vende en hojas o láminas cuyas dimensiones son de 45 [cm] por 63 [cm]. Puede adquirirse en la papelería "El Tigre". En la calle república de Salvador, en la colonia Centro, es posible utilizar el corcho como aislante aplicando un retardante de llama, para evitar su degradación.

En la tabla IV.6 es posible apreciar varios rubros, así como unas comparativas, teniendo la pérdida económica en columna seguida al material así como las variaciones de las pérdidas con los aislantes propuestos, apreciando una disminución considerable para cada caso.

Comparativa de valores económicos (en pesos)							
Material	Pérdidas económicas al año sin aislante	Pérdidas económicas al año con aislante	Ahorro en comparación al valor inicial	Costo del aislante	Costo del asbesto	Costo del asbesto más el material	Se paga en (meses)
Madera	281.78	42.12	229.66	250	40	290	12
Yeso	281.78	132.13	139.65	75	40	115	5
Fibra de Vidrio	281.78	20.12	251.66	180	40	220	9
Corcho	281.78	15.6	256.18	130.5	40	171	7

Tabla IV.6 Comparativa económica

Finalmente en la última columna se ve como el aislante en la mayoría de los casos se pagaría en menos de un año, siendo el costo de la madera (aunque no exacto si un aproximado) el más elevado debido a los diversos materiales así como al costo de su fabricación.

No hay cabida a alguna duda respecto al uso de aislantes, ya sea que la razón principal para su uso sea el ahorro económico o la protección del usuario es una herramienta sumamente necesaria para lograr cualquiera de estos objetivos.

En el caso estudiado las pérdidas económicas y energéticas tal vez no parezcan muy significativas, pero considerándolo tan solo como una muestra de los beneficios del utilizar aislantes, es posible imaginar cuánta energía podría aprovecharse en sistemas con mayor potencia e incluso en negocios o fábricas con un mayor número de máquinas.

Capítulo V Análisis de Resultados

La transferencia de calor entre sistemas es un método sumamente útil para poder brindar la energía necesaria a un sistema determinado, sin embargo si no se calcula de manera apropiada la transferencia de energía entre los sistemas en cuestión, puede dañarse el equipo o como se vió anteriormente, puede existir una disipación de energía considerable al entorno.

Por ello toda máquina térmica debe tener un aislamiento térmico, permitiendo así ahorrar energía, que se traduce en ahorro de dinero. Así como cuidar al operario y al ambiente, pues la energía que se requiere se aprovecha de una mejor forma. El caso de la inyectora manual, que requiere un operario todo el tiempo, es motivo para cuidar la integridad del mismo. La ingeniería aplicada en este sistema, utiliza los principales métodos de transferencia de calor, que son la radiación, la convección y la conducción.

Conocerlos y recordar que las temperaturas superficiales son los principales factores que influyen en la pérdida de energía, ayudará al operario a conocer de manera indirecta la eficiencia de la máquina, pues a mayor calor superficial implicará una mayor disipación de la energía. Se corrobora con la disipación sin los aislantes que ronda en los 135 Watts por hora implicando pérdidas monetarias por máquina.

Aunque el cálculo exacto de la energía disipada no es un proceso automático, puede generalizarse debido a que el sistema es el mismo en cualquier inyectora manual, pudiesen variar las temperaturas de operación pero el mismo aislante servirá para cubrir tranquilamente el rango de operación de las inyectoras manuales. Teniendo un rango máximo de operación de los 350 °C para los casos mencionados.

La decisión del uso del corcho como aislante es una alternativa bastante económica debido a que soporta altas temperaturas y es un excelente aislante térmico. Consiguiendo que la temperatura superficial pase de los 215° C a los 30°C; volviéndolo un material con un tiempo de vida apropiado para la función que va a desempeñar. Además que su costo es bajo pues se estima un precio de instalación en los \$170 y los ahorros obtenidos cubren el costo total de la inversión en un plazo de 7 meses tan sólo con la energía que se ahorra, pues se viene trabajando con pérdidas durante años.

Existe una variación en la temperatura registrada con el multímetro y con la del termopar de la inyectora, siendo de 10°C la diferencia de las temperaturas, lo cual en otras circunstancias podrá afectar en una degradación del material, por lo cual es conveniente reemplazar el actual termopar por uno de mayor precisión.

Sin lugar a dudas el uso de aislantes en los sistemas térmicos permite el ahorro energético y económico para la empresa o negocio en cuestión, pero es de común conocimiento que no es la

única empresa de éste estilo que opera sin un conocimiento y proceso adecuado, muchas empresas no se preocupan por el ahorro energético siendo un factor importante.

