

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE MOLDURA EN LAS
MAQUINAS FORMADORAS DE ENVASES DE LA EMPRESA O-I PELDAR

DANIEL RINCON LOPERA

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA
AREA PROYECTOS
MEDELLIN
2008

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE MOLDURA EN LAS
MAQUINAS FORMADORAS DE ENVASES DE LA EMPRESA O-I PELDAR

DANIEL RINCON LOPERA

Proyecto de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico

Asesor:

Juan santiago villegas lopez

Ingeniero mecánico

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA
AREA PROYECTOS
MEDELLIN
2008

AGRADECIMIENTOS

A la empresa O-I PELDAR que me abrió sus puertas y me dio la oportunidad de realizar el proyecto. A toda la gente dentro de ésta que me ayudo, y prestó sus servicios durante todo el tiempo de ejecución del mismo.

A mi asesor Juan Santiago Villegas, que siempre estuvo presente durante el desarrollo del proyecto, orientándome y aconsejándome.

A mis padres por su amor, motivación y apoyo, que me han dado siempre.

Y a todas las personas que hicieron posible la ejecución de éste proyecto

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	11
1 OBJETIVOS	12
1.1 GENERAL	12
1.2 ESPECIFICOS	12
2 LA EMPRESA	14
2.1 HISTORIA	15
2.2 EL VIDRIO	16
2.3 CICLO PRODUCTIVO DE O-I PELDAR	17
2.3.1 Materias Primas	17
2.3.2 Recepción y almacenamiento de materias primas	20
2.3.3 Mezcla	21
2.3.4 Horno	23
2.3.5 Formación	25
2.3.6 Recocido	29
2.3.7 Inspección	30
2.3.8 Empaque	31
3 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE MOLDURA	34
4 FALENCIAS DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE MOLDURA	40

5	POSIBLES SOLUCIONES A LOS PROBLEMAS IDENTIFICADOS DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	46
5.1	DOBLE TUBO	47
5.2	CARCASA Y TUBOS	47
5.3	FLUJO CRUZADO	48
5.4	COMPACTO (PLACAS)	49
6	EVALUACION DE ALTERNATIVAS	51
6.1	INTERCAMBIADOR DE DOBLE TUBO	51
6.2	INTERCAMBIADOR DE CARCASA Y TUBOS	51
6.3	INTERCAMBIADOR DE FLUJO CRUZADO	52
6.4	INTERCAMBIADOR COMPACTO (PLACAS)	52
7	MATRIZ DE EVALUACION	53
8	MONTAJE	54
9	ANALISIS TERMICO DEL INTERCAMBIADOR DE FLUJO CRUZADO	60
10	VALIDACION DE LA MEJORA DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE MOLDURA	67
11	NUEVAS VIAS DE INVESTIGACION	69
	CONCLUSIONES	73
	RECOMENDACIONES	75
	BIBLIOGRAFIA	76
	REFERENCIAS DE INTERNET	77
	ANEXOS	79
	ANEXO 1. PLANOS DEL DISEÑO DE LAS TRANSICIONES VENTILADOR-INTERCAMBIADOR E INTERCAMBIADOR-MANIFOLD	80

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Tabla porcentual materia prima	18
Tabla 2. Tabla porcentual composición del vidrio	18
Tabla 3. Reducción de temperatura en el cuarto de ventiladores después de modificación	40
Tabla 4. Matriz de evaluación de soluciones	53
Tabla 5. Validación de la mejora	67

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ciclo Productivo O-I PELDAR	17
Figura 2. Recepción y almacenamiento de materias primas	21
Figura 3. Distribución de la mezcla a tolva de hornos	23
Figura 4. Horno O-I PELDAR	24
Figura 5. Hornos y máquinas planta Envigado	26
Figura 6. Proceso de formación del envase	28
Figura 7. Archa, Conveyor, Cross y Stacker	30
Figura 8. Cuarto de Ventiladores de la empresa O-I PELDAR	34
Figura 9. Manifold máquina formadora	36
Figura 10. Ubicación de rociadores en el cuarto de ventiladores	39
Figura 11. Intercambiador de flujo paralelo y contracorriente	47
Figura 12. Intercambiador de carcasa y tubo	48
Figura 13. Intercambiador de flujo cruzado	49
Figura 14. Intercambiador de calor compacto (Placas)	50
Figura 15. Diseño de la ubicación del intercambiador de calor	57
Figura 16. Condiciones del intercambiador de calor	61
Figura 17. Curva de Temperatura	61
Figura 18. Efectividad de un intercambiador de flujo cruzado con ambos fluidos sin mezclar	66
Figura 19. Funcionamiento de un chiller	70

LISTA DE FOTOGRAFIAS

	Pág.
Fotografía 1. Toma aérea de la planta de Envigado.	16
Fotografía 2. Máquina FP, Inspección automática	31
Fotografía 3. Paletizadora	32
Fotografía 4. Máquina Flejadora	33
Fotografía 5. Ventilador centrifugo de enfriamiento de moldura de O-I PELDAR	35
Fotografía 6. Entradas de Aire a la Máquina Formadora	36
Fotografía 7. Cajón de Sección Individual	37
Fotografía 8. Rociador para aspersion de agua	38
Fotografía 9. Rociadores directos al ventilador	39
Fotografía 10. Corrosión en partes del sistema de enfriamiento	42
Fotografía 11. Problemas que afectan la seguridad del trabajador	43
Fotografía 12. Mecanismos de embielado y ejes estriados afectados por la humedad del aire	45
Fotografía 13. Intercambiador de Calor para el montaje	55
Fotografía 14. Situación inicial del montaje	56
Fotografía 15. Diseño de deflectores en las transiciones	58
Fotografía 16. Montaje final del intercambiador de calor	59
Fotografía 17. Antes y después del montaje	68

