



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

POSGRADO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA

**DISEÑO DE UNA PRENSA HIDRÁULICA TÉRMICA PARA ELABORAR
PLACAS DE POLIALUMINIO RECICLADO**

**Que como requisito parcial
para obtener el grado de:**

DR. EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA

Presenta:

JUAN GABRIEL OCHOA BIJARRO

Bajo la supervisión de: DR. NOÉ VELÁZQUEZ LÓPEZ



Chapingo, Estado de México, Diciembre 2020 .

**DISEÑO DE UNA PRENSA HIDRÁULICA TÉRMICA PARA ELABORAR
PLACAS DE POLIALUMINIO RECICLADO**

**Tesis realizada por Juan Gabriel Ochoa Bijarro bajo la supervisión del
comité asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito
parcial para obtener el grado de:**

DR. EN INGENIERIA AGRICOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA

Director: 
Dr. Noé Velázquez López

Asesor: 
Dr. Agustín Ruiz García

Asesor: 
Dr. Carlos A. Villaseñor Perea

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Importancia del problema	1
1.2	Antecedentes y Justificación	1
1.3	Problema	3
1.4	Objetivos	3
1.5	Alcance del proyecto	3
2	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1	Sistema térmico.....	6
2.1.1	Intercambio de calor.....	7
	Conducción	7
	Convección	8
	Radiación	10
2.1.2	Expresión Diferencial para la conducción térmica.....	10
2.1.3	Placa térmica - intercambiador de calor	13
2.2	Calculos del sistema hidráulico	16
2.3	Modelación del sistema térmico	19
2.4	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	24
3	DISEÑO DE UNA PLANTA DE RECICLAJE DE TETRA PACK A PEQUEÑA ESCALA	28
3.1	RESUMEN	28
3.2	INTRODUCCIÓN	30

3.2.1	Planta industrial.....	31
3.3	MATERIALES Y METODOS	31
3.4	RESULTADOS	31
	Obtención de celulosa.....	33
	Fabricación de láminas de polialuminio.	34
	Distribución de la planta.....	35
	Evaluación económica	36
	Inversión inicial. Comprende la inversión de los equipos, trabajos previos y gastos de operación iniciales.	36
	Depreciación. Se debe al desgaste de los equipos de la inversión inicial, tanto los de la línea de producción, así como los muebles de la oficina.	36
3.5	CONCLUSIONES.....	38
3.6	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	39
4	ANÁLISIS TÉRMICO DE TRES SISTEMAS DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN PLACAS, MEDIANTE ANSYS - CFD	41
4.1	RESUMEN	41
4.2	INTRODUCCIÓN	43
4.3	MATERIALES Y METODOS	44
	Alternativa 1: Usando resistencia en la placa	44
	Alternativa 2: Usando fluido caliente sin serpentín de cobre.....	45
	Alternativa 3: Usando fluido caliente con serpentín de cobre.	46
4.4	RESULTADOS	48
	Alternativa 1	48

Alternativa 2	49
Alternativa 3	50
4.5 CONCLUSIONES.....	52
4.6 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	53
5 DISEÑO DE UNA PRENSA CALIENTE PARA PROCESAR LÁMINAS DE POLIALUMINIO	55
5.1 RESUMEN	55
5.2 INTRODUCCIÓN	57
5.3 MATERIALES Y MÉTODOS	58
Polialuminio.....	58
5.4 RESULTADOS Y DISCUSIONES	59
Prensa hidráulica.....	59
Plancha caliente (sistema eléctrico).....	60
Sistema electrónico para el control de temperatura de la prensa.....	60
Pruebas de la prensa térmica.....	61
5.5 CONCLUSIONES.....	61
5.6 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Comportamiento de la carga, en una prensa caliente.....	6
Figura 2.2. Signos para la transferencia de energía calorífica por transporte.....	8
Figura 2.3. Repartición del nivel térmico y velocidad del gas o líquido sobre la plancha	9
Figura 2.4. Esquema completo del intercambiador calorífico.....	14
Figura 2.5. Cilindro hidráulico	16
Figura 2.6. Diagrama de temperaturas, conducción con dos placas.	21
Figura 2.7. Diagrama de temperaturas, diferencial.	22
Figura 3.1. a) Flujo de la materia prima (Tetra Pak) b) Proceso de reciclado ...	30
Figura 3.2. Elaboración de celulosa y polialuminio	32
Figura 4.1. Placa con perforaciones de cobre.	45
Figura 4.2. Placa manufacturada con costillas para circulación del flujo.	45
Figura 4.3. Ensamble de la placa con el serpentín.	46
Figura 4.4. Diagrama de temperaturas, conducción con dos placas.	47
Figura 4.5. Aplicación de temperatura sobre la placa	48
Figura 4.6. Comportamiento de la temperatura	49
Figura 4.7. Comportamiento de la temperatura	49
Figura 4.8. Gráfico de la temperatura en la lámina	50
Figura 4.9. Gráfico de la velocidad del flujo en la lámina.....	50
Figura 4.10. Mallado del ensamble.	51
Figura 4.11. Comportamiento de la temperatura en la placa	51
Figura 5.1. Diseño de la prensa hidráulica.....	59
Figura 5.2. A) Unidad de potencia, B) Válvula de control de presión, C) Válvula de control, D) Manómetro de 4000 psi.....	59
Figura 5.3. A) Plancha térmica, B) Controlador de temperatura, C) Resistencias y termopares	60
Figura 5.4. Circuito electrónico para el control de temperatura.....	61

DEDICATORIA

Este logro alcanzado quiero dedicárselo a la memoria de mis padres Severo Ochoa de la Torre y Bárbara Bijarro Noriega, que siempre me educaron con el ejemplo, me enseñaron que el trabajo siempre va acompañado del sacrificio y el éxito se debe tomar con humildad.

A mis hijos Roberto, Sarahi, Gabriel, Angel y mi nieta adorada Melissa, que hoy y siempre serán mis motivos y la base para luchar cada día y buscar la superación en todo momento.

A mis hermanos, familia Ochoa Bijarro, que siempre están al pendiente de mi persona y nunca me han soltado, siempre han estado ahí apoyando e inyectando ánimos.

AGRADECIMIENTOS

Le doy gracias a Dios por permitirme terminar una etapa de mi vida, por que me ha bendecido con un Título muy importante para mi, igual le agradezco porque me puso personas, profesionistas y amigos, que me ayudaron en todo el proceso de mis estudios.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo económico brindado durante mis estudios de Doctorado.

A la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) y al Posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua (IAUIA), por haberme dado la oportunidad de realizar mis estudios de doctorado.

A los doctores. Noe Velázquez López, Agustín Ruiz García y Carlos A. Villaseñor Perea, por el apoyo, por guiarme en esta investigación, por creer en mi, por esa paciencia y comprensión durante las diferentes etapas de mis estudios de posgrado.

DATOS BIOGRAFICOS

DATOS PERSONALES

NOMBRE: Juan Gabriel Ochoa Bijarro

LUGAR DE NACIMIENTO: Ejido Banco Nacional
Mpio. Tlahualilo, Durango

FECHA DE NACIMIENTO: 06 de Diciembre de 1974

CURP: OOBJ741206HDGCJN08

CEDULA PROFESIONAL: 10961367



DESARROLLO ACADÉMICA

ESCOLARIDAD	CENTRO DOCENTE	PERIODO
EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR	Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo México.	1991 – 1993
INGENIERO MECANICO AGRICOLA	Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola	1993 - 1998
MAESTRO EN INGENIERÍA MECÁNICA	Universidad de Guanajuato, Facultad de Ingeniería Mecánica, Eléctrica y Electrónica	2003 - 2005

RESUMEN GENERAL

Diseño de una prensa hidráulica térmica para elaborar placas de polialuminio reciclado

El crecimiento urbano ha causado un incremento en la generación de basura, y con ello la necesidad de mejorar el manejo de la misma, en donde se ha encontrado el beneficio del reciclado del tetra pack, entre otros (Aguilar, 2010). El tetra pack está constituido por cartón, polietileno y aluminio, en 75%, 20% y 5% respectivamente (Inche, 2004).

Este trabajo de investigación muestra el diseño de una prensa hidráulica térmica para elaborar placas de polialuminio a partir de material reciclado, donde se efectúa un proceso de transferencia de calor homogéneo, utilizando placa de aluminio, resistencia eléctrica conectadas a la corriente directa y controlada mediante Arduino. El sistema hidráulico tiene un motor eléctrico de 2.5 hp, bomba hidráulica de 30.7 L/m, un cilindro doble efecto de 44,45 mm de diámetro y un depósito de 40 litros.

Se obtiene una prensa hidráulica con una capacidad de 12 toneladas y un sistema térmico que alcanza los 200 °C, es importante mencionar que los mejores resultados están en los 160 °C y una carga de 8,500 kg, por lo tanto la prensa puede trabajar eficientemente, sin tener deformaciones estructurales.

Palabras claves: Diseño, Transferencia de calor, placa térmica, prensa caliente, tecnología de reciclado

GENERAL ABSTRACT

Design of a thermal hydraulic press to produce recycled polyaluminum plates

Urban growth has caused an increase in the generation of garbage, and with it the need to improve its management, where the benefit of recycling the tetra pack has been found among others (Aguilar, 2010). Tetra pack is made up of cardboard, polyethylene and aluminum, in 75%, 20% and 5% respectively (Inche, 2004).

This research work shows the design of a thermal hydraulic press to produce polyaluminium plates from recycled material, where a homogeneous heat transfer process is carried out using an aluminum plate, electrical resistance connected to direct current and controlled by Arduino. The hydraulic system has a 2.5 hp electric motor, a 30.7 L/m hydraulic pump, a 44.45 mm diameter double-acting cylinder and a 40-liter tank.

A hydraulic press is obtained with a capacity of 12 tons and a thermal system that reaches 200 °C, it is important to mention that the best results are at 160 °C and a load of 8,500 kg, therefore the press can work efficiently, without having structural deformations.

Keywords: Design, heat transfer, hot plate, hot press, recycling technology.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Importancia del problema

El crecimiento urbano ha causado un incremento en la generación de basura, y con ello la necesidad de mejorar el manejo de la misma, en donde se ha encontrado el beneficio del reciclado del papel, cartón, productos como el tetra pack, productos de plástico y metales, entre otros (Aguilar, 2010). En el año 2009, Salviani menciona como el concepto basura y desperdicio representan una función sin valor, sin embargo en México estos conceptos adquieren valor dentro de la economía local, con sus diferentes ganancias de acuerdo al tipo de desecho.

El presente trabajo de investigación muestra el comportamiento del funcionamiento de una prensa hidráulica caliente que se usa para la elaboración del cartón a partir de material reciclado, para lo cual se planteó el objetivo de desarrollar un modelo matemático del sistema térmico y estructural de la prensa.

Para el desarrollo del proyecto se recurrió a la ingeniería aplicada y a la ingeniería básica, y de software de diseños tales como ANSYS y CFD, desarrollando primeramente los modelos matemáticos en cada proceso, tanto el sistema térmico como el en sistema estructural, considerando los parámetros de entrada establecidos al inicio.

El proyecto toma importancia al considerar que la maquina a estudiar es para el uso de reciclaje, es decir basura y con ello combatir la contaminación, menor consumo de energía y agua para la producción de cartón, el reciclado constituye una parte importante en la elaboración de nuevos productos, ya que es una forma de bajar costos en su elaboración.

1.2 Antecedentes y Justificación

En el 2012 México ocupó el décimo lugar a nivel mundial en la generación de desechos. Según información registrada, en México se producen al año

alrededor de 30 millones de toneladas de desechos de los cuales el 25% se queda en las calles (SEMARNAT, 2012).

En este proyecto se trata el reciclaje enfocado a la producción de papel y cartón reciclado, para lo cual se utiliza la celulosa como materia prima. En nuestro país, la industria del papel proporciona hasta 3400 millones de dólares, lo cual corresponde al 2% del sector manufacturero y el 0,4% del producto interno bruto (PIB) de nuestro país (INEGI, 2015).

Cabe mencionar que para la producción del papel, se utiliza el 67% de material reciclado, entre mas material reciclado se usa, la tala de arboles disminuye, al igual que el consumo de agua, luz y otras sustancias necesarias para la elaboración del papel.

Una tonelada de papel reciclado permite no talar 17 árboles, así mismo se tiene un ahorro de 20 mil litros de agua y 4000 kWh (Quintas y López, 2010).

Es importante pues elevar el nivel de reciclado en el sector papelerero, y una fuente importante para la producción es el reciclado de los envases de tetra pack, los cuales pueden ser sometidos a un proceso para la recuperación total de sus componentes. Las cajas de Tetra Pak, están compuestas por cartón, polietileno y aluminio, en un 75%, 20% y 5% respectivamente (Inche, 2004)

Para producir celulosa a partir del tetra pack, se sigue el siguiente proceso: lavado y secado, triturado, lavado centrifugado (desprendimiento de la celulosa del polialuminio), secado y formado del papel o cartón.

En el último proceso varía el tipo de equipo que se utiliza, puede ser mediante rodillos que exprimen la celulosa y van formando capas hasta lograr el grosor del papel o cartón requerido, sin embargo, también se utiliza la prensa caliente, para la elaboración del cartón, el cual le da mayor dureza debido al tratamiento térmico que le da la prensa, esto le da mayor calidad y tiene mayor demanda en el mercado, por lo tanto, el uso de una prensa caliente es muy demandante.

1.3 Problema

El uso de la prensa caliente en el proceso de producción del cartón reciclado es de gran importancia ya que eleva la calidad del producto. Sin embargo, también es una máquina que eleva los costos de producción debido a su mantenimiento y producción de calor, y considerando que la tecnología que se utiliza en los procesos del reciclado es la mayoría de importación, se complica su mantenimiento debido a la falta de refacciones.

Por lo tanto, el problema que se atiende en este proyecto está enfocado a la prensa caliente, que es el elevado costo de la generación de calor, ya sea por resistencias o fluidos calientes, además de las pérdidas de calor por fugas, convección o conducción. Dicho problema se atiende mediante el estudio detallado del sistema térmico y estructural de la prensa, analizando cada componente de estos sistemas mediante un modelo matemático, que nos ayuda a predecir el comportamiento de su funcionamiento.