Un análisis detallado de consumos y de tiempos de operación permiten generar un panorama adecuado para la optimización del sistema, con ello se han logrado los objetivos planteados en un inicio, conocer la efectividad del sistema de calentamiento y minimizar la energía disipada al ambiente a través de un modelo de distribución de temperaturas en los ejes involucrados, así como la descripción de cada uno.

Apéndice

Propiedades De Los Plásticos Más Comunes Usados En Moldeo Por Inyección

Material	Símbolo	Densidad	Calor específico promedio	Temperatura de procesamiento	Temperatura del molde	Contracción
		[g/cm ³]	[KJ/Kg°C]	°C	°C	%
Poliestireno	PS	1,05	1,3	180 - 280	oct-40	0,3 - 0,6
Poli(etileno de baja densidad)	LDPE	0,954	2 - 2,1	160 - 260	50 - 70	1,5 - 5
Poli(etileno de alta densidad)	HDPE	0,92	2,3 - 2,5	260 - 300	30 - 70	1,5 - 3
Polipropileno	PP	0,917	0,84 - 2,5	250 - 270	50 - 75	1 - 2,5
Poli(cloruro de vinilo) flexible	PVC soft	1,38	0,85	170 - 200	15 - 20	0,5
Poli(cloruro de vinilo) rígido	PVC rigid	1,38	0,83 - 0,92	180 - 210	30 - 50	0,5
Poli(fluoruro de vinilideno)	PVDF	1,2		250 - 270	90 - 100	50 - 80
Poli(tetrafluoretileno) (teflón)	PTFE	2,12 - 2,17	0,12	320 - 360	200 - 230	3,5 - 6
Poli(metacrilato de metilo)	PMMA	1,18	1,46	210 - 240	50 - 70	0,1 - 0,8
Poli(ariléter cetona)	PEEK	1,32		350 - 390	120 - 150	1,1
Poli(fenilensulfona)	PSU	1,24		330 - 380	110 - 180	0,7
Poliuretano	PUR	1,2	1,85	195 - 230	20 - 40	0,9

(Johannaber, Injection Molding Machine, 1994)

Propiedades De Materiales De Construcción

TABLA A-5

Propiedades de materiales de construcción (conclusión)
(a una temperatura media de 24°C)

Material	Espesor, <i>L</i> mm	Densidad, ρ kg/m ³	Conductividad térmica, <i>k</i> W/m · K	Calor específico, c_p kJ/kg · K	Valor <i>R</i> (para los espesores de la lista, <i>Lk</i>), K · m ² /W
Material para techos					
Tejas de asbesto-cemento		1 900	—	1.00	0.037
Asfalto en rollos		1 100	—	1.51	0.026
Tejas de asfalto		1 100	—	1.26	0.077
Techado incorporado	10 mm	1 100	—	1.46	0.058
Pizarra	13 mm	—	—	1.26	0.009
Tejas de madera (simples o con cara de plástico/película)		—	—	1.30	0.166
Materiales para revoque					
Revoque de cemento, agregado de arena	19 mm	1 860	0.72	0.84	0.026
Revoque de yeso:					
Agregado ligero	13 mm	720	—	—	0.055
Agregado de arena	13 mm	1 680	0.81	0.84	0.016
Agregado de perlita	—	720	0.22	1.34	—
Material para forro exterior (sobre superficies planas)					
Tejas de asbesto-cemento	—	1 900	—	—	0.037
Forro de tablero duro	11 mm	—	—	1.17	0.12
Forro de madera (rebajada)	25 mm	—	—	1.30	0.139
Forro de madera (contrachapada, traslapada)	10 mm	—	—	1.21	0.111
Forro de aluminio o acero (sobre encofrado):					
Con respaldo hueco	10 mm	—	—	1.22	0.11
Con respaldo de tablero aislante	10 mm	—	—	1.34	0.32
Vidrio arquitectónico	—	2 530	1.0	0.84	0.018
Maderas					
Maderas duras (arce, roble, etc.)	—	721	0.159	1.26	—
Maderas suaves (abeto, pino, etc.)	—	513	0.115	1.38	—
Metales					
Aluminio (1 100)	—	2 739	222	0.896	—
Acero dulce	—	7 833	45.3	0.502	—
Acero inoxidable	—	7 913	15.6	0.456	—

Fuente: Las tablas A-5 y A-6 se adaptaron tomándolas del *Handbook of Fundamentals* de la ASHRAE (Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, 1993), Cap. 22, tabla 4. Usadas con autorización.

Propiedades de Materiales de construcción (continuación).