LISTA DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1. Balance de energía del Flujo caliente y frío	60
Ecuación 2. Relación q con Capacidad calorífica	62
Ecuación 3. Cantidad de calor con el método de LMTD (Logarithmic Mean Temperature Difference)	63
Ecuación 4. LMTD	63
Ecuación 5. Coeficiente total de transferencia de calor	64
Ecuación 6. Eficiencia de un intercambiador	64
Ecuación 7. Flujo máximo de calor	65
Ecuación 8. NTU (Number of Transfer Units)	65

INTRODUCCION

El proyecto se desarrolla en la empresa O-I PELDAR, la principal empresa de vidrio en Colombia, la cual es filial de la Owens-Illinois, la productora de vidrio más grande del mundo. O-I PELDAR fabrica tres líneas de productos: Envases, Vidrio Plano y Cristalería para el hogar. Para ello cuenta con cuatro plantas de producción: Cogua, Soacha, Envigado y Buga.

En la planta de Envigado se realiza la producción de envases de vidrio, este proceso productivo consta de seis pasos: Fundición del vidrio, Formación del envase, Acondicionamiento del envase, Tratamiento de superficie, Inspección automática y Embalaje.

Este proyecto se realiza en la fase de formación de envases, este surge al tratar de optimizar el sistema de enfriamiento de moldura de las máquinas formadoras, para dar solución a los problemas del sistema de enfriamiento actual, el cual funciona por medio de aspersion de agua, volviendo el ambiente inadecuado para el funcionamiento optimo de las máquinas formadoras.

El sistema de enfriamiento de moldura hace parte de la fase de formación del envase, y es de suma importancia debido a que, del molde depende que el envase tome la forma requerida, asegurando así un crecimiento en la eficiencia de producción, permitiendo lograr un mejor desempeño, rentabilidad y de esta manera asegurar su permanencia y liderazgo en un mercado cada día más globalizado y exigente.

1 OBJETIVOS

1.1 GENERAL

Construir un prototipo funcional que busque mejorar las condiciones de enfriamiento de moldura del proceso de formación de O-I PELDAR, para obtener un envase sin defectos, y la buena operación de la máquina formadora.

1.2 ESPECIFICOS

Objetivo 1:

- Describir el proceso productivo de la empresa O-I PELDAR, para conocer paso a paso como es la formación de envases de vidrio.

Objetivo 2:

- Realizar un diagnóstico del sistema de enfriamiento de moldura de las máquinas formadoras de envases, para conocer como es el funcionamiento y saber cuál es la importancia de este dentro del proceso de formación.

Objetivo 3:

- Identificar las falencias que tiene el sistema de enfriamiento de moldura existente y las consecuencias que traen éstas con el fin de corregirlas y así optimizar el sistema de enfriamiento.

Objetivo 4:

- Desarrollar un portafolio de posibles soluciones a los problemas identificados en el sistema de enfriamiento de O-I PELDAR

Objetivo 5:

- Seleccionar la solución más adecuada para optimizar el sistema de enfriamiento según las condiciones de la empresa.

Objetivo 6

- Analizar las variables que estén involucradas en la realización del montaje del sistema seleccionado anteriormente, para la optimización de las condiciones de trabajo.

Objetivo 7

- Validar la mejora del sistema luego de aplicar la solución seleccionada, para ver los cambios producidos por esta.

Objetivo 8

- Plantear nuevas vías de investigación o mejoras para la solución seleccionada, con el fin de dejar las puertas abiertas para la optimización del sistema de enfriamiento

2 LA EMPRESA

O-I PELDAR se ha constituido a lo largo de su historia en una empresa sólida que se coloca a la altura de las compañías nacionales e internacionales en avances tecnológicos y en desarrollo del recurso humano. Gracias a ésto ha logrado proyectarse como una de las empresas más sólidas de Colombia.

O-I PELDAR cuenta con cuatro plantas de producción, que han sido testigos del dinamismo y proyección social de la Empresa. La dirección General de la Compañía se encuentra en la Planta de Envigado, desde donde se transmite la filosofía de excelente servicio y óptima calidad en todo, a sus plantas y oficinas de ventas. O-I PELDAR a través de sus divisiones de Envases, Vidrio Plano y Cristalería atiende el mercado nacional e internacional, asimilando siempre la más moderna tecnología, que comparte con plantas en más de 50 países, unidos a través de Owens Illinois, la compañía de producción y comercialización de vidrio más importante del mundo.

La División de Envases de O-I PELDAR es la División de mayor volumen de ventas en la Compañía. La creciente demanda del consumidor por envases de vidrio a nivel mundial no sólo obedece a factores ecológicos, sino a factores esenciales de presentación y preservación de los productos.

El proceso productivo está equipado con sistemas automáticos de alta tecnología para el registro y control desde la mezcla de Materias Primas hasta el área de Empaque y Despachos, incluyendo las áreas de Fusión y acondicionamiento del vidrio, Formación de Envases, Tratamientos Térmicos y Superficiales, Manejo de Envases, Inspección Automática y Selección. De igual manera, O-I PELDAR

cuenta con sistemas de información complementarios configurados bajo una red local de computadores, que soportan todos los parámetros de la operación y brindan registros de producción pormenorizados y siempre actualizados.