1.4 Objetivos

Objetivo General

Diseñar una prensa hidráulica con sistema térmico para elaborar placas de polialuminio reciclado.

Objetivos Específicos

- ▶ Diseñar el sistema térmico de una prensa caliente.
- ▶ Diseñar el sistema estructural de una prensa caliente usando material comercial.
- ▶ Generar un modelo matemático del sistema térmico y estructural de la prensa caliente, mediante pruebas en planta.

1.5 Alcance del proyecto

Se pretende hacer una aportación tecnológica-científica a la industria del reciclado del tetra pack, mediante un diseño de una prensa caliente, eficientando

su funcionamiento, y de proponer un esquema de diseño de nuevas prensas calientes dependiendo de su capacidad demandada.

El cumplimiento de de los objetivos que se han mencionado, se tiene como propósito la aportación científica hacia el sector productivo.

En el capítulo II, se hace una revisión bibliográfica que reporta un panorama general de los modelos utilizados previamente por otros autores, lo cual ayudará a comprender el comportamiento del mismo, también ayudará a dar el enfoque preciso que tiene este proyecto.

En el capítulo III, se define claramente el problema que se atiende en el presente trabajo, mediante la evaluación productiva de una empresa recicladora de tetra pack de baja producción. Se explica el proceso y la tecnología para generar el polialuminio y la celulosa para la industria del papel.

En el capítulo IV, Modelación del sistema térmico de una prensa caliente, usando CFD. Se hace un análisis de varias opciones de planchas térmicas, considerando la fuente de calor tanto resistencias como fluido caliente, esto se hace mediante configuraciones físicas de la plancha, y usando el software CFD.

En el capítulo V, Diseño del sistema térmico de una prensa caliente; se reportan los cálculos principales para el diseño de la prensa caliente, tomando en cuenta las condiciones de trabajo reportadas por el usuario en planta, se hace un estudio a detalle de las composiciones físicas-químicas de cada componente de la máquina, ya que intervienen esfuerzos físicos y transferencia de calor.

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El consumo nacional de los artículos que se elaboran a partir del papel supera los 6.7 millones de toneladas, de los cuales el 55% lo ocupa el papel de empaque, el 25% para el papel de escritura e impresión, 13% para el papel higiénico y el 7% restante lo ocupa los papeles especiales como el papel para cartulina, papel china y otros que usa la industria editorial (Inche, 2004).

En México, para la elaborar 4 millones de toneladas de papel, dicha industria requiere mas de 5 millones de toneladasde celulosa, donde el 67% es material reciclado, entre mas material reciclado se usa, la tala de arboles disminuye, al igual que el consumo de gua, luz y otras sustancias necesarias para la elaboración del papel (Quintas y López, 2010).

Una tonelada de papel reciclado permite no talar 17 árboles, así mismo se tiene un ahorro de 20 mil litros de agua y 4000 kWh (Quintas y López, 2010). Considerando las dos terceras partes del material reciclado, se puede llegar ahorrar hasta 45.3 millones de árboles, 53 333 millones de litros de agua.

Por la importancia que adquiere el papel reciclado, se debe cuidar la calidad del producto final, pues la calidad del papel reciclado es muy variada, y su variación depende de su proceso o de las maquinas que se utilizan, tal es el caso de la prensa. Una prensa es una máquina muy utilizada en las empresas industriales debido a su amplia gama de aplicaciones, ya que dependiendo del tipo del material el nivel de compactación que se emplearía de la prensa.

Adaptando la prensa hidráulica con un sistema térmico, tenemos la prensa caliente que le da mayor firmeza al papel o cartón debido al calentamiento y a la presión a la que es sometida la celulosa. El calentamiento y la presión son determinados con base a las características que debe tener el producto terminado, que van desde las 100 a 200 toneladas y de 100 a 200 °C (Inche, 2004).

Por lo general estos rangos de carga y de calor, se miden empíricamente durante el funcionamiento hasta encontrar el punto óptimo. Al aplicar calor y fuerza a la materia prima, se va teniendo un comportamiento lineal, ya que entre más temperatura se requiere menos carga para la compresión necesaria en la elaboración del cartón, conservando las propiedades deseadas, figura 2.1.

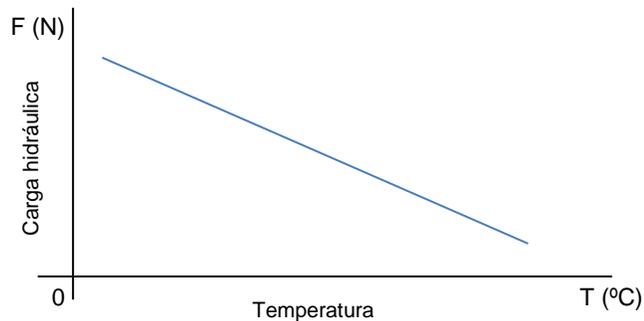


Figura 2.1. Comportamiento de la carga, en una prensa caliente.

La figura 2.1, nos indica como interactúa el sistema térmico y la carga aplicada (estructural), este es inversamente proporcional, donde se debe determina el punto óptimo que contenga la calidad deseada del producto.

Este comportamiento lo encontramos también en la fabricación de triplay, donde se han evaluado la temperatura y la carga aplicada, además del contenido de humedad, encontrándose que con una temperatura entre 140 y 160 °C, aplicando una presión entre 12.23 y 14.34 kg·cm² (174 a 204 psi), se logra una reducción de un 28.6 % del tiempo de prensado, cabe señalar que también se evaluaron los porcentajes de los adherentes (Zavala, 2004).

Un buen diseño del sistema térmico ayuda a aumentar la eficiencia de funcionamiento y con ello sea una máquina mas rentable en su operación.

2.1 Sistema térmico

La producción de calor siempre se desplaza de una temperatura alta, hacia una temperatura menor, y ésta va junto con una transformación entrópica hasta

alcanzar el nivel calorífico equilibrado, que se caracteriza por tener una distribución calorífica uniforme (Incropera, 2002).

2.1.1 Intercambio de calor

En el análisis del intercambio de calor, es importante tomar en cuenta tres conceptos: conducción, radiación y convección.

Conducción

El calor se trasfiere de las áreas de temperatura más altas a más bajas, debido al movimiento cambiante o el golpe directo de los átomos como en el caso de los líquidos o gases en reposo o por el transporte de las partículas con carga negativa como sucede en los metales.

Joseph Fourier dice que un principio básico en la conducción de calor es: La relación de cambio de transferencia calorífica en una dirección específica, es equivalente a la superficie normal a la dirección de traslación del flujo térmico y al gradiente del nivel térmico en esa dirección (Incropera, 2002).

$$Q_x = -K A \frac{\partial T}{\partial x} \quad \left(\text{BTu}/h, w \right)$$

Dónde:

Q_x - Relación de cambio de calor a través de la región A en la dirección positiva.

$$k = \text{Conductividad térmica} \quad \left(\frac{w}{m, k}, \text{BTu}/h \text{ pie.}^\circ R \right)$$

A = área de sección transversal de la transferencia de calor

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \text{gradiente de temperatura}$$

El gradiente del nivel térmico es negativo si éste disminuye para cantidades que aumentan de x , por lo que la temperatura cedida en la dirección positiva, debe ser de una graduación positiva, por lo tanto, al segundo miembro de la fórmula anterior, hay que ponerle un signo menos, lo cual se observa en la figura 2.2 (Incropera, 2002).

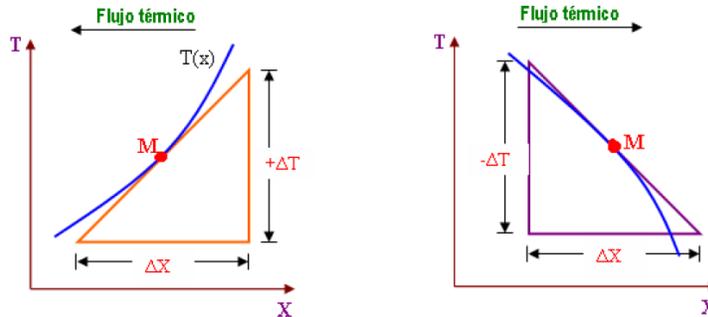


Figura 2.2. Signos para la transferencia de energía calorífica por transporte

Convección

Cuando un líquido o gas a T_F , se coloca en contacto con un cuerpo firme cuya superficie de comunicación está a un nivel térmico distinto T_S , al conjunto de fases sucesivas de intercambio de calor se llama convección y la cantidad de calor expuesta por la ley de enfriamiento de Newton (incropera, 2002), y se describe como sigue

$$Q_C = h A (T_S - T_F)$$

Donde:

Q_C = Cantidad de calor, (w/k)

h = Factor térmico por convección en la interface liquido – solido (w/m² k)

A = Región de la superficie en comunicación con el fluido (m²)

En la figura 2.3, se puede observar la vista lateral de un líquido o gas adyacente a la superficie de un cuerpo firme.

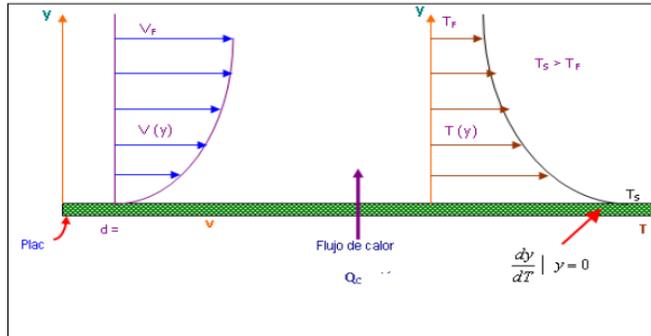


Figura 2.3. Repartición del nivel térmico y velocidad del gas o líquido sobre la plancha

➤ El factor del mecanismo de comunicación de calor por convección depende a grandes rasgos, de la relación entre la masa y el volumen de una sustancia, velocidad del gas o líquido, de las propiedades térmicas del gas o líquido (K , C_p), es decir:

$$h = f(\rho, \eta, v, k, C_p)$$

➤ En la convección forzada la razón de cambio de movimiento, viene asignada al conjunto con una bomba, ventilador y puede medirse explícitamente.

$$V_F = Q_v / A$$

➤ En la convección natural, la razón de movimiento es de la forma

$$v = f(\Delta T, \beta, g)$$

ΔT = Variación de temperatura entre la superficie y el fluido

β = Factor de crecimiento térmico que determina el cambio de densidad

g = Valor de la gravedad

Radiación

La conducción y la convección térmica se llevan a cabo solo a través de un espacio natural, la radiación térmica puede llevar el calor a través de un líquido o gas o del vacío, en la conducción de ondas electromagnéticas como efecto de los cambios, en las formas particulares electrónicas de los átomos, estos se propagan a una razón de cambio al tiempo de la luz

El monto de energía que deja una superficie en la representación de calor radiante está en función del nivel térmico absoluto a la que se encuentra y de composición de la superficie.

El emisor de radiación perfecto o entre negro, da un monto de energía radiante a su área, Q_r

$$Q_r = \sigma A T^4 = A E_b$$

E_b = Capacidad emisiva del radiador.

σ = Cantidad dimensional de Stefan – Boltzmann

$5,67 \times 10^{-8} \text{ w/m}^2 \text{ K}^4$ para el sistema Internacional (SI)

$0,1714 \times 10^{-8} \text{ Btu/h pie}^2 \cdot \text{R}^4$ para el sistema americano

2.1.2 Expresión Diferencial para la conducción térmica

La ecuación diferencial para la conducción del calor está dada principalmente por la ley de Fourier (Incropera, 2002), considerando pues este principio tenemos la ecuación:

$$Q_x = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \qquad q_x = \frac{Q_x}{A} = -k \frac{\partial T}{\partial x}$$

Q_x = Calor que pasa el área A en la dirección de las x positivas.

q_x = Movimiento térmico por unidad de área transversal

k = Conductividad térmica del material (magnitud positiva), para flujo unidireccional.

La capacidad que tiene la materia de generar trabajo Q_x que ingresa por conducción a la unidad de volumen infinitesimal en la dirección x:

$$Q_x = q_x \Delta y \Delta z$$

- La energía que sale en dirección igual

$$Q_{x+\Delta x} = Q_x + \frac{\partial Q_x}{\partial x} \Delta x$$

- El cotejo de energía que pasa a la unidad de volumen en la dirección x:

$$Q_x - \left(Q_x + \frac{\partial Q_x}{\partial x} \Delta x \right) = -\frac{\partial Q_x}{\partial x} \Delta x = -\frac{\partial q_x}{\partial x} \Delta x \Delta y \Delta z$$

- Realizando de forma igual para los ejes y, z

$$Q_y - \left(Q_y + \frac{\partial Q_y}{\partial y} \Delta y \right) = -\frac{\partial Q_y}{\partial y} \Delta y = -\frac{\partial q_y}{\partial y} \Delta x \Delta y \Delta z$$

$$Q_z - \left(Q_z + \frac{\partial Q_z}{\partial z} \Delta z \right) = -\frac{\partial Q_z}{\partial z} \Delta z = -\frac{\partial q_z}{\partial z} \Delta x \Delta y \Delta z$$

- La energía que por conducción pasa a la unidad de volumen:

$$-\left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right) \Delta x \Delta y \Delta z$$

- La energía creada o eliminada de la unidad de volumen por nacimiento de energía

$$Q_{gen} = q_0 \Delta x \Delta y \Delta z$$

q_0 = Energía generado por unidad de volumen (W/m^3), ($BTU/h.m^3$)

- El cambio ∂U de la energía en el interior de dt , específicamente en el caso de cuerpos firmes y líquidos, en los cuales los calores específicos a presión (C_p) y volumen (C_v) inmutables son de la misma magnitud $C_p = C_v$, es de la forma

$$\frac{\partial U}{\partial t} = m C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} \Delta x \Delta y \Delta z$$

ρ y C_p no varían con el tiempo.