TABLA A-6

Propiedades de materiales aislantes
(a una temperatura media de 24°C)

Material	Espesor, <i>L</i> mm	Densidad, ρ kg/m ³	Conductividad térmica, <i>k</i> W/m · K	Calor específico, <i>c_p</i> kJ/kg · K	Valor <i>R</i> (para los espesores de la lista, <i>L/k</i>), K · m ² /W
Colcha y lámina					
Fibra mineral (forma fibrosa)	50 a 70 mm	4.8-32	—	0.71-0.96	1.23
procesada a partir de roca,	75 a 90 mm	4.8-32	—	0.71-0.96	1.94
escoria o vidrio)	135 a 165 mm	4.8-32	—	0.71-0.96	3.32
Tablero y losa					
Vidrio celular		136	0.055	1.0	—
Fibra de vidrio (ligamento orgánico)		64-144	0.036	0.96	—
Poliestireno expandido (bolitas moldeadas)		16	0.040	1.2	—
Poliuretano expandido (R-11 expandido)		24	0.023	1.6	—
Perlita expandida (ligamento orgánico)		16	0.052	1.26	—
Caucho expandido (rígido)		72	0.032	1.68	—
Fibra mineral con aglomerante de resina		240	0.042	0.71	—
Corcho		120	0.039	1.80	—
Rociado o formado en el sitio					
Espuma de poliuretano		24-40	0.023-0.026	—	—
Fibra de vidrio		56-72	0.038-0.039	—	—
Uretano, mezcla de dos partes (espuma rígida)		70	0.026	1.045	—
Gránulos de lana mineral con aglomerantes de asbesto/inorgánico (rociado)		190	0.046	—	—
Relleno flojo					
Fibra mineral (de roca, escoria o vidrio)	~ 75 a 125 mm	9.6-32	—	0.71	1.94
	~165 a 222 mm	9.6-32	—	0.71	3.35
	~191 a 254 mm	—	—	0.71	3.87
	~185 mm	—	—	0.71	5.28
Aerogel de sílice		122	0.025	—	—
Vermiculita (expandida)		122	0.068	—	—
Perlita (expandida)		32-66	0.039-0.045	1.09	—
Asemin o virutas		128-240	0.065	1.38	—
Aislamiento celulósico (papel molido o pulpa de madera)		37-51	0.039-0.046	—	—
Aislamiento para techo					
Vidrio celular	—	144	0.058	1.0	—
Preformado, para usarse arriba del tablero	13 mm	—	—	1.0	0.24
	25 mm	—	—	2.1	0.49
	50 mm	—	—	3.9	0.93
Aislamiento reflector					
Polvo sílice (al vacío)		160	0.0017	—	—
Hoja de aluminio separando colchones de vidrio esponjoso; 10 a 12 capas (al vacío); para aplicaciones criogénicas (150 K)		40	0.00016	—	—
Hoja de aluminio y laminado de vidrio y papel; 75 a 150 capas; para aplicaciones criogénicas (150 K)		120	0.000017	—	—

Tablas III.1 y III.2 Datos obtenidos para el eje Z y el eje R

Tabla III.1 Distribución de temperatura a lo largo del espesor del cilindro

Radio [m]	Temperatura [°C]	Radio [m]	Temperatura [°C]	Radio [m]	Temperatura [°C]	Radio [m]	Temperatura [°C]
0.01065	201	0.01265	205.674772	0.01455	209.4758686	0.01655	212.9743994
0.01075	201.253867	0.01275	205.888659	0.01465	209.661921	0.01665	213.1380357
0.01085	201.505383	0.01285	206.100876	0.01475	209.8467076	0.01675	213.3006921
0.01095	201.754591	0.01295	206.311447	0.01485	210.0302458	0.01685	213.4623803
0.01105	202.001534	0.01305	206.520398	0.01495	210.2125521	0.01695	213.6231117
0.01115	202.246252	0.01315	206.727754	0.01505	210.393643	0.01705	213.7828977
0.01125	202.488786	0.01325	206.93354	0.01515	210.5735346	0.01715	213.9417492
0.01135	202.729172	0.01335	207.137778	0.01525	210.7522428	0.01725	214.0996772
0.01145	202.967451	0.01345	207.340492	0.01535	210.9297829	0.01735	214.2566923
0.01155	203.203657	0.01355	207.541704	0.01545	211.1061701	0.01745	214.4128051
0.01165	203.437827	0.01365	207.741437	0.01555	211.2814193	0.01755	214.5680257
0.01175	203.669995	0.01375	207.939712	0.01565	211.4555452	0.01765	214.7223644
0.01185	203.900196	0.01385	208.13655	0.01575	211.6285619	0.01775	214.8758311
0.01195	204.128462	0.01395	208.331972	0.01585	211.8004836	0.01785	215.0284357
0.01205	204.354826	0.01405	208.525998	0.01595	211.971324	0.01795	215.1801877
0.01215	204.57932	0.01415	208.718648	0.01605	212.1410967	0.01805	215.3310966
0.01225	204.801973	0.01425	208.909941	0.01615	212.3098149	0.01815	215.4811718
0.01235	205.022816	0.01435	209.099897	0.01625	212.4774916	0.01825	215.6304224
0.01245	205.241878	0.01435	209.099897	0.01635	212.6441395	0.01835	215.7788574
0.01255	205.459187	0.01445	209.288533	0.01645	212.8097714		