La calidad y la productividad ha sido compromiso permanente de todo su equipo humano, quienes con el apoyo de esta tecnología, han logrado desarrollar envases de vidrio de bajo peso y alta resistencia que han llevado a O-I PELDAR a ser líder en el mercado nacional en volumen de producción y calidad de sus productos. (PELDAR, 2008)

2.1 HISTORIA

En el año de 1939, el consorcio de Cervecería Bavaria vendió Vidriera Fenicia No. 2 a los hermanos Pedro Luís y Darío Restrepo Botero, quienes le dieron el nombre de Cristalería PELDAR S.A.; PELDAR es la sigla formada por las iniciales de los nombres de los fundadores. Después en el año de 1947, se trasladan parte de sus instalaciones fabriles a Envigado, Antioquia.

En 1949, PELDAR inició en Envigado (Antioquia) la fabricación automática de envases de vidrio, con la construcción de un horno de 30 toneladas por día, al cual siguieron dos hornos más, que junto con el primero, elevaron la capacidad a 130 toneladas diarias de vidrio.

En Marzo de 2005, OI decide cambiar la imagen corporativa de la empresa a nivel mundial y por tanto, a partir de la fecha PELDAR cambia su imagen pasando a ser O-I PELDAR. (PELDAR, 2008)

Fotografía 1. Toma aérea de la planta de Envigado.



PELDAR, 2008.

En la actualidad O-I PELDAR cubre en su totalidad el mercado nacional de vidrio, con sus líneas de envases, cristalería y vidrio plano.

2.2 EL VIDRIO

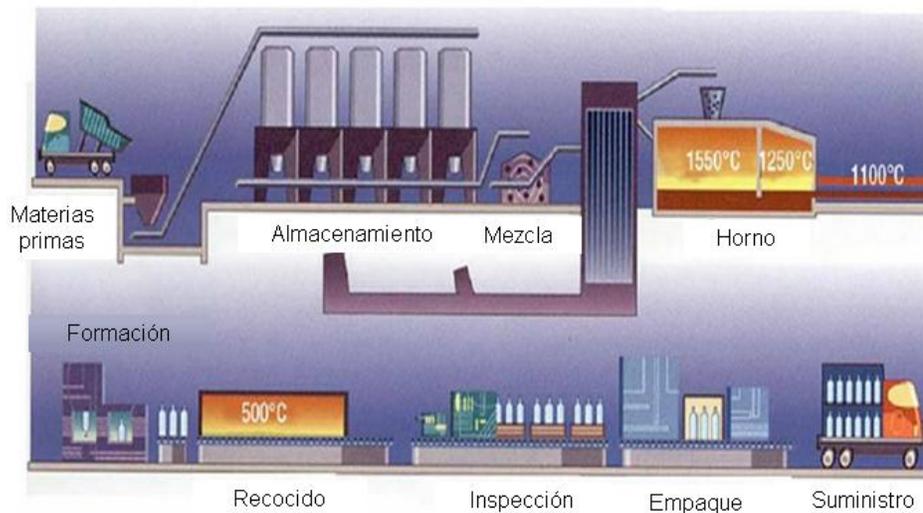
Es una sustancia amorfa fabricada sobre todo a partir de sílice (SiO_2) fundida a altas temperaturas con boratos o fosfatos. También se encuentra en la naturaleza, por ejemplo en la obsidiana, un material volcánico, o en los enigmáticos objetos conocidos como tectitas. El vidrio es una sustancia amorfa porque no es ni un sólido ni un líquido, sino que se halla en un estado vítreo en el que las unidades moleculares, aunque están dispuestas de forma desordenada, tienen suficiente cohesión para presentar rigidez mecánica. El vidrio se enfría hasta solidificarse sin que se produzca cristalización; el calentamiento puede devolverle su forma líquida.

Suele ser transparente, pero también puede ser traslúcido u opaco. Su color varía según los ingredientes empleados en su fabricación. (@MONOGRAFIAS, 2008)

2.3 CICLO PRODUCTIVO DE O-I PELDAR

El ciclo de producción de la formación de envases en la planta de envigado se compone de la siguiente manera.

Figura 1. Ciclo Productivo O-I PELDAR



Presentación Inducción visitantes O-I PELDAR

2.3.1 Materias Primas

- Composición Típica Del Vidrio

La composición típica del vidrio es básicamente la mezcla de materias primas y casco como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 1. Tabla porcentual materia prima

Materia prima	Origen	Óxido	%
Oxido de Sílice	Arena	SiO ₂	73
Carbonato Sodio	Soda Ash	Na ₂ O	14
Carbonato Calcio	Caliza	CaO	10
Alúmina	Feldespato	Al ₂ O ₃	2

Documento "Properties of glasses", 2007

Tabla 2. Tabla porcentual composición del vidrio

Materias Primas	55 %
Casco ¹	45 %

Documento "Properties of glasses", 2007

- Componentes Mayores

Arena: Es el principal ingrediente de la mezcla y es el que realmente constituye el vidrio. Para fundir la arena se necesitan temperaturas supremamente altas por lo cual se usan otros ingredientes para ayudar a fundirla a temperaturas más bajas.

¹ Vidrio Ecológico, obtenido a partir del reciclaje post-consumidor. El balance puede variar dependiendo de múltiples factores como origen, color, e incluso, disponibilidad

Soda: El carbonato de sodio (soda) se usa como fundente. Hace que sea posible fundir la arena y los otros componentes con menores temperaturas.