- De tal forma, el cálculo energético global suministra la expresión diferencial de la conducción de calor, de la siguiente manera:

$$-\left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z}\right) + q_0 = \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t}$$

- Tomando en consideración la expresión de Joseph Fourier para cada:

$$q_x = -k \frac{\partial T}{\partial x}, q_y = -k \frac{\partial T}{\partial y}, q_z = -k \frac{\partial T}{\partial z}$$

- Se deriva, la expresión diferencial de conducción de calor en coordenadas rectangulares:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + q_0 = \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t}$$

$$T = T(x, y, z, t) \quad ; \quad q_0 = q_0(x, y, z, t)$$

O en notación simbólica:

$$\nabla(k \cdot \nabla T) + q_0 = \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t}$$

➤ Ahora bien, si la conductividad térmica es invariable, se tiene que la expresión es entonces:

$$k(\nabla^2 T) + q_0 = \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t}$$

Nota 1: El operador Laplaciano en ejes cartesianas:

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

Nota 2: $\alpha = \frac{k}{\rho C_p}$, **difusividad térmica.**

➤ Si la conductividad térmica es invariable (k), la expresión es:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{q_0}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t}$$

➤ También sucede que no existe concepción interna de calor (expresión de Fourier)

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t}$$

➤ Para regiones estacionarias (**Ecuación de Poisson**)

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{q_0}{k} = 0$$

➤ Sistema estacionario con cero creación interna de calor (**Ecuación de Laplace**)

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0$$

2.1.3 Placa térmica - intercambiador de calor

Las placas térmicas utilizadas en la prensa funcionan como un intercambiador de calor, pues en su proceso debe calentarse continuamente, ya que al hacer su trabajo baja la temperatura al transferirse a la celulosa. Por lo tanto, se hace una

placa diseñada especialmente para transmitir calor, principalmente mediante fluido térmico, sus elementos y partes que la componen pueden variar según el diseño, la mayoría usan tubos de cobre, deflectores y coraza de acero, sin embargo, con este diseño se requiere grandes temperaturas.

Equipo térmico de tubos (intercambiador de calor)

En la figura 2.4 tenemos un esquema de un intercambiador de calor, su principal componente son los tubos, estos son usados cuando se requieren grandes cantidades de calor, en la figura se muestran sus componentes (Jaramillo, 2007).

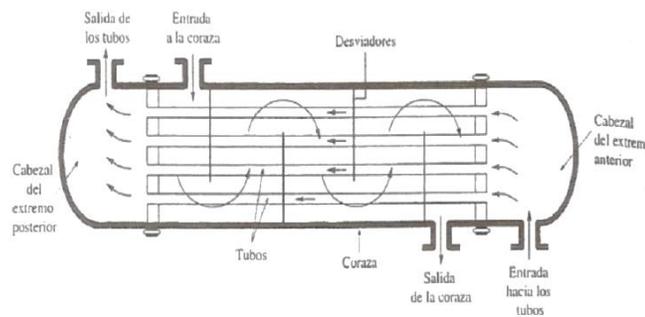


Figura 2.4. Esquema completo del intercambiador calorífico.

Los intercambiadores caloríficos son muy utilizados en la industria, el intercambiador calorífico es con base a fluidos en movimiento dentro de los tubos. Una forma de eficientar el funcionamiento del intercambiador calorífico, es común que cuente con deflectores forzando así el paso del fluido, generando turbulencias que transmiten mayor calor (Jaramillo, 2007).

Se han desarrollado intercambiadores de calor de diferentes tipos y en los últimos años se han realizado investigaciones al respecto, tales como la geometría de los tubos, la posición de la tubería, así como el número de vueltas (Barrojo, 2016).

Uno de los problemas que se encuentra frecuentemente en los estudios de los intercambiadores de calor son los errores y los coeficientes térmicos. Hoy en día es común usar los programas computacionales para evaluar la efectividad de los

intercambiadores de calor, sin embargo, desde 1988 se desarrollaron técnicas mediante gráficas, para medir esta efectividad térmica, que se pueden usar directamente para evaluar el factor de corrección, tomando en cuenta que hay un error de apreciación en la gráfica (Pignotti, 1988, Kandlikar, 1989).

Torres (2011) reporta baja eficiencia mientras se transfiere calor, usando los intercambiadores caloríficos de placas, dicha pérdida esta ligada a los coeficientes térmicos y a la acumulación de partículas ajenas al equipo. La determinación del coeficiente térmico puede ser mediante un procedimiento iterativo estableciendo el valor Nusselt y la interacción entre el valor Reynolds y el valor de Prandtl.

Dang (2010), Ahmed (2011) y Mohajer (2010) han desarrollado investigación para obtener el coeficiente térmico, usando técnicas computacionales tales como los métodos numéricos, que en general logran simular la transmisión térmica y pueden predecir el valor térmico durante el trabajo del. Torres y Selvaraj (2011), plantean la obtención de los mismos coeficientes de manera experimental, si no hay referencias, esto debido a los errores de selección de los equipos térmicos.

Picón, 2004, presenta un método para generar equipos térmicos con platos y marcos, donde toma en cuenta las dimensiones de los platos y los considera cambiantes, de igual manera describe la forma de determinar un factor de ajuste entre las temperaturas diferenciadas.

Es importante evaluar al intercambiador térmico, exponiendo las medidas durante la exploración, con ello se obtienen el comportamiento de los valores térmicos, la efectividad y la eficiencia, considerando diversas condiciones (Inbert, 2011). Los equipos térmicos de placas son más eficiente que los equipos que usan tubos, siempre y cuando las temperaturas que se requieran no sean muy altas (Torres, 2004).

James 2005 y Góngora 2009, reportan técnicas experimentales usadas para obtener los coeficientes térmicos y su dependencia, para diferentes usos de los

intercambiadores térmicos. Por otro lado, Martínez, 2004 y Romero, 2001, durante un análisis de los equipos térmicos compactos y de tubos con aletas, reportan un incremento en el número de Reynolds,.

2.2 Cálculos del sistema hidráulico

Los parámetros considerados para el diseño de la prensa fueron los siguientes:

Capacidad de carga, capacidad del motor eléctrico, capacidad de la bomba hidráulica, capacidad del cilindro hidráulico, estructura resistente a las cargas sometidas.

Algunos de los cálculos previos que se consideraron para la determinación de los elementos de la unidad de potencia son los siguientes:

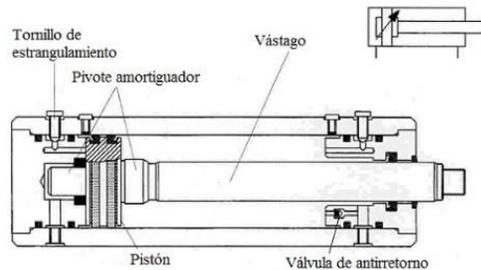


Figura 2.5. Cilindro hidráulico

El cilindro hidráulico aplica una carga, la cual comprime para elaborar las placas de polialuminio, para ello se presentan los cálculos básicos para determinar el diámetro del vástago. Según la teoría de Euler, la capacidad del cilindro, está dada por la carga máxima que éste soporte sin sufrir pandeo.

$$F_c = \frac{K_p}{S}$$

Donde

F_c - Capacidad del cilindro, kN

S - Factor de seguridad, 3,5

K_p - Carga de pandeo, kg:
$$K_p = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_v}{L_p^2}$$

Donde,

E - Módulo de elasticidad, ($2,1 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$)

I_V - Momento de inercia, ($\pi \cdot d^4/64$);

L_P - longitud de pandeo del vástago, cm

Conociendo el valor de la fuerza del cilindro y el tiempo, se determinan las dimensiones del cilindro con un actuador de doble efecto.

$$F_e = \frac{0,785 \cdot (d_1^2 - d_2^2) P_t}{10^4}$$

Donde:

F_e , - Valor de la fuerza del émbolo, kN .

d_1 , - Diámetro del émbolo, mm .

d_2 , - Diámetro exterior del vástago, mm .

P_t - Presión de trabajo, bar .

Para determinar la cilindrada o volumen del cilindro (V_c), fue necesario conocer su carrera (L), y el diámetro del émbolo (d_e).

$$V_c = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \cdot L_c$$

Donde:

V_c - Cilindrada, mm^3 .

d_1 - Diámetro del émbolo, mm .

L_c - Longitud de la carrera del vástago, mm .

Para el cálculo de la velocidad de recorrido del vástago, se requiere conocer la longitud que recorre del émbolo y el tiempo en que queremos que se aplique la carga (t), para lo cual se tiene lo siguiente:

$$V_r = \frac{L_c}{10^3 \cdot t}$$

Donde

V_r - Velocidad de recorrido del vástago, m/s

L_c - Longitud recorrida del vástago, mm

t - Tiempo del recorrido, s

Teniendo la cilindrada o volumen del cilindro (V_c) y el tiempo de recorrido (t), se puede conocer el caudal (Q) necesario para realizar una carrera.

$$Q = \frac{60 \cdot V_c}{10^3 \cdot t}$$

Donde

Q - Caudal, l/min

V_c - Cilindrada o volumen de una carrera, mm^3

t - Tiempo de la carrera, s

La bomba hidráulica debe tener un caudal real Q_b , donde debe considerarse la eficiencia de trabajo (η) y el caudal calculado (Q).

$$Q_b = \frac{Q}{\eta_b}$$

Donde

Q_b el caudal real de fluido necesario para hacer una carrera, en litros/minuto (l/min).

Q es el caudal teórico calculado, en litros/minuto (l/min).

η_b Eficiencia de la bomba, 0,85 y 0,95.

Finalmente, la potencia hidráulica que entrega la bomba se determinó mediante la expresión siguiente:

$$Pot = (Q \times P_t) / 60$$

Pot , Potencia hidráulica, kW

Q_r , el caudal real de fluido necesario, l/min

P_t - Presión de trabajo, bar .

La capacidad de motor eléctrico será la misma capacidad que la bomba hidráulica, ya que está conectada directamente, sin embargo se debe considerar aun una eficiencia del 0,90.

2.3 Modelación del sistema térmico

La modelación es una herramienta básica para describir, explicar y predecir todo proceso físico en diversas condiciones, un proceso físico que se ha estudiado continuamente es la transferencia de calor, tanto en la industria metal-mecánica como en la industria de procesos alimenticios (Alvis A, et al., 2010; Sosa, 2006).

Actualmente la informática ha sido de gran apoyo para la modelación y ha estimulado mayor interés en la generación de modelos matemáticos sobre la transferencia térmica en diversos procesos, considerando que la transferencia de calor puede ser expresada por la Ley de Furier y la Ley de Enfriamiento de Newton (Alvis A, et al., 2010).

La generación de ecuaciones y métodos de optimización son empleados por la mayoría de los investigadores, lo que permite el estudio de los elementos geométricos y el efecto en el diseño de los intercambiadores térmicos, además se pueden hacer simulaciones variando cada uno de los coeficientes, tanto térmicos, físicos y químicos (Amala, 2009; Pinto, 2002; Kaduchová, 2012).

Camurri, 2004, utiliza el método explícito de diferencias finitas, para analizar el tratamiento térmico de las esferas de molienda, utilizando la ecuación de Furier, considerando una estabilidad en sus elementos, además supuso que las pérdidas calóricas por radiación y el calor de formación de la martesita, que la conductividad térmica y la capacidad calórica son dependientes linealmente a la temperatura y que la temperatura del temple es constante.

Cisneros, 2002, reporta como es la temperatura y el coeficiente térmico, de manera local y en promedio, mientras los tubos del equipo térmico absorben el calor.

Los intercambiadores de calor que utilizan para refrigeración, aeroespacial, procesos biomédicos, robótica y aplicaciones automotrices, utilizan líquidos viscosos y una convección forzada. Para estos intercambiadores hasta las unidades más pequeñas se convierten en una demanda de aplicación comercial (Selvaraj, 2011).

El problema de la modelación matemática radica en que se desconoce como se comporta la transferencia térmica en las fronteras del problema, para algunos problemas se soluciona estimando las condiciones de frontera mediante el conocimiento histórico térmico del proceso, obteniendo así algunos puntos que se consideren como valor de frontera (López, 2013).

Los trabajos de investigación que utilizan CFD para simular la transferencia térmica en intercambiadores de calor o placas térmicas, son limitados, donde la mayoría encontrados están orientados a comprar la transferencia de calor y la baja presión de los intercambiadores térmicos, pocos autores describe resultados de intercambiadores térmicos de diferentes parámetros geométricos (Ahmed, 2011).

Los modelos desarrollados en CFD parten de un elemento finito para analizar las condiciones de sus elementos, tales como la velocidad, presión, densidad, viscosidad, conductividad térmica y temperatura. En la siguiente figura se muestran los elementos del caudal másico (Ahmed, 2011).

Terres (2009), hace una comparación entre dos métodos de solución, el Método del Elemento Frontera (MEF) y el Método del Elemento Finito (MEFI), aplicando estos métodos al caso de una placa sometida a flujos de calor, por conducción, los resultados encontrados con el MEF son muy aproximados a los encontrados con MEFI, la variación es de 0.3 °C, lo cual se convierte en una alternativa para la solución en la transferencia de calor.