Tabla III.2 Distribución de temperatura en el eje Z

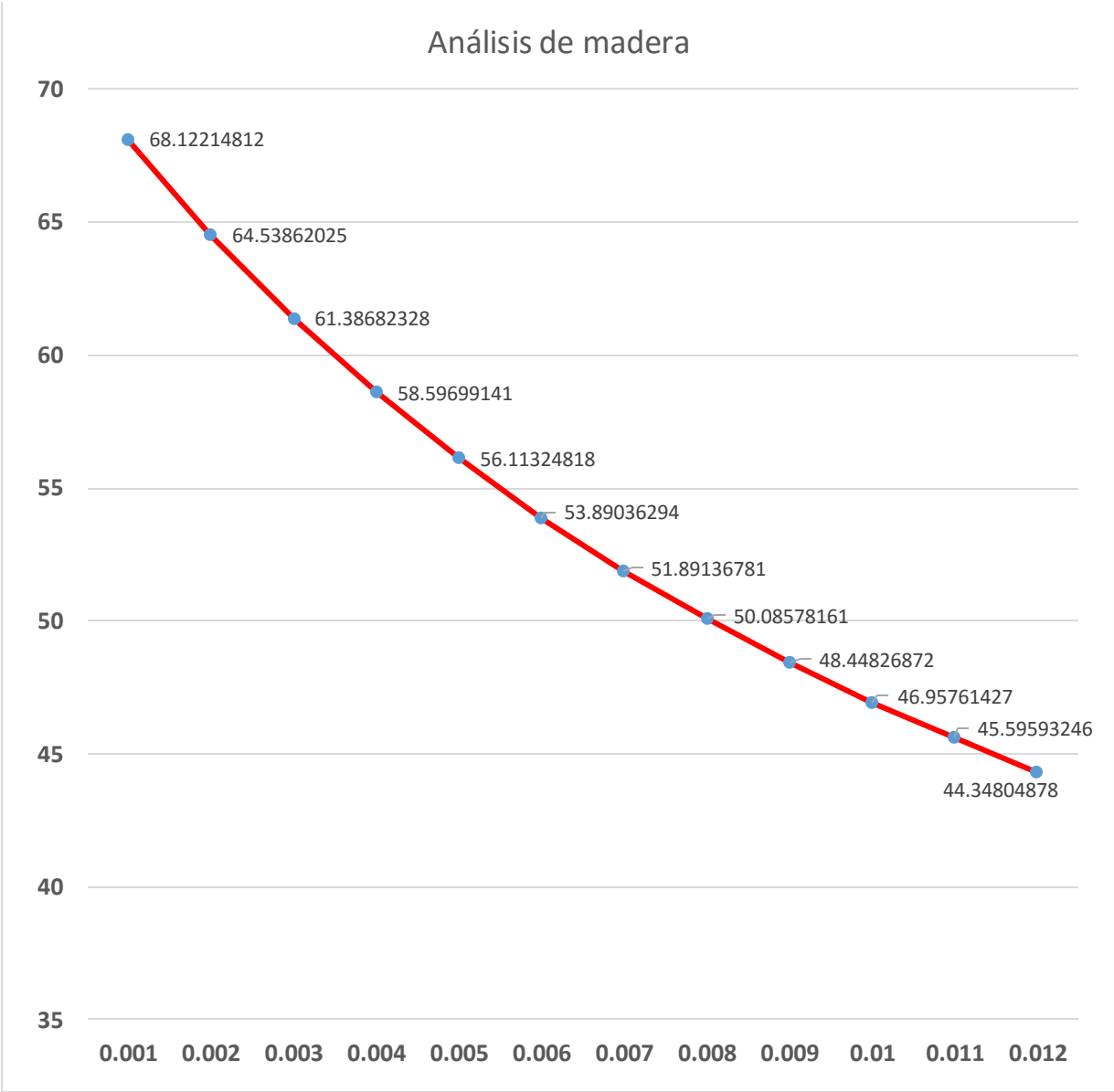
Longitud [m]	Temperatura [°C]	Longitud [m]	Temperatura [°C]	Longitud [m]	Temperatura [°C]
0.001	215.50667	0.053	189.85351	0.103	165.18701
0.003	214.52001	0.055	188.86685	0.105	164.20035
0.005	213.53335	0.057	187.88019	0.107	163.21369
0.007	212.54669	0.059	186.89353	0.109	162.22703
0.009	211.56003	0.061	185.90687	0.111	161.24037
0.011	210.57337	0.063	184.92021	0.113	160.25371
0.013	209.58671	0.065	183.93355	0.115	159.26705
0.015	208.60005	0.067	182.94689	0.117	158.28039
0.017	207.61339	0.069	181.96023	0.119	157.29373
0.019	206.62673	0.071	180.97357	0.121	156.30707
0.021	205.64007	0.073	179.98691	0.123	155.32041
0.023	204.65341	0.075	179.00025	0.125	154.33375
0.025	203.66675	0.077	178.01359	0.127	153.34709
0.027	202.68009	0.079	177.02693	0.129	152.36043
0.029	201.69343	0.081	176.04027	0.131	151.37377
0.031	200.70677	0.083	175.05361	0.133	150.38711
0.033	199.72011	0.085	174.06695	0.135	149.40045
0.035	198.73345	0.087	173.08029	0.137	148.41379
0.037	197.74679	0.089	172.09363	0.139	147.42713
0.039	196.76013	0.091	171.10697	0.141	146.44047
0.041	195.77347	0.093	170.12031	0.143	145.45381
0.043	194.78681	0.095	169.13365	0.145	144.46715
0.045	193.80015	0.097	168.14699	0.147	143.48049
0.047	192.81349	0.099	167.16033	0.149	142.49383
0.049	191.82683	0.101	166.17367	0.151	141.50717
0.051	190.84017				