Caliza: Se necesita en el vidrio para hacer más fácil el trabajo de las máquinas y también ayuda en el proceso de fusión de la mezcla en el horno.

Feldespatos: Se agrega a la mezcla porque suministra la alúmina que es la que hace resistente el vidrio al ataque de las sustancias que se van a envasar en él, ó al ataque del medio ambiente. Además proporciona una buena rapidez de enfriamiento de la capa de vidrio que hace contacto con el molde cuando se hace el envase.

Casco: Sirve como fundente y se utiliza en la mezcla en porcentajes.

- Componentes Menores

Sulfato de bario (barita): Se usa en muy pequeña cantidad con el fin de afinar el vidrio ó sea para prevenir la formación de burbujas y semillas en el vidrio.

Decolorantes y colorantes: Si se quiere producir vidrio Flint (blanco) debe tenerse cuidado de que las materias primas que se empleen sean muy limpias de hierro, porque éste le da un tono verdoso al vidrio flint. Para quitarle el color verdoso hay que usar el selenio y el cobalto pero en cantidades de apenas unos gramos por cada tonelada de mezcla. Si se usara mucho selenio el vidrio tomaría un tono rosado y si se usara un exceso de cobalto entonces el color sería azul. Por lo tanto se efectúa un balance entre estos dos para obtener un vidrio libre de colores. El vidrio ámbar (café) se produce agregando carbón y pirita también en cantidades cercanas a un kilo por tonelada de vidrio según se quiera un tono más ó menos oscuro. Otro vidrio muy común es el verde que se fabrica agregando cromita muy molida. (SUAREZ, 2007)

2.3.2 Recepción y almacenamiento de materias primas

Cuando llega la materia prima a la planta, se debe reconocer la forma como viene embalada, pues en algunos casos se transporta a granel y en otros, viene empacada en costales. Por lo general la arena, la caliza, el feldespato y la soda vienen almacenados directamente en los camiones de carga; por el contrario los componentes menores y el casco, vienen empacados en costales de fibra.

Las materias primas que llegan a granel, se reciben en un sistema que canaliza el material a través de un tornillo sin fin para ser llevado a una tolva; este sistema se conoce como *Sistema de Recepción de Materias Primas*.

El material que llega en costales se recibe por operarios, quienes, una vez desempacado el material, lo depositan directamente en el sistema de recepción de materias primas.

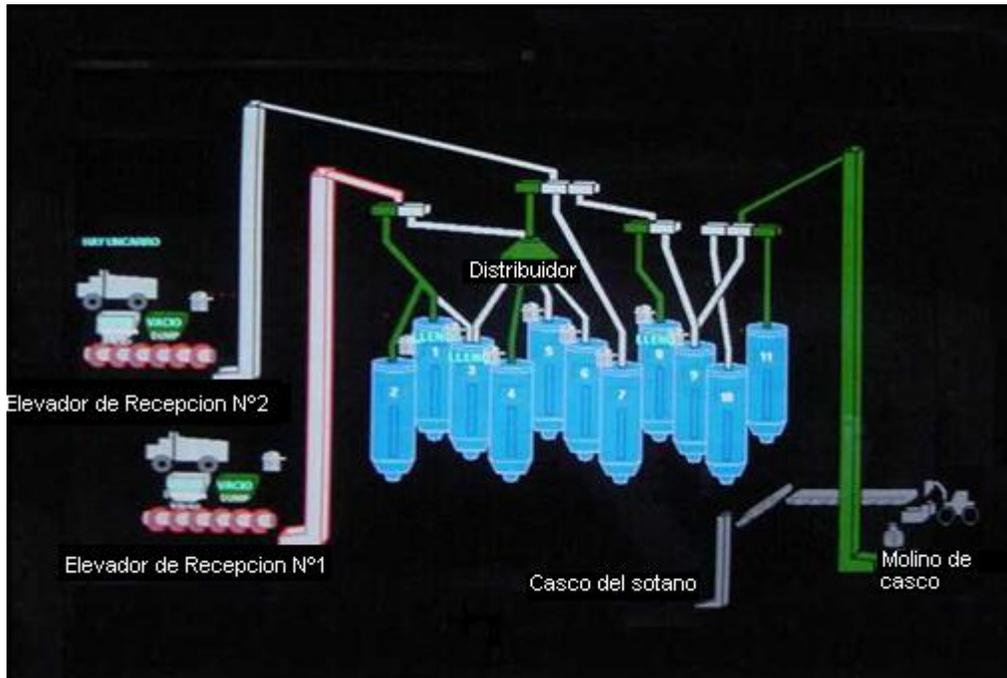
Después de tener la materia prima en las tolvas, ésta es llevada hacia los diferentes silos de almacenamiento, a través de un elevador de cangilones y un sistema de distribución denominado *diverter* o *triverter* (si tiene dos salidas o tres salidas respectivamente).

Por su parte el casco es seleccionado por personal encargado de retirar las impurezas que contengan los envases que no requieran ser beneficiados. Aquel material que requiere del proceso de beneficio es seleccionado y llevado a la planta para su adecuación como materia prima.