El principio de modelación del sistema térmico, es identificar las restricciones que existen en el modelo, pues independientemente del método de transferencia de

$$R_{eq} = \sum_{i=1}^n R_i \quad R_{eq} = \frac{e_1}{k_1 \cdot A} + \frac{e_2}{k_2 \cdot A} = \frac{1}{A} \cdot \left[\frac{e_1 \cdot k_2 + e_2 \cdot k_1}{k_1 \cdot k_2} \right]$$

$$q = \frac{T_3 - T_1}{R_{eq}} = \frac{A \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot (T_3 - T_1)}{e_1 \cdot k_2 + e_2 \cdot k_1} = \frac{T_2 - T_1}{R_1} = \frac{(T_2 - T_1)}{\frac{e_1}{k_1 \cdot A}} = \frac{T_3 - T_2}{R_2} = \frac{(T_2 - T_2)}{\frac{e_2}{k_2 \cdot A}}$$

Revisando los componentes del balance térmico, de manera separada, por tanto:

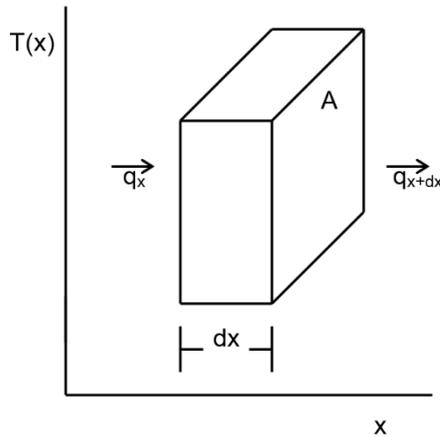


Figura 2.7. Diagrama de temperaturas, diferencial.

$$q_x + \Delta E + \Delta U + q_{x+dx} = 0$$

Considerando los signos se tiene:

$$q_x + \Delta E = \Delta U + q_{x+dx}$$

- a) El movimiento de calor que entra al componente es: $q_x = -k \cdot A \cdot \frac{\partial T}{\partial x}$
- b) La creación interna de energía y por lo tanto de calor es: $\Delta E = \dot{q} \cdot A \cdot dx$
- c) El cambio de energía interna es: $\Delta U = \rho \cdot C_v \cdot A \cdot dx \cdot \frac{\partial T}{\partial t}$
- d) El flujo de calor que egresa al elemento es:

$$e) \quad q_{x+dx} = -\left(k \cdot A \cdot \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \cdot \left(k \cdot A \cdot \frac{\partial T}{\partial x}\right) dx\right)$$

Cambiando estos componentes en la expresión del balance térmico y eliminando las componentes, entonces se tiene que para el caso de la conducción en una dimensión se genera la siguiente expresión diferencial que modela el aparato de transporte de calor:

$$\frac{\partial}{\partial x} \cdot \left(k \cdot \frac{\partial T}{\partial x}\right) + \dot{q} = \rho \cdot C \cdot \frac{\partial T}{\partial t}$$

Si se extiende la expresión anterior a un flujo de calor en tres dimensiones en un complejo de ejes cartesianos, la expresión de transporte de calor o expresión de Fourier tiene el cuerpo siguiente:

$$\frac{\partial}{\partial x} \cdot \left(k_x \cdot \frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y} \cdot \left(k_y \cdot \frac{\partial T}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z} \cdot \left(k_z \cdot \frac{\partial T}{\partial z}\right) + \dot{q} = \rho \cdot C \cdot \frac{\partial T}{\partial t}$$

Si se toma que la propiedad de la conductividad térmica de un cuerpo macizo se mantiene constante y no es dependiente de cualquiera de las trayectorias que pueda tener el flujo de calor, se reescribe la expresión de Fourier para ejes cartesianos de la forma siguiente:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\dot{q}}{k} = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\partial T}{\partial t}$$

En forma matemática simple la expresión anterior queda como:

$$\nabla^2 T + \frac{\dot{q}}{k} = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\partial T}{\partial t}$$

Así que, este es el modelo que se maneja para el progreso del estudio térmico en planchas

2.4 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Aguilar-Virgen, Quetzalli; Armijo-de Vega, Carolina; Taboada-González, Paul; Aguilar, Xochitl M.; (2010). Potencial de recuperación de residuos sólidos domésticos dispuestos en un relleno sanitario. *Revista de Ingeniería*, Julio-Diciembre, 16-27.
2. Ahmed, F. y Mahmoud Sh. “Numerical analysis of fin-tube plate heat exchanger by using CFD technique. ARPN”. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2011, vol. 6, nº.7, p. 1-12. ISSN 1819-6608.
3. Alvis Armando, Caicedo Issac y Peña Pierre. (2010). Determinación del Coeficiente de Transferencia de Calor a Través de una Aplicación de Computadoras. *Información Tecnológica*. Vol 21 (5), 13-20 (2010).
4. Amala, M., kum, S. y Muthuraman, S. “The characteristics of brazed plate heat exchangers with different chevron angles”. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2009, vol. 4, nº.10, p. 19-26. ISSN 1819 - 6608.
5. Bacha Álvarez, Xavier; Fortes-Rivas, María Concepción; Aguilar-Escalante, Rodolfo A.; (2007). Diseño de una red de intercambio de calor utilizando la metodología supertargeting del punto de pliegue. *Revista del Centro de Investigación. Universidad La Salle*, julio-diciembre, 23-40.
6. Borrajo Pérez, Rubén; González Bayón, Juan José; ItizoYanagihara, Jurandir; (2016). An experimental study of heat transfer enhancement using vortex generators in a finned elliptical tube. *Ingeniería Energética*, 165-176.
7. Camurri, Carlos, Rodríguez Diego. (2004). Modelo matemático y validación experimental de la transferencia de calor durante las diferentes etapas del tratamiento térmico de bolas para molienda. Congreso CONAMET/SAM. Concepción, Chile.
8. Cisneros Ramírez, C. A.; (2002). Modelación de la transferencia de calor y masa en el absorbedor de una máquina de refrigeración por absorción. Resultados para un banco de tubos. *Ingeniería Mecánica*, Mayo-Agosto, 77-83.

9. Dang, T. y Teng. J. "Numerical and experimental studies of the impact of flow arrangement on the behavior of heat transfer of a microchannel heat exchanger". *Journal of Applied Mathematics*. 2010, vol. 40, nº.3, p. 1-7. ISSN 2152-7385.
10. GÓNGORA L. E. 2009: Coeficientes de transferencia de calor en enfriadores de mineral laterítico a escala piloto. *Minería & Geología*. 25(3): 1-18.
11. Imbert-González, Josué; (2011). EVALUACION DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR. ESTUDIO DE SU EMPLEO COMO RECUPERADOR DE CALOR. *Tecnología Química*, XXXI Septiembre-Diciembre, 37-44.
12. INEGI. 2015. Sistema de Cuentas Nacionales de México, Banco de Información Económica. Presidencia de la República. Tercer Informe de Gobierno 2014-2015. Anexo Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos. México 2015.
13. Inche Mitma, Jorge; Vergiú Canto, Jorge; Mavila Hinojoza, Daniel; Godoy Martínez, Manuel; Chung Pinzás, Alfonso; (2004). Diseño y evaluación de una planta de reciclaje de envases Tetra Pak a pequeña escala. *Industrial Data*, julio-diciembre, 7-17.
14. INCROPERA, F. P. & DAVID P. W. 2002: *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. John Wiley & Sons, New York.
15. Kaduchová, K. R. y Lenhard J. J. "Optimization of heat exchanger for indirectly heated water heater". *EPJ Web of Conferences*, 2012, p. 1-10.
16. Kandlikar, S. G. y Shah, R. K. (1989). Multipass plate heat exchangers- Effectiveness-NTU results and guidelines for selecting pass arrangements. *Journal of Heat Transfer- Transactions of the ASME*. 111, 300-313.
17. Jaramillo O. A. (2007). INTERCAMBIADORES DE CALOR. Centro de Investigación en Energía. Universidad Nacional Autónoma de México.
18. JAMES, C. A. 2005: The application of uncertainty analysis to cross-Flow Heat Exchanger Performance Predictions, *ASME/JSME Thermal Eng.*

Proc. Int. Symp. on Refined Flow Modelling and Turbulence Measurements, Paris, France, October, 2005.

19. Martínez, M.T., Torres, E., & Soto, J.A. (2004). Evaluación de Intercambiadores de Calor Compactos de Tubos Aletados. *Información tecnológica*, 15(4), 47-54.
20. Mohajeri, P. "A numerical comparison of single-phase forced convective heat transfer between round tube and straight microchannel heat exchangers". *International Journal of Engineering Science and Technology*. 2010, vol. 2, nº.11, p. 6492-6463. ISSN 0975-5462.
21. Pignotti, A. and Tamborenea, P. I. (1988). Thermal effectiveness of multipass plate exchangers. *International Journal Heat Mass Transfer* 31, 10, 1983-1991.
22. Picón N. M. 2004. Thermo-hydraulic design of plate and frame heat exchangers in single and multi-pass arrangement. *Revista mexicana de Ingeniería Química*, 17 (3): 22-34
23. Pinto, J. M. y Gut, J. "A screening method for the optimal selection of plate heat exchanger configurations". *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 2002, vol. 19, nº. 4, p. 433 - 439. ISSN 0104-6632.
24. Quintas Ornelas, Jennifer, López Santos, Raquel. 2010. Estudio de Factibilidad Económica para la instalación de una planta productora de papel reciclado. Instituto Politécnico Nacional. UPIISA.
25. Romero Méndez, Ricardo; Adame, Rafael; Sen, Mihir; (2001). Estudio de los parámetros que afectan la transferencia de calor conjugada en intercambiador de calor de tubos y placas-aleta . *Interciencia*, agosto, 321-326.
26. Semarnat. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. Edición 2012. México. 2013.
27. Salviani de Boseck, Sofía; González, Gabriel; (2009). Economías informales en la ciudad de México. La red de la basura. *Gestión y Ambiente*, Mayo-Sin mes, 61-73.

28. Selvaraj P, Sarangan J y Suresh S. (2011). Experimental Investigation on heat transfer and friction factor characteristics of a water and ethylene glycol mixture Flow of internally grooved tubes. *International Journal of Chemical Research*. Vol 3, pp-33-40.
29. Terres H., Ortega J. A., Gordon M., Morales J.R., Lizardi A. y Lara A. (2009). Método del Elemento Frontera en el estudio de placas sometidas a temperatura. *Memorias de Congreso Internacional SOMIM*. Sonora, México.
30. Torres, E., Quintana, L., y Vega Y. Retirado. "Coeficientes de transferencia de calor y pérdida de eficiencia en intercambiadores de calor de placas durante el enfriamiento del licor amoniacal". *Minería y Geología*, 2011, vol. 27, nº. 2, p. 67- 83. ISSN 1993-8012.
31. Torres Tamayo, Enrique; Quintana Charlot, Luís Eduardo; Vega Árias, Orlando; Retirado Mediaceja, Yoalbys; (2011). Coeficientes de transferencia de calor y pérdida de eficiencia en intercambiadores de calor de placas durante el enfriamiento del licor amoniacal. *Minería y Geología*, Abril-Junio, 67-83
32. Zavala Zavala, D.; Valdivia Acevedo, R.; (2004). Transferencia de calor y su efecto en el proceso de prensado de tableros contrachapados. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 43-49.

3 DISEÑO DE UNA PLANTA DE RECICLAJE DE TETRA PACK A PEQUEÑA ESCALA

DESIGN OF A SMALL-SCALE TETRA PACK RECYCLING PLANT

Juan Gabriel Ochoa Bijarro¹, Noé Velázquez López², Agustín Ruiz García³,
Carlos A. Villaseñor Perea⁴

¹ Posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua. Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Texcoco, Estado de México, C. P. 56230, México.

^{2, 3, 4} Departamento de Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Texcoco, Estado de México, C. P. 56230, México.

Autor de correspondencia: noe.velazquez@gmail.com

3.1 RESUMEN

El presente trabajo hace un análisis económico de una planta donde recicla Tetra pack, con base a un diseño de planta a pequeña escala, el objetivo fue determinar la viabilidad del proyecto como modelo de negocio para cooperativas en zonas urbanas. El trabajo del reciclado del Tetra Pack produce dos productos a la vez, por un lado la celulosa para la industria del papel y el polialuminio para la industria laminera. En la actualidad para la elaboración del papel, la industria papelera utiliza dos terceras partes de celulosa reciclada como materia. Actualmente en México se generan 3 400 millones de dólares a causa de la producción del papel, el cual corresponde al 0,4% al PIB de nuestro país, además del 2% del sector manufacturero. La evaluación se realizó en planta durante la etapa de producción, trabajando los tres turnos (24 horas) los siete días de la semana, en la planta de reciclado Evolución TS, ubicada en Tepeji del río, Hidalgo, considerando los gastos de producción, directos e indirectos, costos de la maquinaria y volúmenes de producción. Los resultados reportados indican un factor de relación costo beneficio de 1:1.25 lo cual es un indicador

determinante para la implementación del proyecto a pequeña escala mediante cooperativas.

Palabras claves: Reciclado, celulosa reciclada, polialuminio, prensa caliente, tecnología de reciclado.

Abstract

The present work makes an economic analysis of a plant where Tetra pack recycles, based on a small-scale plant design, the objective was to determine the viability of the project as a business model for cooperatives in urban areas. The recycling work of the Tetra Pack produces two products at the same time, on the one hand cellulose for the paper industry and polyaluminum for the rolling industry. At present, for the production of paper, the paper industry uses two thirds of recycled cellulose as material. Currently in Mexico, 3.4 billion dollars are generated due to the production of paper, which corresponds to 0.4% of the GDP of our country, in addition to 2% of the manufacturing sector. The evaluation was carried out at the plant during the production stage, working three shifts (24 hours) seven days a week, at the Evolución TS recycling plant, located in Tepeji del rio, Hidalgo, considering direct production expenses and indirect, machinery costs and production volumes. The reported results indicate a cost-benefit ratio factor of 1: 1.25, which is a determining indicator for the implementation of the project on a small scale through cooperatives.

Keywords: Recycled, recycled cellulose, polyaluminum, hot press, recycling technology

3.2 INTRODUCCIÓN

El reciclado de tetra pack está enfocado principalmente a la producción de celulosa como materia prima de la industria del papel, esta industria en México se generan 3 400 millones de dólares, el cual corresponde al 0,4% al PIB de nuestro país, además del 2% del sector manufacturero (INEGI, 2015, SEMARNAT, 2012).

De acuerdo con datos de la organización Junior League, los envases Tetra Pak influye negativamente en el medio ambiente, debido a que tardan al rededor de 35 años en descomponerse, en la Ciudad de México se generan 60 millones de estas cajas aproximadamente, por lo que son un problema que debe ser atendido.

Dentro del reciclado están las cajas de Tetra Pak, que están compuestas por cartón, polietileno y aluminio, en un 75%, 20% y 5% respectivamente (Inche, 2004). Una tonelada de papel reciclado permite no talar 17 árboles, así mismo se tiene un ahorro de 20 mil litros de agua y 4000 kWh (Quintas y López, 2010).

La producción de papel en México en el 2012 fue de 4 763 700 toneladas, sin embargo se tiene una capacidad instalada de 5 884 400 toneladas según datos de la Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y del Papel (Figura 3.1)

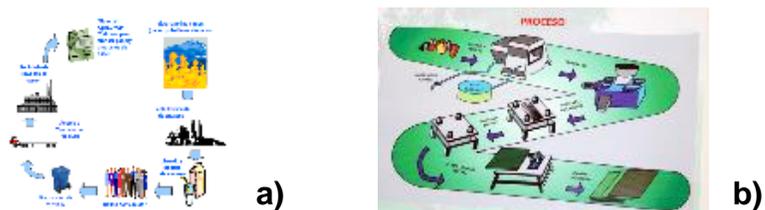


Figura 3.1. a) Flujo de la materia prima (Tetra Pak) b) Proceso de reciclado

Por otra parte, el producto del polialuminio está teniendo gran aceptación en la industria delos muebles como sustituto del aglomerado, en la industria del acero como sustituto de laminas acanaladas y en la industria de la construcción como

sustituto de tabla roca. En México no hay una cifra sobre el uso de este producto, sin embargo, en otros países como China y Alemania ha sido impulsado por la propia empresa Tetra Pack para protección del medio ambiente. El uso del polialuminio es variado, se usa en muebles, separadores de gabinetes, laminas onduladas para techos, laminas lisas de diferente grosor, etc.