Tablas de datos y resultados en Excel

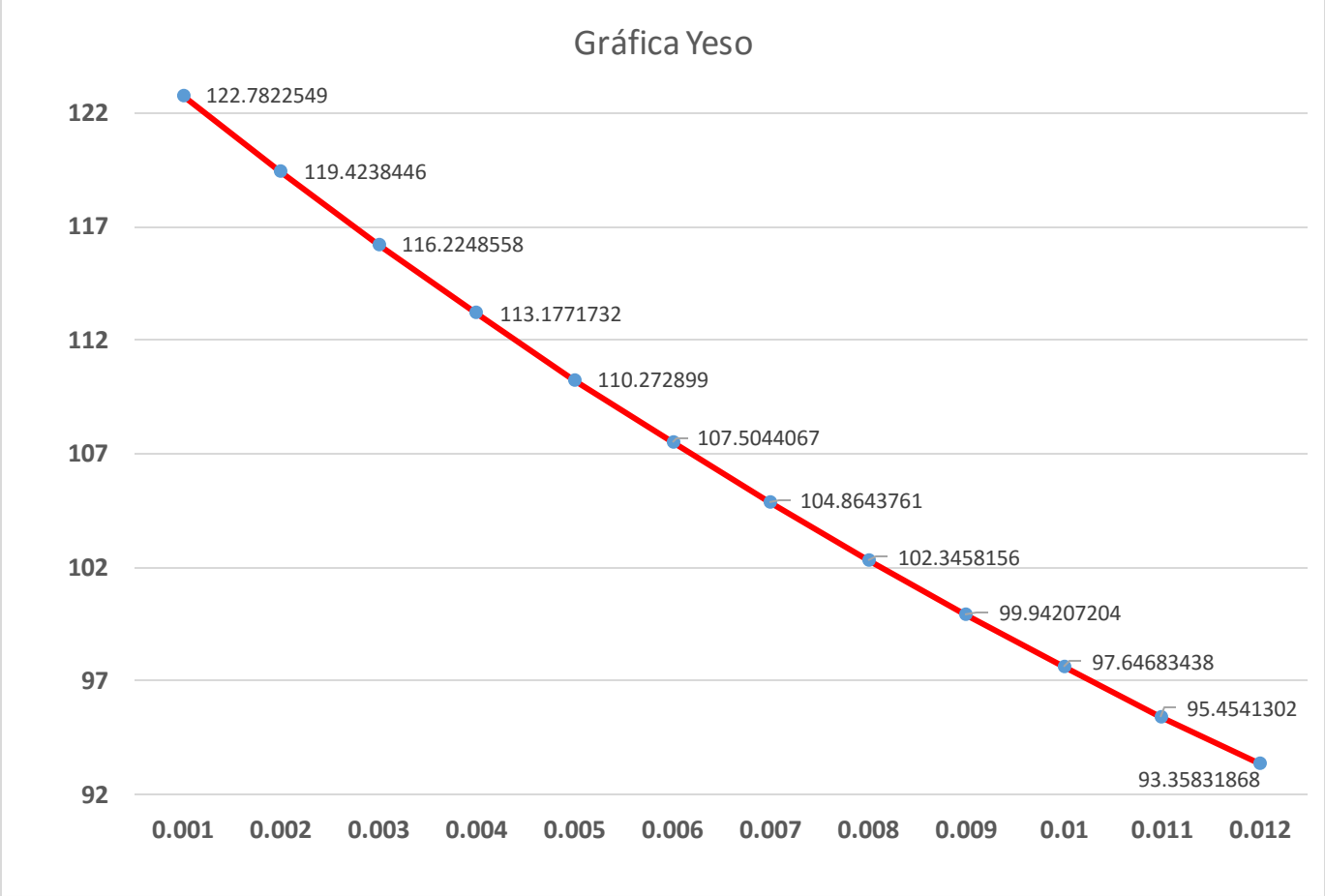
Análisis con asbesto

Espesor Asbesto	Resistencia Asbesto	Resistencia de convección	Temperatura de interfase	Temperatura ambiente	Area del cilindro	Coficiente convectivo	Temperatura de superficie	Espesor
0.019	0.74872094	2.326821212	210	20	0.01790712	24	163.7457229	0.001
0.02	0.74872094	2.210480152	210	20	0.0188496	24	161.9272349	0.002
0.021	0.74872094	2.105219192	210	20	0.01979208	24	160.1541825	0.003
0.022	0.74872094	2.009527411	210	20	0.02073456	24	158.4248839	0.004
0.023	0.74872094	1.922156654	210	20	0.02167704	24	156.7377392	0.005
0.024	0.74872094	1.842066793	210	20	0.02261952	24	155.0912257	0.006
0.025	0.74872094	1.768384121	210	20	0.023562	24	153.483893	0.007
0.026	0.74872094	1.700369347	210	20	0.02450448	24	151.9143591	0.008
0.027	0.74872094	1.637392705	210	20	0.02544696	24	150.3813061	0.009
0.028	0.74872094	1.578914394	210	20	0.02638944	24	148.8834768	0.01