Toda vez que se cuenta con el material en condiciones aptas para su ingreso al proceso de reciclaje, es depositado por medio de un cargador de gran capacidad hacia una tolva que conduce este material hacia un molino, el cual se encarga de

triturar el material y darle un tamaño de partícula aceptable, para ser ubicado en su silo de almacenamiento. (PELDAR, 2007)

Figura 2. Recepción y almacenamiento de materias primas



PLC Materias Primas O-I PELDAR-Planta Envigado

2.3.3 Mezcla

Luego de contar con las respectivas materias primas ubicadas en cada uno de los silos, se procede a tomar el peso de cada una de ellas para poder obtener la proporción que se necesita de cada una de estas con el fin de lograr una correcta mezcla. Este proceso se lleva a cabo en un sistema computarizado que toma el peso y controla la proporción de los materiales en la mezcla. (PELDAR, 2007)

La máquina pesadora determina los porcentajes de cada materia prima para luego depositarla en una banda transportadora. De aquí es llevada por un elevador de

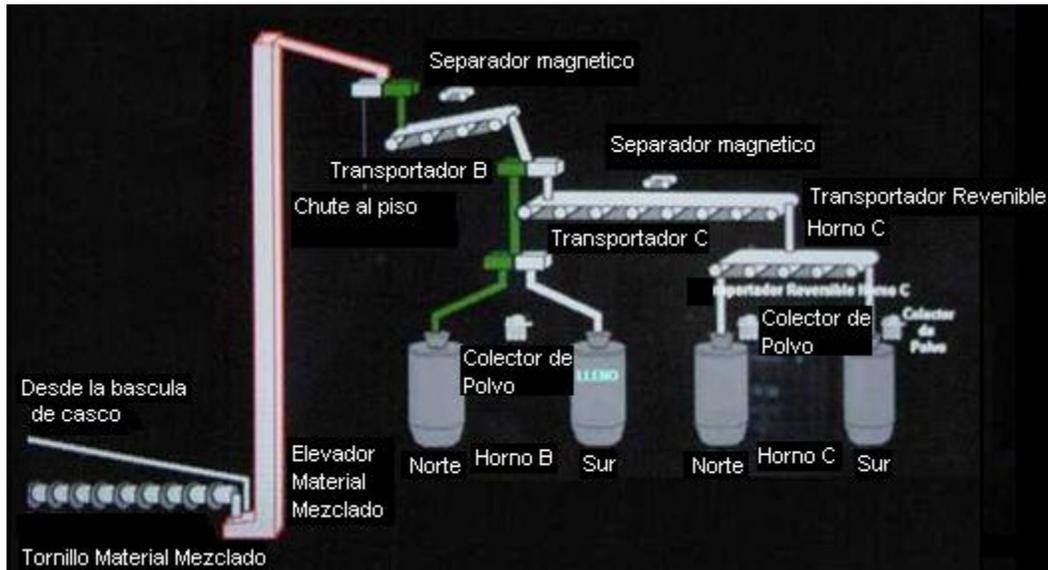
mezcla y posteriormente depositada en una máquina mezcladora, la cual se encarga de homogenizar los componentes y distribuirlos uniformemente. Cabe anotar que en esta etapa también son aportados los componentes menores (sulfato y carbón), directamente por operadores y en pequeñas proporciones. Estos materiales son llevados a unas respectivas pesadoras a través de un sistema de *flexicones*, los cuales son una especie de tornillos sin fin, pero de menor diámetro e introducidos en una tubería flexible.

Tan pronto como se tiene la mezcla homogenizada de las materias primas se procede a adicionarle el casco, de acuerdo con el porcentaje con el que se quiera contar de este material; este porcentaje varía entre 35% y 50%. El casco es traído de su respectivo silo e incorporado a la mezcla únicamente hasta esta etapa del proceso. Aquí se mezcla nuevamente con el resto de las materias primas y es llevado hacia los alimentadores que ingresan los materiales al horno.

Teniendo la mezcla lista de todos los materiales que componen el vidrio, se procede a llevarlos a través de una serie de bandas transportadoras y posteriormente distribuirla a los diferentes alimentadores que ingresan la mezcla al horno.

Estos alimentadores son máquinas que se encuentran ubicadas debajo de las tolvas y los cuales a través de una serie de motores impulsan una pala que empuja e introduce el material al interior del horno. Por lo general cada horno cuenta con dos alimentadores. (PELDAR, 2007)

Figura 3. Distribución de la mezcla a tolva de hornos



PLC Materias Primas O-I PELDAR – Planta Envigado.

2.3.4 Horno

El horno para vidrio es básicamente un tanque al que llega la mezcla de las materias primas; reciben o soportan las llamas de los quemadores y se funden hasta llenar todo el tanque o cámara de fusión para pasar por la garganta que es un pasadizo o túnel en el fondo del horno y va a llenar la cámara de afinación y después a las canales de los alimentadores.

La cámara de fusión posee a lado y lado los regeneradores que son realmente filas de ladrillos puestos ordenadamente dejando espacios a lo ancho y a lo largo para que por estos espacios circulen los gases producto de la combustión y bajen a los caños y de allí vayan a la chimenea.