3.2.1 Planta industrial

El factor económico es fundamental para tomar decisiones, en este caso para la fabricación de otros productos, analizando principalmente la utilidad de la inversión, donde el proyecto debe estar en condiciones tal que sea posible bajar los costos en la producción. Estos costos deben ser basados en la proyección preliminar de la planta, con el fin de llegar a decidir con fundamentos, por lo que es importante considerar aspectos como: material para producción, costos de producción, proceso de producción, equipos adecuados en los procesos.

3.3 MATERIALES Y METODOS

La planta de reciclado de Tetra Pack que se evaluó está ubicada en Avenida Melchor Ocampo #95, Colonia Tlaxinacalpan, Tepeji del Río de Ocampo, Hidalgo. C.P. 42855. La forma en que se realizó la evaluación es mediante encuestas con el gerente de producción, el personal operativo y supervisores de producción, esto con el fin de determinar el proceso y costos de producción, también se estimaron los costos de los equipos utilizados en la producción. Se establecieron los espacios para las máquinas de producción, así como los diseños y capacidades de estas.

3.4 RESULTADOS

La producción dentro de la planta corresponde a la celulosa y el polialuminio, los cuales reportaron con las siguientes características:

Propiedades del polialuminio reciclada

Propiedad	Valor
Tensión a la ruptura, (MPa)	10.9
Elongación a la ruptura, (%)	38.8
Modulo elástico, (MPa)	177.6
Resistencia al impacto Izod, (MPa)	302.0
Conductividad eléctrica, (S/cm)	1.11×10^{-8}
Densidad, (g/cm ³)	0.9

Propiedades de la celulosa

Determinación	Muestra A	Muestra B
Valor de Retención de Agua (WRV), 24 h	1,10	1,39
Ceniza, %	2,22	0,86
Grado de Refinación, °CSF	573	678
Retenido en mallas	Retención: %	Retención: %

Elaboración de la celulosa y polialuminio:

La celulosa como producto final consiste en pacas de 50 kg en promedio, con dimensiones de 0,20 x 0,40 x 0,60 m, las pacas son formadas con una prensa neumática con una carga de 4,500 kg a 8 bar, teniendo finalmente una humedad desde 30 a un 40 %

El polialuminio se obtiene en pacas de 400 kg con dimensiones 0,70 x 90 x 1,10 m, la compresión se realiza con una prensa neumática a con una carga de 8,500 kg a una presión de 8 bar, para procesar posteriormente.

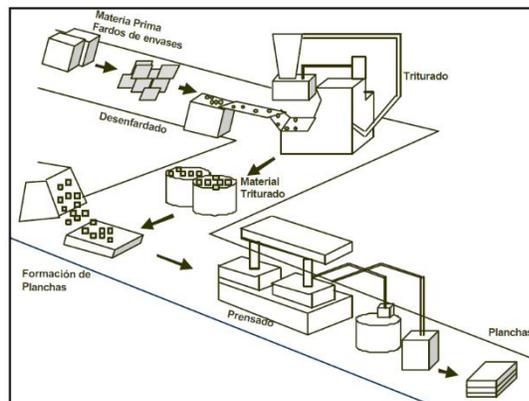


Figura 3.2. Elaboración de celulosa y polialuminio

Recolección: El material para producir celulosa y polialuminio, se obtiene directamente de centros de acopio tanto locales, como de la región; de la

empresa Tetra pack ubicado en Querétaro como material que no pasa calidad en su producción, de la empresa Jumex en su producto de jugos, ubicada en Jalisco que son productos que no cumplen con calidad. Una vez que llega este material, se realiza una separación de color (blanco y café), posteriormente se eliminan objetos diferentes a tetra pack, como plásticos, vidrios o madera.

Molienda: Con el fin de acelerar el proceso, se realiza la molienda mediante un molino de cuchillas, para que la materia prima entre al proceso de descomposición desgarrada o en pequeños pedazos.

Alimentación continua: Es la alimentación mediante bandas, que descargan en los hidropulper, que es donde se descompone el tetra pack.

Descomposición del tetra pack: Se usan dos hidropulper que consiste en un sistema de lavado centrifugado, con un motor de 40 hp de potencia, con una capacidad de 5,000 L de agua y 180 kg de material para su procesamiento. El proceso de descomposición dura entre 30 y 45 min, tiempo en el cual se desprende la celulosa del polialuminio. Al término del tiempo se vacía el agua hacia unas tinajas y el polialuminio hacia una reja, para posteriormente hacer pacas de 400 kg mediante una prensa neumática.

Obtención de celulosa.

Filtrado del agua con celulosa. El agua recolectada en las tinajas después del proceso de descomposición es agitada para que la celulosa no se asiente, posteriormente se somete a una mesa de rodillos, donde por medio de una malla se va escurriendo el agua quedando así la celulosa.

Elaboración de las pacas de celulosa. La mesa de rodillos termina en un transportador sin fin, que es el que alimenta a la prensa neumática, que le dará forma de paca a la celulosa.

Fabricación de láminas de polialuminio.

Lavado del polialuminio. Se realiza un lavado para eliminar la celulosa y material crudo del proceso, esto se realiza mecánicamente, para ponerse a secar a la interperie.

Picado. El picado se lleva con un molino de martillos, se usa cribas de diferentes tamaños, las más comunes son pequeñas que lobran trozos desde 3 hasta 20 mm.

Moldeado de la lamina. Es importante definir el tamaño de las laminas a procesar, ya que con ello se define los moldes que se utilizan, generalmente son cajas de madera de 20 cm de altura, 1, 0 m de ancho y 2,0 m de largo.

Prensa térmica. Es el proceso final donde el polialuminio contenido en el molde, se somete a una temperatura de 160 °C y una carga de 15 ton, durante 35 min, para la obtención de las laminas de polialuminio, sin embargo estos parámetros dependen de las características de las laminas que se requieren, puesto que pueden ser laminas de 10, 15, 20 y 25 mm.

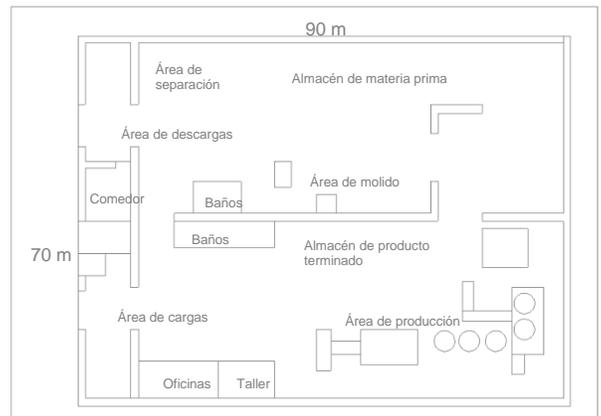
Equipos utilizados en el proceso de producción.

1. Molino de 24 cuchillas con un motor de 15 hp.
2. Transportador de banda de 0,60 m de ancho con empujadores y un motor de 3 hp
3. Transportador de banda de 0,60 m de ancho con empujadores y un motor de 2 hp
4. Hidropulper con motor de 30 hp y otro con 20 hp, de capacidad de 5,000 L
5. Tinajas de descargas de celulosa con bomba de 2 hp
6. Mesa de rodillos, con una malla de 1,2 m y una transmisión mecánica y un motor de 3 hp
7. Prensa neumática con un pistón para hacer pacas de celulosa de 4,500 kg a 8 bar

8. Prensa neumática con dos pistones para hacer pacas de polialuminio de 8,500 a 8 bar
9. Lavadora de polialuminio tipo dromer, con un motor de 10 hp
10. Molino de cuchillas con motor de 10 hp
11. Prensa térmica con capacidad de 15 ton, con capacidad térmica de hasta 200 °C, con una mesa de 2,0 x 1,0 m.

Distribución de la planta

La planta cuenta con una superficie de 6,300 m² (50 x 90 m), donde se encuentran distribuidas las áreas de carga y descarga, área de separación del material, oficinas, taller, almacenes de materia prima y producto terminado, área de producción y área de molido.



Considerando los espacios que ocupan las maquinas, la movilidad de los operadores, el flujo de materia prima y las maniobras que hace el montacargas, la planta esta sobredimensionada con un 40 %, de acuerdo con las áreas establecidas se tiene el siguiente cuadro.

Cuadro 1. Superficies de trabajo dentro de la planta.

Área / Equipo	Superficie de los equipos m ²	Área de operación m ²	Maniobras m ²	Superficie total m ²	Superficie requerida m ²
Área de cargas	-	-	500	500	200
Área de producción	300	50	150	500	800
Almacén	-	1500	-	1300	250
Maniobras cargas	-	700	-	600	200
Espacios construidos	-	300	-	250	400
Área de molido	2	3	145	150	100
Área de descarga			300	300	200
Área de separación		400		400	200
Almacén de materia prima				2300	1500
Total				6,300	3,850

Sin embargo, se mantiene la superficie ya que la planeación de la planta es crecer con al menos dos líneas de producción más.

Evaluación económica

Inversión inicial. Comprende la inversión de los equipos, trabajos previos y gastos de operación iniciales.

Depreciación. Se debe al desgaste de los equipos de la inversión inicial, tanto los de la línea de producción, así como los muebles de la oficina.

Cuadro 2. Inversión inicial(miles de pesos) Cuadro 3. Depreciación (miles de pesos)

Concepto	P. Unitario (miles de pesos)	Cantidad	Total (miles de pesos)
Molino de cuchillas	200	1	200
Bandas transportadoras	150	3	450
Hidropulper	1500	2	3000
Tinas de polialuminio	30	2	60
Prensa de polialuminio	200	1	200
Tinas de celulosa	20	3	60
Hidrociclón	50	1	50
Mesa de rodillos	400	1	400
Transportador sin fin	300	1	300
Prensa de celulosa	150	1	150
Lavadora de polialuminio	500	1	500
Molino de polialuminio	350	1	350
Moldes de polialuminio	10	6	60
Prensa caliente	2000	1	2000
Herramientas	200	1	200
Equipos auxiliares	100	1	100
Equipos de oficina	300	1	300
		Total	8380

	Costo Inicial	Meses	Mensual
Molino de cuchillas	200	120	1,67
Bandas transportadoras	150	60	2,50
Hidropulper	1500	120	12,50
Tinas de polialuminio	30	36	0,83
Prensa de polialuminio	200	120	1,67
Tinas de celulosa	20	120	0,17
Hidrociclón	50	120	0,42
Mesa de rodillos	400	120	3,33
Transportador sin fin	300	60	5,00
Prensa de celulosa	150	120	1,25
Lavadora de polialuminio	500	120	4,17
Molino de polialuminio	350	120	2,92
Moldes de polialuminio	10	120	0,08
Prensa caliente	2000	120	16,67
Herramientas	200	60	3,33
Equipos auxiliares	100	60	1,67
Equipos de oficina	300	50	6,00
		Total	64,17

Costos para producir. Considera los costos del material, horas de trabajo de cada personal y la depreciación y servicios de los equipos utilizados en la producción, se muestran en los cuadros 4, 5, 6 y 7.

El costo anual total. Incluye el costo para producir y el costo de administrar, mismos que contienen los cuadros 6 y 7.

Ingresos. Corresponden a la capacidad de producción estimada mensualmente es de 130 toneladas de celulosa y una tonelada en laminas de polialuminio. Por lo que tenemos los siguientes resultados en el cuadro 8.

Cuadro 4. Costos indirectos (miles de pesos)

Concepto	Costo Mensual
Gastos de operación	20
Consumo de energía	50
Renta de las naves	60
Depreciación	64,42
Agua	30
Teléfono	3
Total de gastos indirectos	227,42

Cuadro 5. Costo de mano de obra (miles de pesos)

Concepto	Mensual
Operadores	90
Total de mano de obra	90

Cuadro 6. Costo de producción (miles de pesos)

Concepto	Costo Mensual
Materia prima	350
Mano de obra	90
Costos indirectos	227,42
Total de costos de producción	667,42

Cuadro 7. Costos administrativos (miles de pesos)

Concepto	Costo Mensual
Puestos directivos	60
Secretaria	8
Contador	10
Gastos de operación	5
	83

Cuadro 8. Ingresos (miles de pesos)

Concepto	Ingresos mensual	Unidad
Precio por kg de celulosa	8	pesos
Producción mensual	130	toneladas
Ingreso total por celulosa	1040	miles de pesos
Precio por lamina de aluminio	140	pesos
producción mensual	1	toneladas
Ingreso total por polialuminio	140	miles de pesos
Ingreso total mensual	1180	miles de pesos

Cuadro 9. Costo total (miles de pesos)

Concepto	Costo Mensual
Costo de producción	667,42
Costos administrativos	83
Costo total	750,42

Flujo de caja. De acuerdo a los resultados se tiene una TIR del 60%, es decir la recuperación de la inversión inicial será en menos de dos años de trabajo.