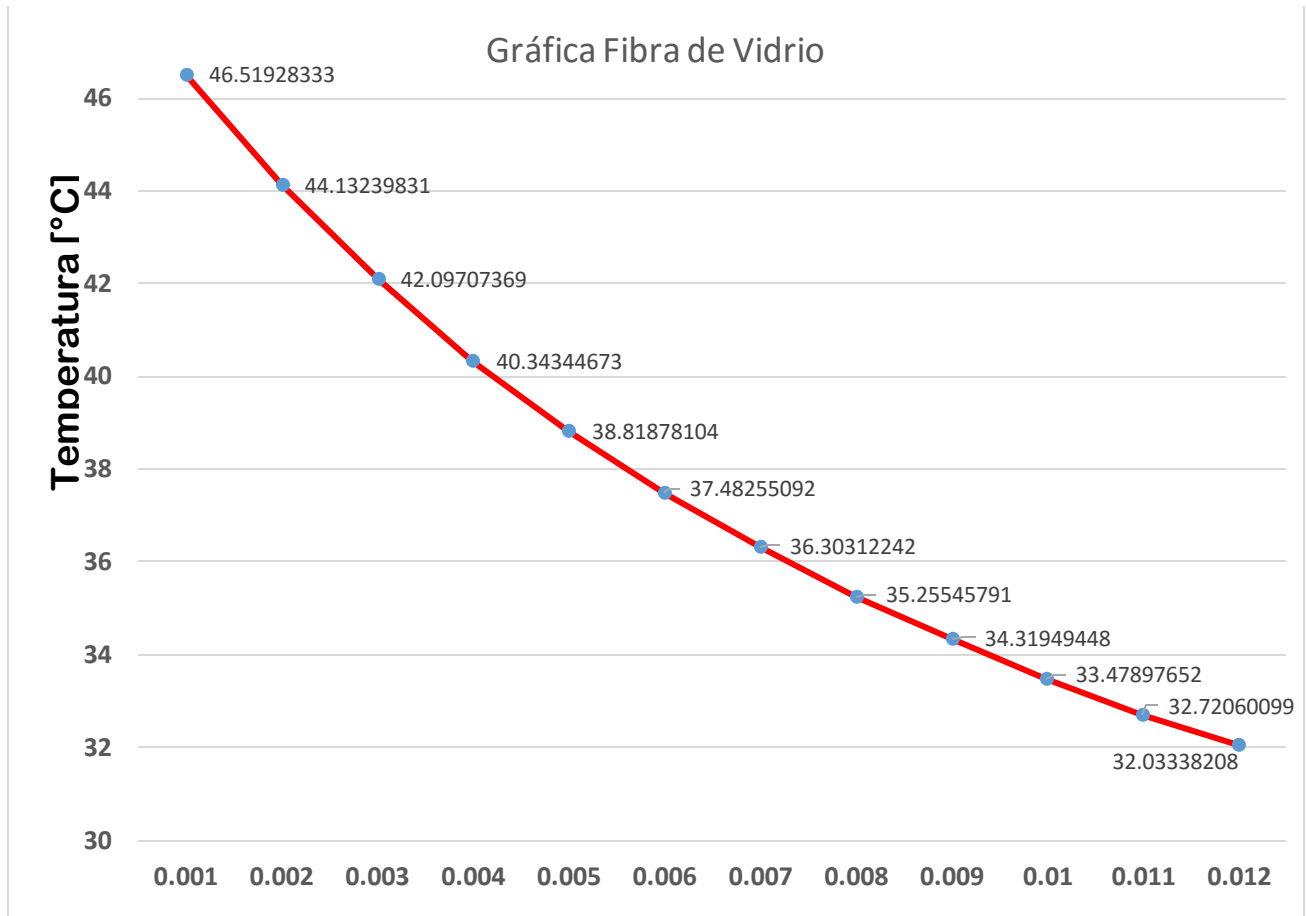
Gráfica de madera



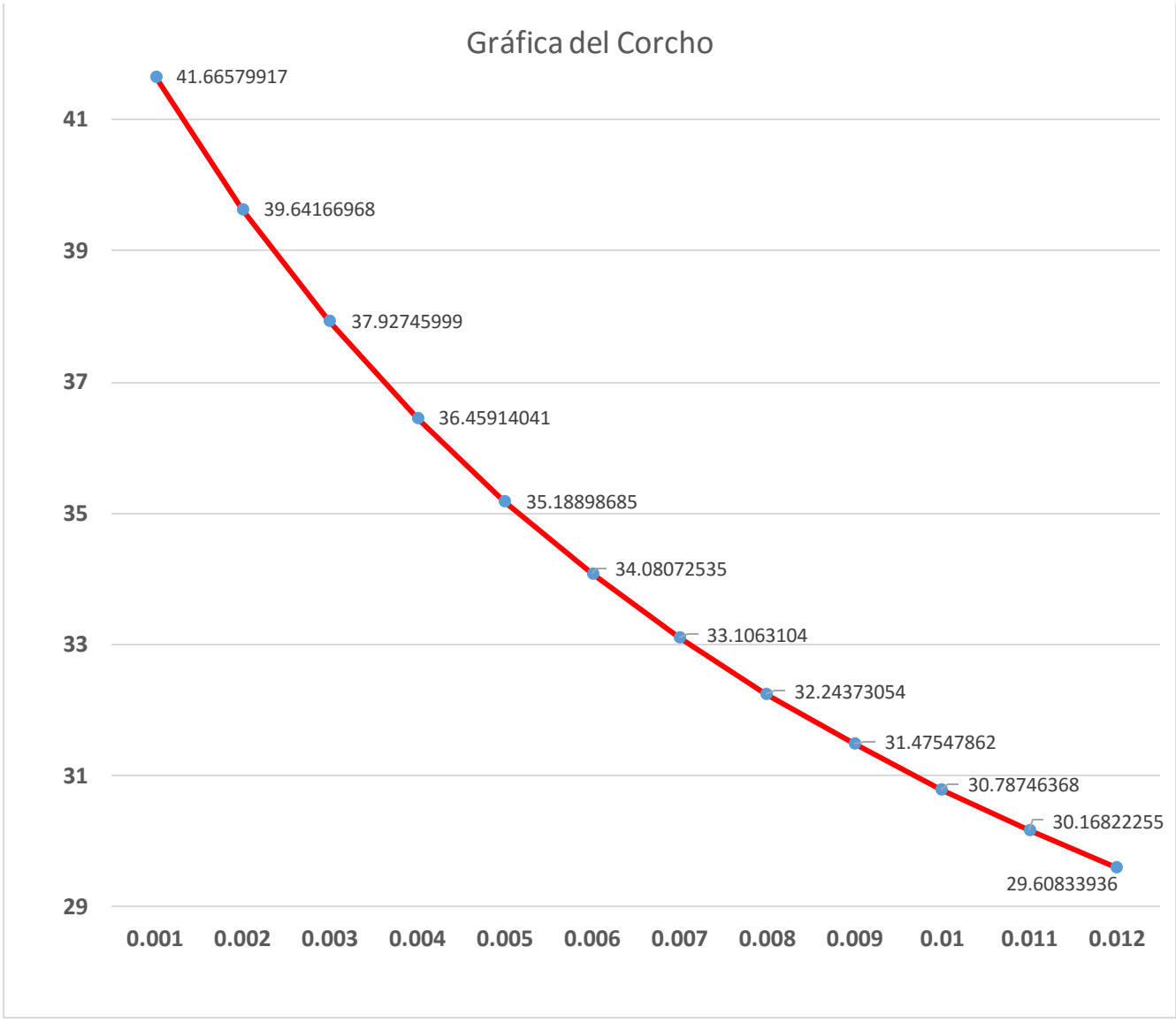
Gráfica del Yeso



Gráfica de Fibra de Vidrio



Gráfica del corcho



Bibliografía

- Alberto, U. J., & Oscar, G. F. (Junio de 2003). *Automatización Parcial De Una Mini -Máquina Inyectora De Plástico*. México, Distrito Federal, México.
- Bejan, A., Kraus, Allan D., 2003, *Heat Transfer Handbook*, Jhon Wiley & Sons Inc.
- Bendada, A., Derdouri, A., Lamontagne, M., y Simard, Y., 2004, Analysis of thermal contact resistance between polymer and mold in injection molding, *Applied Thermal Engineering* (24), pp. 2029-2040.
- Bendada, A., & Derdouri, A. (22 de 03 de 2015). *sciencedirect*. Obtenido de www.sciencedirect.com
- Cengel, Y. A. (2007). *Transferencia de calor y masa*. Nevada: Mc Graw Hill.
- Chasnov, Jeffrey R., *Introduction to Differential Equations* (2013)., The Hong Kong University of Science and Technology.
- Corkshopbcn*. (23 de 09 de 2015). Obtenido de <https://www.corkshopbcn.com/es/rollos-de-corcho/43-minirrollos-de-corcho-autoadhesivos.html>