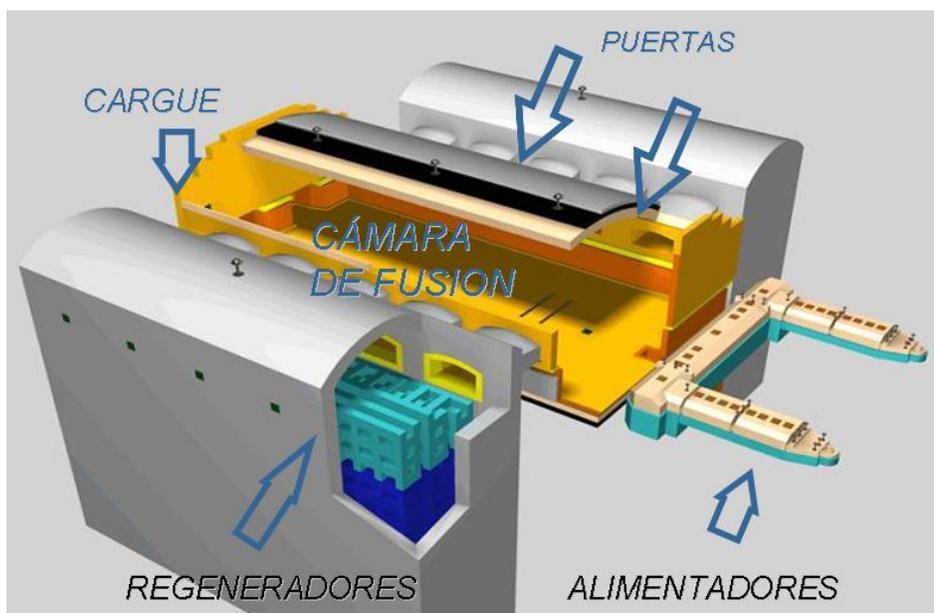
Mientras por un regenerador salen los gases de la combustión, estos gases que salen del horno muy calientes van dejando calor en los refractarios y este calor

sirve para calentar el aire que entra al horno por el regenerador del lado opuesto y cada veinte minutos el regenerador que estaba sirviendo para la salida de gases se usa para entrar el aire al horno y el regenerador que estaba dejando entrar el aire de combustión se usa para salida de gases. Este cambio ocurre cada veinte minutos y es lo que se llama *reverse* del horno.

Los regeneradores se usan para recuperar el calor que va en los gases para la chimenea y así ahorrar combustible. Además captura las partículas del polvo y evitan contaminación ambiental.

La empresa posee actualmente dos Hornos que abastecen las máquinas de vidrio, en los cuales el proceso de transformación se realiza a temperaturas superiores a 1400° C, razón por la cual el materia de construcción del horno es de material refractario lo que permite soportar estos niveles de temperatura y el contacto con el vidrio.

Figura 4. Horno O-I PELDAR



Presentación inducción visitantes O-I PELDAR

- Partes Del Horno

Cámara de fusión: Es la parte más grande del horno y en ella se desarrolla la combustión con el propósito de fundir la mezcla y afinarla

Garganta: Conducto que une las cámaras de fusión y afinación.

Cámara de afinación: Lugar donde es acondicionado el vidrio con el objetivo de liberar los gases de combustión y eliminar la presencia de semillas y burbujas.

- Partes en contactos con los gases

Regeneradores: Recuperan de los gases de combustión el calor para luego ser utilizado precalentando el aire frío que ingresa al horno cuando cambia de lado la combustión.

Puertas: Conductos que unen la cámara de fusión con los regeneradores. Su función es servir como ducto de salida de gases o de entrada de aire según el ciclo de combustión del horno.

Caños: Conducto de salida de los gases hacia la chimenea.

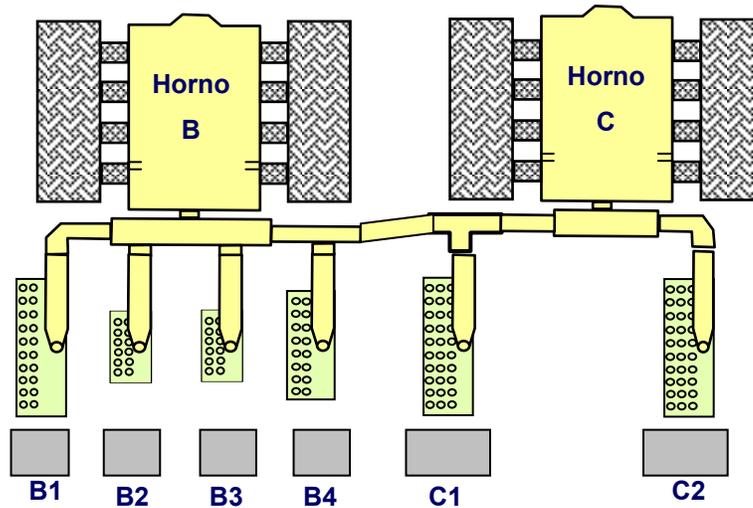
Chimenea: Vía de escape de los gases de combustión hacia la atmósfera.

2.3.5 Formación

Es el proceso en el que se usa como materia prima el vidrio fundido de la cámara de afinación y se acondiciona a través del alimentador para entregarlo a la

máquina formadora IS por sus siglas en ingles (*Individual Section*), a una temperatura uniforme de trabajo.

Figura 5. Hornos y máquinas planta Envigado



Presentación inducción visitantes O-I PELDAR

Las máquinas IS pueden variar de acuerdo al número de secciones con la que cuenta, 6 secciones hasta 12 secciones, trabajando en gota sencilla, doble gota y triple gota, manejando velocidades entre 35 y 600 botellas por minuto y unos pesos desde los 12 gramos hasta los 1400 gramos.

En el alimentador por medio de un canal conduce el vidrio que fluye desde la cámara de afinación del horno hasta la parte superior del tazón², simultáneamente por la parte inferior de este cae el vidrio fundido por un orificio (dos o tres dependiendo del tipo de gota), y por medio de un sistema de tijeras que corta el chorro de vidrio formando así la gota.