Cuadro 11. Flujo de caja anual (miles de pesos)

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingreso por venta	0	1180,0	1180	1180	1180	1180	1180	1180	1180	1180	1180
Valor residual											118
Retorno capital de trabajo											295
INGRESO TOTAL	0	14160,0									
Inversión	8380										
Costo total (sin depreciación)		8232,0	8232,0	8232,0	8232,0	8232,0	8232,0	8232,0	8232,0	8232,0	8232,0
Depreciaciones		773,0	773,0	773,0	773,0	773,0	773,0	773,0	773,0	773,0	773,0
EGRESOS TOTALES	8380	9005,0									
Utilidad antes de impuestos	-8380,0	5155,0	5155,0	5155,0	5155,0	5155,0	5155,0	5155,0	5155,0	5155,0	5155,0
Impuestos (16%)		824,8	824,8	824,8	824,8	824,8	824,8	824,8	824,8	824,8	824,8
Utilidad despues de impuestos	-8380,0	4330,2	4330,2	4330,2	4330,2	4330,2	4330,2	4330,2	4330,2	4330,2	4330,2
Depreciaciones		773,0	773,0	773,0	773,0	773,0	773,0	773,0	773,0	773,0	773,0
Utilidad Neta	-8380,0	5103,2	5103,2	5103,2	5103,2	5103,2	5103,2	5103,2	5103,2	5103,2	5103,2
Flujo de caja	-8380,0	5103,2	5103,2	5103,2	5103,2	5103,2	5103,2	5103,2	5103,2	5103,2	5103,2

3.5 CONCLUSIONES

La producción de la planta, depende de la demanda del mercado y del material reciclado para su producción, actualmente se tiene un contrato con la empresa de Grupo Corporativo Papelero, con un contrato de 5 años lo cual se puede asegurar la inversión sin problemas. Uno de los cuellos de botella es la elaboración de las pacas de celulos, ya que se requiere tiempo para la

compactación de la celulosa, ya que su capacidad de producción es de 8 pacas por hora. Para el caso del polialuminio el punto crítico es la elaboración de las laminas, debido al tiempo que se debe dar para la fundición del polialuminio.

Es conveniente hacer mejoras a la prensa de celulosa y polialuminio, en su capacidad de procesamiento y a su control, para tener las pacas de celulosa y las laminas de polialuminio de una calidad más homogénea.

3.6 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Góngora L. E. 2009: Coeficientes de transferencia de calor en enfriadores de mineral laterítico a escala piloto. *Minería & Geología*. 25(3): 1-18.
2. INEGI. 2015. Sistema de Cuentas Nacionales de México, Banco de Información Económica. Presidencia de la República. Tercer Informe de Gobierno 2014-2015. Anexo Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos. México 2015.
3. Inche Mitma, Jorge; Vergiú Canto, Jorge; Mavila Hinojoza, Daniel; Godoy Martínez, Manuel; Chung Pinzás, Alfonso; (2004). Diseño y evaluación de una planta de reciclaje de envases Tetra Pak a pequeña escala. *Industrial Data*, julio-diciembre, 7-17.
4. Incropera, F. P. & DAVID P. W. 2002: Fundamentals of Heat and Mass Transfer. John Wiley & Sons, New
5. James, C. A. 2005: The application of uncertainty analysis to cross-Flow Heat Exchanger Performance Predictions, ASME/JSME Thermal Eng. Proc. Int. Symp. on Refined Flow Modelling and Turbulence Measurements, Paris, France, October, 2005.
6. Martínez, M.T., Torres, E., & Soto, J.A. (2004). Evaluación de Intercambiadores de Calor Compactos de Tubos Aletados. *Información tecnológica*, 15(4), 47-54.

7. Quintas Ornelas, Jennifer, López Santos, Raquel. 2010. Estudio de Factibilidad Económica para la instalación de una planta productora de papel reciclado. Instituto Politécnico Nacional. UPIISA.
8. Romero Méndez, Ricardo; Adame, Rafael; Sen, Mihir; (2001). Estudio de los parámetros que afectan la transferencia de calor conjugada en intercambiador de calor de tubos y placas-aleta . *Interciencia*, agosto, 321-326.
9. Terres H., Ortega J. A., Gordon M., Morales J.R., Lizardi A. y Lara A. (2009). Método del Elemento Frontera en el estudio de placas sometidas a temperatura. Memorias de Congreso

4 ANÁLISIS TÉRMICO DE TRES SISTEMAS DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN PLACAS, MEDIANTE ANSYS - CFD

THERMAL ANALYSIS OF THREE HEAT TRANSFER SYSTEMS ON PLATES, USING ANSYS - CFD

Juan Gabriel Ochoa Bijarro¹, Noé Velázquez López², Agustín Ruiz García³,
Carlos A. Villaseñor Perea⁴

¹ Posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua. Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Texcoco, Estado de México, C. P. 56230, México.

^{2, 3, 4} Departamento de Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Texcoco, Estado de México, C. P. 56230, México.

Autor de correspondencia: noe.velazquez@gmail.com

4.1 RESUMEN

El propósito de este trabajo es modelar tres placas térmicas con sistemas de transferencia de calor diferentes, mediante ANSYS-CFD y Transient Thermal, con el objetivo de seleccionar la placa más eficiente, ya que el proceso de prensado térmico en la elaboración del cartón y láminas de polialuminio, es muy costoso debido a la generación y transferencia del calor. Para dicho estudio se usaron placas de acero y cobre, las dimensiones de las placas fueron de 1,2 m x 1,5 m. Las alternativas que se generaron fueron a) Resistencias eléctricas y b) Fluido térmico con placa manufacturada de acero (sin serpentín) y c) Fluido térmico usando serpentín de cobre.

El modelo utiliza ecuaciones diferenciales parciales de continuidad. Las condiciones de frontera fueron la temperaturas de entrada de 300 °C como la temperatura de trabajo (200 – 250°C), además las características de los

materiales como la conducción térmica $W/(m \cdot C)$ y su densidad kg/m^3 . De acuerdo a los resultados obtenidos las tres alternativas pueden alcanzar la temperatura de $200\text{ }^{\circ}C$, y se determina cual es la más eficiente, considerando el tiempo en que alcanza la temperatura final, por lo tanto, el objetivo planteado se cumple al tener que tipo de placa es el más eficiente para transmitir calor.

Palabras claves: Transferencia de calor, placa térmica, intercambiador de calor, prensa caliente, tecnología de reciclado.

Abstract

The purpose of this work is to model three thermal plates with different heat transfer systems, using ANSYS-CFD and Transient Thermal, with the aim of selecting the most efficient plate, since the thermal pressing process in the elaboration of cardboard and sheets made of polyaluminum, it is very expensive due to the generation and transfer of heat. For this study, steel and copper plates were used, the dimensions of the plates were $1.2\text{ m} \times 1.5\text{ m}$. The alternatives that were generated were a) Electric resistances and b) Thermal fluid with manufactured steel plate (without coil) and c) Thermal fluid using copper coil.

The model uses partial differential equations of continuity. The boundary conditions were the inlet temperatures of $300\text{ }^{\circ}C$ as the working temperature ($200 - 250^{\circ}C$), in addition to the characteristics of the materials such as thermal conduction $W / (m \cdot C)$ and their density kg / m^3 . According to the results obtained, the three alternatives can reach a temperature of $200\text{ }^{\circ}C$, and it is determined which is the most efficient, considering the time in which it reaches the final temperature, therefore, the objective set is met by having what type of plate is the most efficient to transmit heat.

Keywords: Heat transfer, hot plate, heat exchanger, hot press, recycling technology

4.2 INTRODUCCIÓN

El reciclado de tetra pack está enfocado principalmente a la producción de celulosa como materia prima de la industria del papel, esta industria en México se generan 3 400 millones de dólares, el cual corresponde al 0,4% al PIB de nuestro país, además del 2% del sector manufacturero (INEGI, 2015, SEMARNAT, 2012).

Dentro del reciclado están las cajas de Tetra Pak, que están compuestas por cartón, polietileno y aluminio, en un 75%, 20% y 5% respectivamente (Inche, 2004). Una tonelada de papel reciclado permite no talar 17 árboles, así mismo se tiene un ahorro de 20 mil litros de agua y 4000 kWh (Quintas y López, 2010).

Una de las máquinas más costosas dentro del proceso de reciclado es la prensa térmica, por su elevado costo de producción de calor ya sea por resistencias o fluidos calientes, además de las pérdidas de calor por fugas, convección o conducción.

Lo anterior se ha identificado como un problema que limita a otros sectores de la sociedad, por lo que se pretende dar solución mediante el estudio detallado del sistema térmico, proponiendo diseños más económicos y más eficientes. En el presente trabajo se tiene el objetivo de modelar tres placas térmicas con diferente transferencia de calor, con el fin de seleccionar la más eficiente.

El problema de la modelación radica en que se desconoce como se comporta la transferencia térmica en las fronteras del problema (López, 2013). Los trabajos de investigación que utilizan CFD para simular la transferencia térmica en intercambiadores de calor o placas térmicas son limitados (Ahmed, 2011).

Los modelos desarrollados en CFD parten de un elemento finito para analizar las condiciones de sus elementos, tales como la velocidad, presión, densidad, viscosidad, conductividad térmica (Alvis, 2010, Ahmed, 2011).

Terres (2009), hace una comparación entre dos métodos de solución, el Método del Elemento Frontera (MEF) y el Método del Elemento Finito (MEFI), aplicando estos métodos al caso de una placa sometida a condiciones térmicas diferenciadas, por el método de conducción, los resultados encontrados con el MEF son muy aproximados a los encontrados con MEFI, la variación es de 0.3 °C, lo cual se convierte en una alternativa para la solución en la transferencia de calor.

James 2005 y Góngora 2009, reportan técnicas experimentales usadas para obtener los coeficientes térmicos y su dependencia, para aplicaciones diferentes de los intercambiadores de calor. Por otro lado, Martínez, 2004 y Romero, 2001, reportan un incremento en el número de Reynolds, tanto en la evaluación de intercambiadores de calor compactos

4.3 MATERIALES Y METODOS

Para este trabajo se utilizaron placas de acero y placas de cobre de 5 mm, tubería de cobre de 25.4 mm y como fluido térmico se utilizó agua.

Se diseñaron diferentes placas con diferentes sistemas de transferencia de calor, a continuación, se presentan las alternativas que se analizarán mediante el programa ANSYS-CFD y ANSYS-Transient Thermal.

Alternativa 1: Usando resistencia en la placa

Se plantea una lámina de cobre de 5 mm, con dimensiones de 1200 mm x 1500 mm con perforaciones cada 20 cm para colocar sus resistencias y así transmita calor. Se realizó un análisis preliminar con un segmento, es decir con una lámina de 20 x 25 cm, con una perforación en el centro, con el fin de ver el cubrimiento del calor en el segmento.

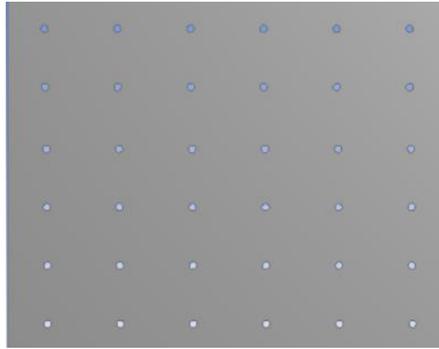


Figura 4.1. Placa con perforaciones de cobre.

Alternativa 2: Usando fluido caliente sin serpentín de cobre.

Se diseñó una placa con 5 divisiones internas, para que de manera interna circulara fluido térmico. En la figura 4.2 se muestra una placa con salientes en forma de sig sag, así se obliga al fluido a circular por toda la placa. Para hacer esta configuración, se usó una lámina de 5 mm, soldando las paredes y las costillas de $\frac{1}{2}$ pulgada de gruesa por 1 pulgada de altura, cuidando que las paredes queden bien soldadas de tal forma que tenga fugas el fluido.

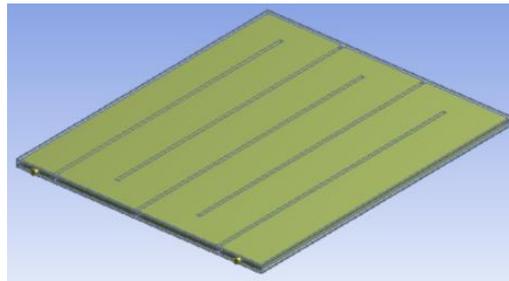


Figura 4.2. Placa manufacturada con costillas para circulación del flujo.

Alternativa 3: Usando fluido caliente con serpentín de cobre.

Dentro de la segunda alternativa de usar fluido, se tiene la opción de usar la tubería al estilo serpentina, dentro de las placas de carga, para ello se tomó una muestra o un segmento de lo que sería la placa con tubería al interior. En la figura 4.3 se muestra la placa con un serpentín de cobre de manera interna.

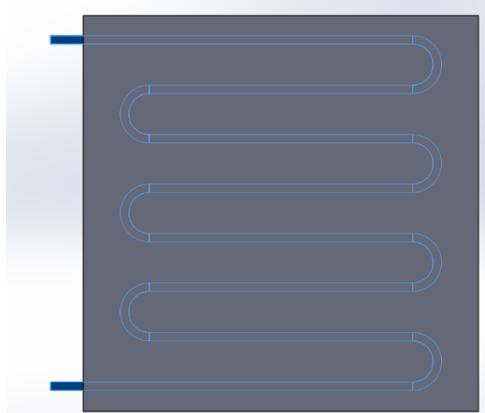


Figura 4.3. Ensamble de la placa con el serpentín.

Ecuación Diferencial para la conducción de calor

Considerando la configuración entre la placa térmica y la celulosa (en su contenedor), se tiene un diagrama representativo como se muestra en la figura 4.4 (Incropera, 2002).

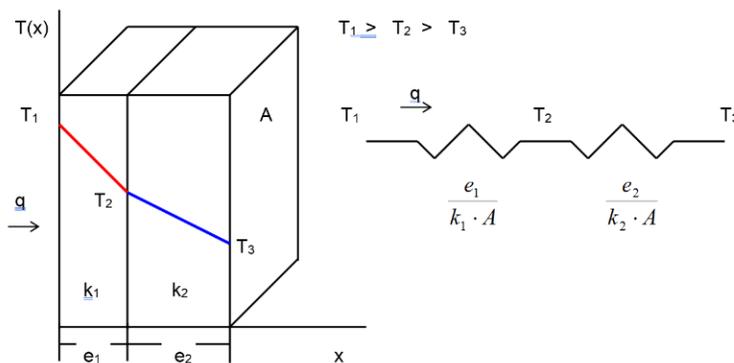


Figura 4.4. Diagrama de temperaturas, conducción con dos placas.