- Eduardo, R. P. (2013). Conducción de Calor en una Aleta Bidimensional. *Revista de la Universidad del Valle de Guatemala*, pp. 19-28.
- Incropera P, F., & Dewitt, D. (1999). *Fundamentos de Transferencia de Calor*. Mexico: Prentice Hall.
- Incropera, Dewitt, Bergan, & Lavine. (2007). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. Wiley.
- Johannaber, F. (1994). *Injection Molding Machine*. En F. Johannaber. Editorial Hanser.
- Kamal, M. R., Isayev, A. I., & Liu, S.-J., 2009, *Injection Molding*. Munich: Hanser.
- Kern, D. Q. (1999). *Procesos de Transferencia de Calor*. Mexico: Mc. Graw Hill.
- Luviano, A., y Oscar, G. (2003). *Automatizacion parcial de una mini inyectora de Plástico*. Mexico: IPN.
- MatWeb*. (27 de Julio de 2015). Obtenido de <http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=10b74ebc27344380ab16b1b69f1cffb&ckck=1>
- Macmaster*. (9 de Septiembre de 2015). <http://www.mcmaster.com/>
- Mercado Libre*. (25 de Septiembre de 2015). Obtenido de [http://listado.mercadolibre.com.mx/aislante-termico#D\[A:aislante-termico,L:2](http://listado.mercadolibre.com.mx/aislante-termico#D[A:aislante-termico,L:2)
- Pereira, K. A. (02 de Septiembre de 2015). *La Ingeniería Química desde otra Óptica*. Obtenido de <http://mezclaazeotropica.blogspot.mx/2012/10/plastico-y-polimero-exactamente-lo-mismo.html>
- Quiminet*. (09 de 02 de 2015). Obtenido de <http://www.quiminet.com/>
- S.A, D. T. (16 de 08 de 2015). *Dismatec*. Obtenido de <http://www.dismatec.com/pregfreg.html>

Savgorodny, V. (1989). *Transformación de Plásticos*. Barcelona: Gustavo Gili.

Slim, F. C. (18 de Septiembre de 2015). *Academia MX*. Obtenido de http://www.academica.mx/sites/default/files/adjuntos/35272/e.2_capitulo_del_estudio_tecnico.pdf

Testo. (13 de Septiembre de 20015). *Academia OnLine*. Obtenido de <http://www.academiatesto.com.ar/cms/tablas-de-emisividad>

Zill, D. G. (1997). *Ecuaciones Diferenciales Con Aplicaciones De Modelado*. Mexico y América Central: International Thomson Editores.