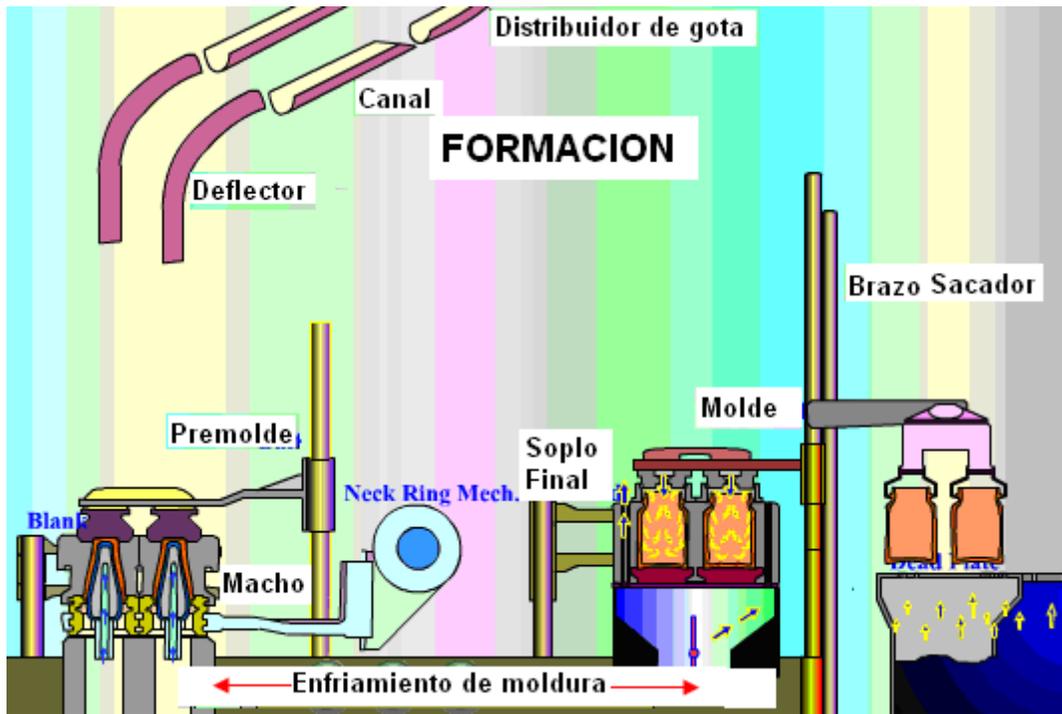
² Refractario con forma de tazón donde se almacena el vidrio en estado líquido.

Una vez se forma la gota esta cae a un distribuidor y por medio de un equipo de entrega, que lo componen canales y deflectores³ logran llevar la gota a cada sección, esta cae en el lado Premolde, en esta parte se le da la forma del terminado al envase (Boquilla), después por medio de un mecanismo se traslada el envase al lado Molde, por medio de aire a presión, la masa de vidrio toma la forma del molde, formándose así el envase. Cabe anotar que en esta parte la transferencia de calor entre el molde y el vidrio, hace posible la solidificación del vidrio. Un sistema de enfriamiento que consta de un ventilador que dirige aire a temperatura ambiente por unos ductos hasta la moldura. Este es el encargado de mantener los moldes con la temperatura ideal, que es aproximadamente entre 850-900° F. (PELDAR, 2008)

Luego un brazo mecánico toma el envase ya formado y lo pone sobre el *Conveyor*, que es una banda transportadora. En este momento el envase tiene una temperatura de 1360° F, esta temperatura se conoce como *Punto de ablandamiento*, en la cual el envase soporta su propio peso sin deformarse.

³ Canal de forma curva, que guía la gota a cada sección de la máquina formadora

Figura 6. Proceso de formación del envase



Presentación inducción visitantes O-I PELDAR

El conveyor lleva los envases hacia la estrella⁴ la cual cambia la dirección, Al *Cross Conveyor* que es una banda transportadora transversal, que alinea los envases y por medio del *Stacker*⁵, los introduce al Archa⁶ para iniciar el proceso de Recocido.

El proceso de formación puede cambiar según el tipo de envase que se desee realizar, son tres tipos de procesos:

⁴ Mecanismo de paletas que cambia la dirección a los envases

⁵ Mecanismo que por medio de una barra dirige la fila de un determinado número de envases al horno de recocido

⁶Horno de recocido, donde se liberan esfuerzos del envase

Soplo y sople: Se denomina así porque el proceso de formación del envase consta primero de un aire de soplo inicial que forma el terminado en el lado premolde, y luego el soplo final forma el producto propiamente en el lado molde. Es utilizado para envases de gaseosas, aceites y salsas.

Prensa y Soplo: A diferencia del anterior no tiene soplo inicial; el terminado se por la acción de un macho al prensar el vidrio. Es utilizado envases de boca ancha, compotas, alimentos, etc.

NNPB (Neck Narrow Press and Blow): Este proceso funciona de la misma manera que el proceso Prensa y Soplo, se diferencia en que el prensado del vidrio no lo realiza un macho si no que lo hace una aguja. Tiene una mejor distribución del vidrio, se usa para hacer envases livianos, como cervezas, energéticos y gaseosas.