Encontramos la ecuación que se resiste al cambio de temperatura, considerando los coeficientes de cada material de las placas

$$R_{eq} = \sum_{i=1}^n R_i \quad R_{eq} = \frac{e_1}{k_1 \cdot A} + \frac{e_2}{k_2 \cdot A} = \frac{1}{A} \cdot \left[\frac{e_1 \cdot k_2 + e_2 \cdot k_1}{k_1 \cdot k_2} \right]$$

$$q = \frac{T_3 - T_1}{R_{eq}} = \frac{A \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot (T_3 - T_1)}{e_1 \cdot k_2 + e_2 \cdot k_1} = \frac{T_2 - T_1}{R_1} = \frac{(T_2 - T_1)}{\frac{e_1}{k_1 \cdot A}} = \frac{T_3 - T_2}{R_2} = \frac{(T_2 - T_2)}{\frac{e_2}{k_2 \cdot A}}$$

Considerando los signos y considerando un equilibrio térmico se tiene:

$$q_x + \Delta E = \Delta U + q_{x+dx}$$

El calor que adquiere el elemento es: $q_x = -k \cdot A \cdot \frac{\partial T}{\partial x}$

El calor que se genera internamente es: $\Delta E = \dot{q} \cdot A \cdot dx$

El cambio de energía interna es: $\Delta U = \rho \cdot C_v \cdot A \cdot dx \cdot \frac{\partial T}{\partial t}$

El calor que sale del elemento es:

$$q_{x+dx} = - \left(k \cdot A \cdot \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \cdot \left(k \cdot A \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right) dx \right)$$

Se considera que el material sólido, cuenta con la conductividad constante e independiente, en toda dirección que fluya el calor, por lo que la ecuación de Fourier en los tres ejes x, y y z, es de la siguiente manera:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{q}{k} = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\partial T}{\partial t}$$

En notación simplificada la ecuación anterior queda como sigue:

$$\nabla^2 T + \frac{\dot{q}}{k} = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\partial T}{\partial t}$$

Por lo tanto, este es el modelo que se utiliza para el desarrollo del análisis térmico en placas. En caso particular tenemos dos sistemas, uno que trabaja netamente con conducción que es por medio de las resistencias, para calentar la placa de compresión. La segunda opción es mediante fluido, para el caso igual tenemos dos casos, usando tubería interna de la placa y usar una placa manufacturada para que circule el fluido caliente de manera interna.

4.4 RESULTADOS

Alternativa 1

En la figura 4.5, se muestra la distribución del calor en toda la placa, mediante las 36 resistencias colocadas en la superficie de la placa.

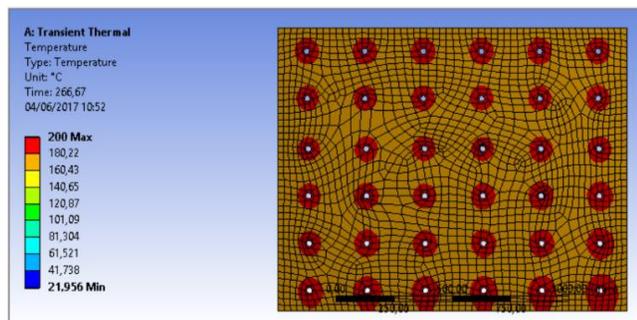


Figura 4.5. Aplicación de temperatura sobre la placa

En la figura 4.6 se observa el resultado del estudio de la placa, mostrando a la vez la gráfica de comportamiento del calor transmitido, la temperatura aplicada fue de 200°C

Se puede observar que cerca de los 7 min ya alcanzó una temperatura de 187°C, por lo que se ha mostrado muy eficiente la transmisión de calor.

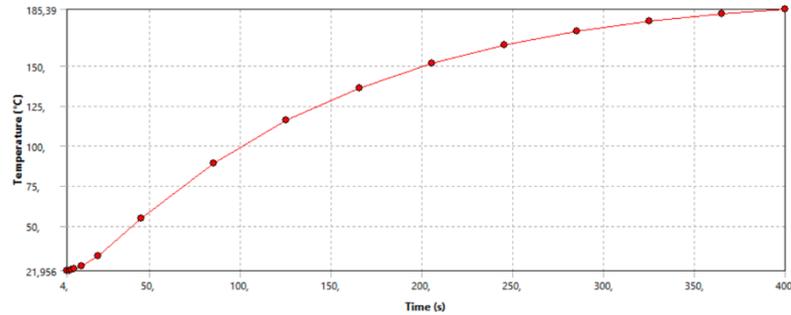


Figura 4.6. Comportamiento de la temperatura

Alternativa 2

Para la alternativa 2 se sometió a analizar el calentamiento de la placa mediante fluido, el cual se tiene que tener de manera paralela el sistema de calentamiento del mismo fluido. En la figura 4.7, se puede ver el comportamiento de la temperatura durante el proceso.

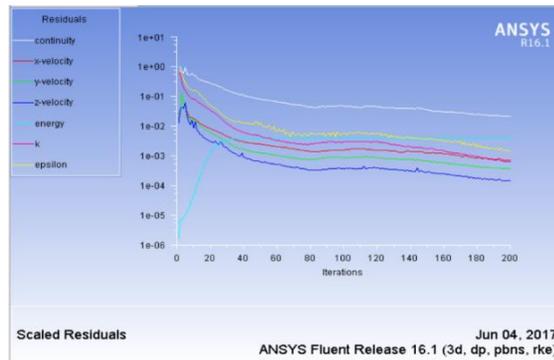


Figura 4.7. Comportamiento de la temperatura

La temperatura que alcanza la placa de acero es 200 °C, lo cual se considera aceptable, sin embargo, la temperatura a la que debe alcanzar es de 300°C, lo cual hace un sistema no eficiente.

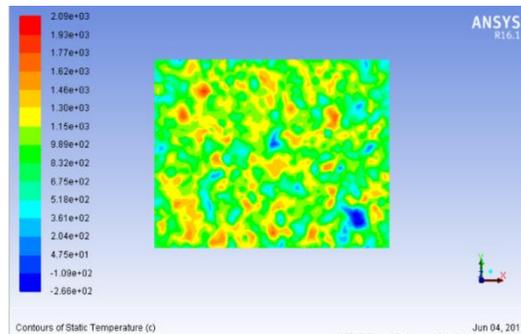


Figura 4.8. Gráfico de la temperatura en la lámina

En la figura 4.9, se muestra un diagrama de cómo circula el fluido a la presión o velocidad inicial.

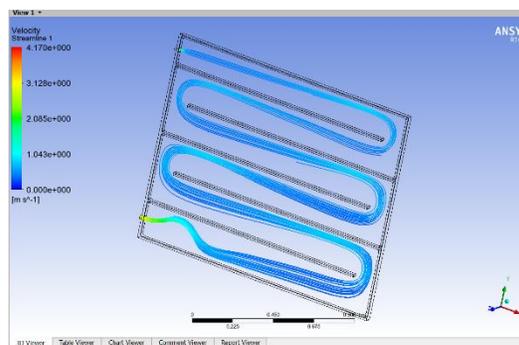


Figura 4.9. Gráfico de la velocidad del flujo en la lámina

Alternativa 3

En este caso se tuvo problemas con el mallado ya que se forman cavidades que deben cubrirse como sólidos y después especificar el material, el mallado quedo de la siguiente forma (figura 4.10):

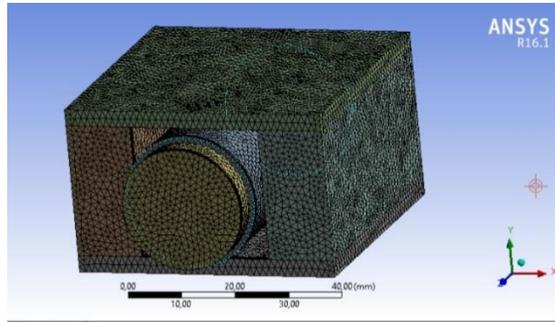


Figura 4.10. Mallado del ensamble.

En la figura 4.11, se muestra la gráfica de comportamiento al aplicar el calor por medio de la serpentina interna, también se muestra cual es el calentamiento del exterior, que viene siendo las placas exteriores.

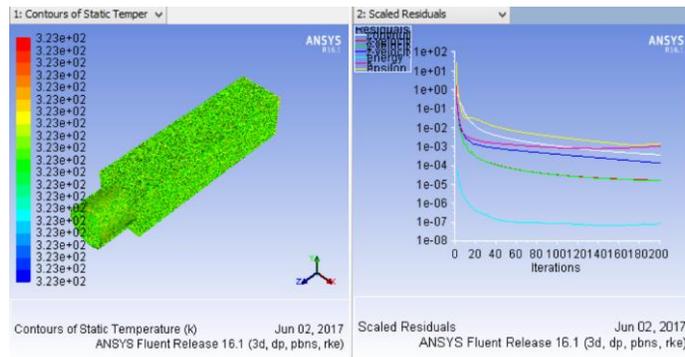


Figura 4.11. Comportamiento de la temperatura en la placa

Los resultados indican que las condiciones y la configuración que se le da a la placa influyen directamente en la distribución térmica en la placa. Al comparar los resultados obtenidos entre las dos alternativas, es decir entre el usar resistencias eléctricas y usar flujo, nos damos cuenta que es más eficiente la primera alternativa, ya que alcanza hasta un 96% de eficiencia comparado con un 66 % que logra el sistema con fluido.

Además, la rapidez con que se llega a la temperatura máxima es mayor en el sistema de resistencias.

De la misma manera la alternativa que menos eficiente fue la alternativa 3, es decir el ensamble de la tubería dentro de la placa de acero, ya que son más capas por las cuales debe transferirse la temperatura.

Cabe señalar que se manejaron coeficientes de manera constantes como el No. de Reynolds a diferencia de lo que reporta Martínez (2004) y Romero (2001), Por otro lado, Ahmed (2011) reporta en su modelo la variación de coeficientes, de manera experimental, para nuestro caso los resultados obtenidos reportan un flujo térmico de $0,008 \text{ W/mm}^2$, un coeficiente convectivo de $5,0 \times 10^{-7} \text{ W/mm}^2$, para el caso del cobre se utilizó una conductividad térmica de $0,4 \text{ W/mm}$ y una densidad de $8.93 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$, velocidad del fluido 0.3 m/s .

Es cierto que el problema de la modelación radica en que se desconoce el comportamiento térmico en las fronteras del problema (López, 2013). Sin embargo, gracias al uso de la herramienta computacional ANSYS, se pueden estimar cada comportamiento de la transferencia de calor, haciendo pruebas con diferentes coeficientes y condiciones de frontera

4.5 CONCLUSIONES

Dentro de las tres alternativas, se manejaron diferentes métodos de solución, en la primera se usó el método de transitorio térmico y en las otras dos se usó Fluent, el primero es más sencillo de aplicar, ya que solo hay que definir las propiedades de los materiales que se aplican y las condiciones de frontera. Para la segunda alternativa se usó Fluent el cual implica más parámetros y condiciones, ya que el manejo de fluidos tiene su grado de complicaciones, pero en general se manejó bajo un sistema básico con turbulencia con el coeficiente k-epsilon y con condiciones iniciales de temperatura, velocidad y tasa de flujo térmico.

Por lo tanto, el objetivo planteado se cumple al tener claramente que sistema y que tipo de placa es el más eficiente para transmitir calor, en este caso la alternativa 1: placa de cobre con resistencias cada 20 cm.

4.6 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Ahmed, F. y Mahmoud Sh. "Numerical analysis of fin-tube plate heat exchanger by using CFD technique. ARPN". Journal of Engineering and Applied Sciences. 2011, vol. 6, nº.7, p. 1-12. ISSN 1819-6608.
2. Alvis Armando, Caicedo Issac y Peña Pierre. (2010). Determinación del Coeficiente de Transferencia de Calor a Través de una Aplicación de Computadoras. Información Tecnológica. Vol 21 (5), 13-20 (2010).
3. Amala, M., kum, S. y Muthuraman, S. "The characteristics of brazed plate heat exchangers with different chevron angles". Journal of Engineering and Applied Sciences. 2009, vol. 4, nº.10, p. 19-26. ISSN 1819 - 6608.
4. GÓNGORA L. E. 2009: Coeficientes de transferencia de calor en enfriadores de mineral laterítico a escala piloto. Minería & Geología. 25(3): 1-18.
5. INEGI. 2015. Sistema de Cuentas Nacionales de México, Banco de Información Económica. Presidencia de la República. Tercer Informe de Gobierno 2014-2015. Anexo Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos. México 2015.
6. Inche Mitma, Jorge; Vergiú Canto, Jorge; Mavila Hinojoza, Daniel; Godoy Martínez, Manuel; Chung Pinzás, Alfonso; (2004). Diseño y evaluación de una planta de reciclaje de envases Tetra Pak a pequeña escala. *Industrial Data*, julio-diciembre, 7-17.
7. INCROPERA, F. P. & DAVID P. W. 2002: Fundamentals of Heat and Mass Transfer. John Wiley & Sons, New
8. JAMES, C. A. 2005: The application of uncertainty analysis to cross-Flow Heat Exchanger Performance Predictions, ASME/JSME Thermal Eng. Proc. Int. Symp. on Refined Flow Modelling and Turbulence Measurements, Paris, France, October, 2005.
9. Martínez, M.T., Torres, E., & Soto, J.A. (2004). Evaluación de Intercambiadores de Calor Compactos de Tubos Aletados. *Información tecnológica*, 15(4), 47-54.

10. Quintas Ornelas, Jennifer, López Santos, Raquel. 2010. Estudio de Factibilidad Económica para la instalación de una planta productora de papel reciclado. Instituto Politécnico Nacional. UPIISA.
11. Romero Méndez, Ricardo; Adame, Rafael; Sen, Mihir; (2001). Estudio de los parámetros que afectan la transferencia de calor conjugada en intercambiador de calor de tubos y placas-aleta . *Interciencia*, agosto, 321-326.
12. Semarnat. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. Edición 2012. México. 2013.
13. Terres H., Ortega J. A., Gordon M., Morales J.R., Lizardi A. y Lara A. (2009). Método del Elemento Frontera en el estudio de placas sometidas a temperatura. Memorias de Congreso

5 DISEÑO DE UNA PRENSA CALIENTE PARA PROCESAR LÁMINAS DE POLIALUMINIO

DESIGN OF A HOT PRESS FOR PROCESSING POLYALUMINUM SHEETS

Juan Gabriel Ochoa Bijarro¹, Noé Velázquez López², Agustín Ruiz García³,
Carlos A. Villaseñor Perea⁴

¹ Posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua. Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Texcoco, Estado de México, C. P. 56230, México.

^{2, 3, 4} Departamento de Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Texcoco, Estado de México, C. P. 56230, México.

Autor de correspondencia: noe.velazquez@gmail.com

5.1 RESUMEN

El crecimiento urbano ha causado un incremento en la generación de basura, y con ello la necesidad de mejorar el manejo de la misma, en donde se ha encontrado el beneficio del reciclado del tetra pack, entre otros (Aguilar, 2010). El tetra pack está constituido por cartón, polietileno y aluminio, en 75%, 20% y 5% respectivamente (Inche, 2004).

Este trabajo de investigación muestra el diseño de una prensa hidráulica térmica para elaborar placas de polialuminio a partir de material reciclado, donde se efectúa un proceso de transferencia de calor homogéneo, utilizando placa de aluminio, resistencia eléctrica conectadas a la corriente directa y controlada mediante Arduino. El sistema hidráulico tiene un motor eléctrico de 2.5 hp, bomba hidráulica de 30.7 L/min, un cilindro doble efecto de 44,45 mm de diámetro y un depósito de 40 litros.

Se obtiene una prensa hidráulica con una capacidad de 12 toneladas y un sistema térmico que alcanza los 200 °C, es importante mencionar que los mejores resultados están en los 160 °C y una carga de 8,500 kg, por lo tanto la prensa puede trabajar eficientemente, sin tener deformaciones estructurales.

Palabras claves: Diseño, Transferencia de calor, placa térmica, prensa caliente, tecnología de reciclado.

Abstract

Urban growth has caused an increase in the generation of garbage, and with it the need to improve its management, where the benefit of recycling the tetra pack has been found, among others (Aguilar, 2010). The tetra pack is made up of cardboard, polyethylene and aluminum, in 75%, 20% and 5% respectively (Inche, 2004).

This research work shows the design of a thermal hydraulic press to make polyaluminium plates from recycled material, where a homogeneous heat transfer process is carried out, using aluminum plate, electrical resistance connected to direct current and controlled by Arduino . The hydraulic system has a 2.5 hp electric motor, a 30.7 L / min hydraulic pump, a 44.45 mm diameter double-acting cylinder and a 40-liter tank.

A hydraulic press is obtained with a capacity of 12 tons and a thermal system that reaches 200 °C, it is important to mention that the best results are at 160 °C and a load of 8,500 kg, therefore the press can work efficiently, without have structural deformations.

Keywords: Design, Heat transfer, hot plate, hot press, recycling technology.

5.2 INTRODUCCIÓN

El reciclado de tetra pack está enfocado principalmente a la producción de celulosa como materia prima de la industria del papel, esta industria en México se generan 3 400 millones de dólares, el cual corresponde al 0,4% al PIB de nuestro país, además del 2% del sector manufacturero (INEGI, 2015, SEMARNAT, 2012). Dentro del reciclado están las cajas de Tetra Pak, que están compuestas por cartón, polietileno y aluminio, en un 75%, 20% y 5% respectivamente (Inche, 2004). Una tonelada de papel reciclado permite no talar 17 árboles, así mismo se tiene un ahorro de 20 mil litros de agua y 4000 kWh (Quintas y López, 2010).

Una de las máquinas más costosas dentro del proceso de reciclado es la prensa térmica, por su elevado costo de producción de calor ya sea por resistencias o fluidos calientes, además de las pérdidas de calor por fugas, convección o conducción. Lo anterior se ha identificado como un problema que limita a otros sectores de la sociedad, por lo que se pretende dar solución mediante el estudio detallado del sistema térmico, proponiendo diseños más económicos y más eficientes. En el presente trabajo se tiene el objetivo de diseñar una prensa caliente que genera laminas de diferentes espesores, con propiedades de acuerdo al uso que tendrían dichas láminas.

El problema de la modelación radica en que se desconoce como actúa la transferencia térmica en las fronteras del problema (López, 2013). Los trabajos de investigación que utilizan CFD para simular la transferencia térmica en intercambiadores de calor o placas térmicas son limitados (Ahmed, 2011).

El diseño propuesta toma en cuenta principalmente el sistema térmico y la parte estructural. James 2005 y Góngora 2009, reportan técnicas experimentales usadas para obtener los coeficientes térmicos y su dependencia, para diferentes aplicaciones de los intercambiadores de calor. Por otro lado, Martínez, 2004 y Romero, 2001, reportan un incremento en el número de Reynolds, tanto en la evaluación de intercambiadores de calor compactos

5.3 MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de campo se realizó en un taller de herrería en Tepeji del Río, Hidalgo. La metodología que se utiliza esta basada en la teoría de diseño de maquinas (diseño conceptual, construcción y evaluación de la maquina). Los materiales son completamente comerciales que se pueden encontrar en el mercado local. Para el diseño de la prensa se tomaron algunas consideraciones del proceso de elaboración de las placas de polialuminio, tales como:

- Carga mínima de 12,000 kg
- Recorrido mínimo del vátago del cilindro hidráulico de 400 mm
- Materiales de fácil acceso en el mercado
- Fácil operación de la prensa
- Mantenimiento mínimo
- Control de temperatura y control de carga

Polialuminio

La producción de polialuminio se realiza diariamente, con una producción de 20 toneladas a la semana, sin embargo, se ha propuesto adquirir el polialuminio de la empresa “GRUPO INDUSTRIAL PLACOVE SAPI DE C.V.” con dirección: parque industrial exportec, Toluca Estado de México, tal empresa cuenta con material adecuado para fabricación de piezas terminadas.

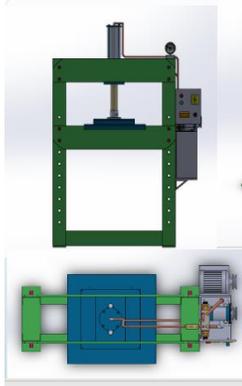
Se caracterizó el polialuminio que se obtiene en la empresa, teniendo el peso por volumen, determinando principalmente el tamaño del polialuminio, la humedad y la contaminación del material.

El tamaño del polialuminio supera el promedio de los 5 cm, lo cual no es adecuado para la elaboración de piezas o laminas terminadas, debe ser menos a 2 cm, por lo tanto debe haber un picado del material. Por otro lado la humedad que tiene el producto producido en la planta supera el 20%, lo cual se considera alto y sobre todo la contaminación con la que sale, tiene mas del 20 % de contaminación principalmente de celulosa cruda.

5.4 RESULTADOS Y DISCUSIONES

Prensa hidráulica

Se cuenta con los diseños detallados de la estructura de la prensa hidráulica (figura 5.1). Se utilizó acero ASTM A36, en PTR, canales de 4 in, placa de ½ in y angulos de 3x3x3/8 in.



a) Diseño de la prensa



b) Estructura de la prensa



c) Unidad de potencia

Figura 5.1. Diseño de la prensa hidráulica.

Unidad de potencia hidráulica: motor eléctrico de 2,5 hp trifásico, mangueras hidráulicas de alta presión 3600 psi, una bomba hidráulica de 30.7 L/min a 1600 rpm y tiene una presión máxima de 250 bar (3625 psi), cuenta con una válvula reguladora de presión, un manómetro de hasta 4000 psi, una válvula de control manual (figura 5.2).



A)



B)



C)



D)

Figura 5.2. A) Unidad de potencia, B) Válvula de control de presión, C) Válvula de control, D) Manómetro de 4000 psi

Plancha caliente (sistema eléctrico)

La plancha caliente consta de una placa de 0,40x0,40 m (figura 5.3), en aluminio, esto para evaluar previamente la conductividad térmica, es desmontable

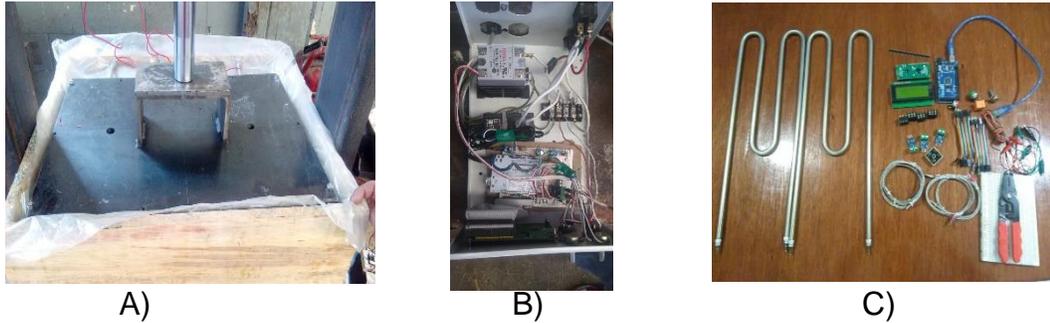


Figura 5.3. A) Plancha térmica, B) Controlador de temperatura, C) Resistencias y termopares

Sistema electrónico para el control de temperatura de la prensa

Este sistema fue desarrollado utilizando la plataforma de desarrollo Arduino “open source” de hardware y software libre (Figura 1a). Utiliza la placa Atmega2560 como unidad de procesamiento y control; una pantalla LCD 20x4 que permite visualizar el menú de opciones, mediciones de temperatura y parámetros del control; un teclado matricial para la selección de las opciones o la implementación de instrucciones; tres sensores termopar tipo K con sus respectivos módulos MAX6675 para la medición de temperatura; un adaptador SD-CARD para el almacenamiento de la información de interés; como unidad de potencia el uso de una fuente de voltaje de 10 amperes a 24 VCD; un transistor de potencia MJ11032 para la alimentación de la resistencia que genera el calor.

El circuito electrónico de control permite desplegar un menú principal, en el cual se puede seleccionar la temperatura de referencia o deseada, las constantes del control PID (k_p , k_d y k_i) y tiempo que se desea mantener el control de temperatura; se puede activar o desactivar el control de temperatura, así como el tipo de control deseado, ya sea por tiempo indefinido en este caso se despliega la información en la LCD del tiempo transcurrido desde que se inició el control o

por tiempo definido en el cual se establece la duración del periodo de control de temperatura y se despliega en la LCD la información del tiempo faltante en el cual se mantendrán activas las resistencias y el control de temperatura.

En la figura 5.4 se muestra el circuito interior que se ha generado para el control de la temperatura.

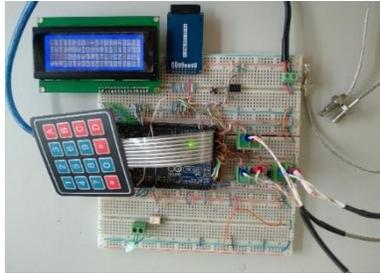


Figura 5.4. Circuito electrónico para el control de temperatura

Pruebas de la prensa térmica

Las pruebas consistieron en evaluar el sistema de control del sistema térmico, el cual se tiene que alcanza una temperatura de 200 °C, y la puede mantener el tiempo necesario, para las cargas del sistema hidráulico, se tomaron datos sobre el recorrido del vástago, el cual tiene una carrera de 380 mm, el tiempo que tarda en recorrer esta distancia el vástago, es de 2.3 s.

La carga reportada del sistema hidráulico es de 11,900 kg, sin embargo las pruebas indican que en solamente se requieren 8,500 kg con una temperatura de 160°C para elaborar las laminas de polialuminio, esto aplicando la carga durante 20 min.

5.5 CONCLUSIONES

Se fabricó la prensa hidráulica caliente, con accesorios electrónicos para el control de temperatura y el control de la carga aplicada, los resultados son aceptables para la elaboración de placas de polialuminio, sin embargo aun hace falta realizar pruebas en diferentes condiciones, los resultados que se presentaron durante las pruebas indican que con una carga de 8,500 kg durante 20 min, se pueden obtener buenos resultados.

Es importante mencionar que la prensa tiene un factor que da seguridad durante su uso, ya que su capacidad máxima está por encima de lo requerido, se ha puesto interés en los resultados que se han obtenido del presente trabajo, para hacer las pruebas correspondientes a los productos de polialuminio, es de considerarse que además de las pruebas físicas programadas al polialuminio procesado, se pretende hacer moldes ya determinados para el procesamiento del producto.

5.6 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Aguilar-Virgen, Quetzalli; Armijo-de Vega, Carolina; Taboada-González, Paul; Aguilar, Xochitl M.; (2010). Potencial de recuperación de residuos sólidos domésticos dispuestos en un relleno sanitario. *Revista de Ingeniería*, Julio-Diciembre, 16-27.
2. Ahmed, F. y Mahmoud Sh. "Numerical analysis of fin-tube plate heat exchanger by using CFD technique. ARPN". *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2011, vol. 6, nº.7, p. 1-12. ISSN 1819-6608.
3. Alvis Armando, Caicedo Issac y Peña Pierre. (2010). Determinación del Coeficiente de Transferencia de Calor a Través de una Aplicación de Computadoras. *Información Tecnológica*. Vol 21 (5), 13-20 (2010).
4. INEGI. 2015. Sistema de Cuentas Nacionales de México, Banco de Información Económica. Presidencia de la República. Tercer Informe de Gobierno 2014-2015. Anexo Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos. México 2015.
5. JAMES, C. A. 2005: The application of uncertainty analysis to cross-Flow Heat Exchanger Performance Predictions, ASME/JSME Thermal Eng. Proc. Int. Symp. on Refined Flow Modelling and Turbulence Measurements, Paris, France, October, 2005.

6. Martínez, M.T., Torres, E., & Soto, J.A. (2004). Evaluación de Intercambiadores de Calor Compactos de Tubos Aletados. *Información tecnológica*, 15(4), 47-54.
7. Quintas Ornelas, Jennifer, López Santos, Raquel. 2010. Estudio de Factibilidad Económica para la instalación de una planta productora de papel reciclado. Instituto Politécnico Nacional. UPIISA.
8. Romero Méndez, Ricardo; Adame, Rafael; Sen, Mihir; (2001). Estudio de los parámetros que afectan la transferencia de calor conjugada en intercambiador de calor de tubos y placas-aleta . *Interciencia*, agosto, 321-326.
9. Semarnat. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. Edición 2012. México. 2013.
10. Torres Tamayo, Enrique; Quintana Charlot, Luís Eduardo; Vega Árias, Orlando; Retirado Mediaceja, Yoalbys; (2011). Coeficientes de transferencia de calor y pérdida de eficiencia en intercambiadores de calor de placas durante el enfriamiento del licor amoniacal. *Minería y Geología*, Abril-Junio, 67-83