2.3.6 Recocido

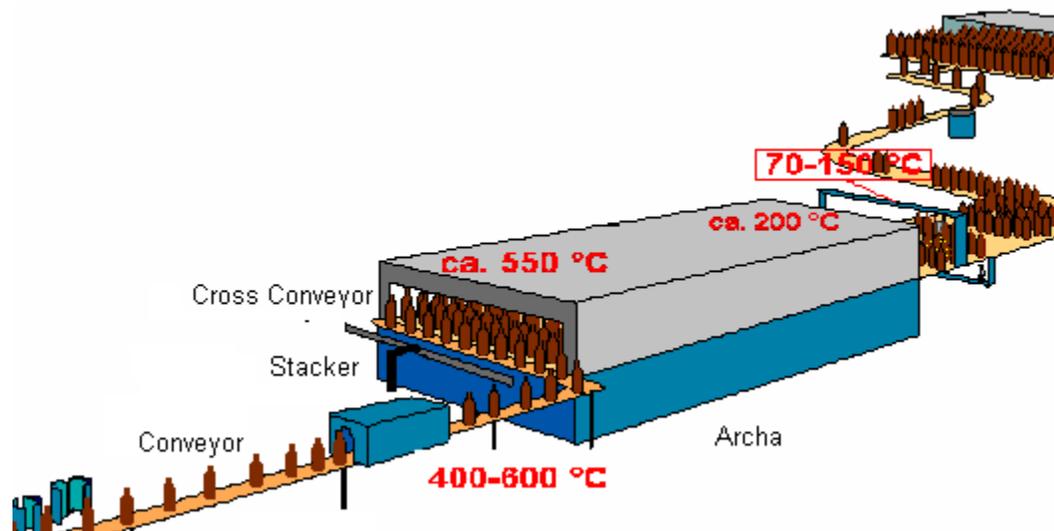
En esta parte del ciclo de producción se hace un proceso de calentamiento controlado, para eliminar los esfuerzos internos que se han introducido al vidrio durante e inmediatamente después del proceso de formación, por los cambios bruscos causados por el contacto con el equipo de moldura. Dichos esfuerzos de no ser eliminados ocasionan la ruptura del envase espontáneamente o con pequeños impactos, lo que haría su comportamiento impredecible.

Las archas normalmente miden 24 metros de largo por 6 metros de ancho, cuentan con cuatro zonas de calentamiento, tres de enfriamiento y una zona de transición, en la cual se puede calentar o enfriar dependiendo de las condiciones de temperatura en las que se encuentra el envase cuando atraviesa por esta zona.

Por lo general la zona de transición se encuentra en medio de las zonas de calentamiento y enfriamiento.

Las variables que se manejan en un archa son temperaturas de calentamiento y enfriamiento, y velocidad de archa, la cual consiste en el tiempo que se desea que el envase permanezca dentro del horno de recocido; cabe anotar que los envases son trasportados al interior del horno por medio de una malla transportadora. (PELDAR, 2007)

Figura 7. Archa, Conveyor, Cross y Stacker



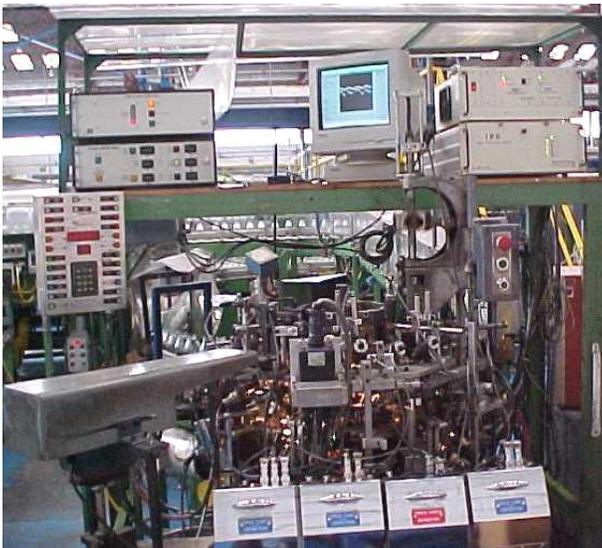
Presentación inducción visitantes O-I PELDAR

2.3.7 Inspección

Este proceso comienza cuando la botella sale del archa de recocido, por unas bandas transportadoras el envase pasa por inspecciones de calidad automáticas y manuales.

Las máquinas de inspección automática dependen de la variable que se quiera analizar, y tienen una característica y función determinada, que permite chequear y establecer si se cumple con los requerimientos mínimos de calidad. Las variables que constantemente se analizan en la inspección automática son la Altura del envase, Diámetro, Uniformidad, Espesor, Capacidad, Presencia de piedras e impurezas en el cuerpo del envase, Roscas (terminado del envase), Fondo y Estabilidad.

Fotografía 2. Máquina FP, Inspección automática



O-I PELDAR 2008

La inspección manual se realiza tomando muestras periódicas y verificando el cumplimiento de las especificaciones de los clientes.

2.3.8 Empaque

El empaque lo realizan unas máquinas llamadas paletizadoras, que reciben los envases ya inspeccionados por medio de las bandas transportadoras,

agrupándolos en un determinado número, para luego ponerlos sobre una estiba el proceso se repite varias veces formando así varios “pisos” que contienen la misma cantidad de envases, formando así los *pallets*, que son el patrón de empaque.

Fotografía 3. Paletizadora



O-I PELDAR 2008

Luego la estiba que sale de la paletizadora por medio de unos rodillos y entra a la máquina flejadora, donde se asegura la estiba con los envases. Esta funciona por medio de unos ganchos los cuales recorren verticalmente la estiba, y van poniendo a su paso el fleje.

Fotografía 4. Máquina Flejadora



O-I PELDAR 2008

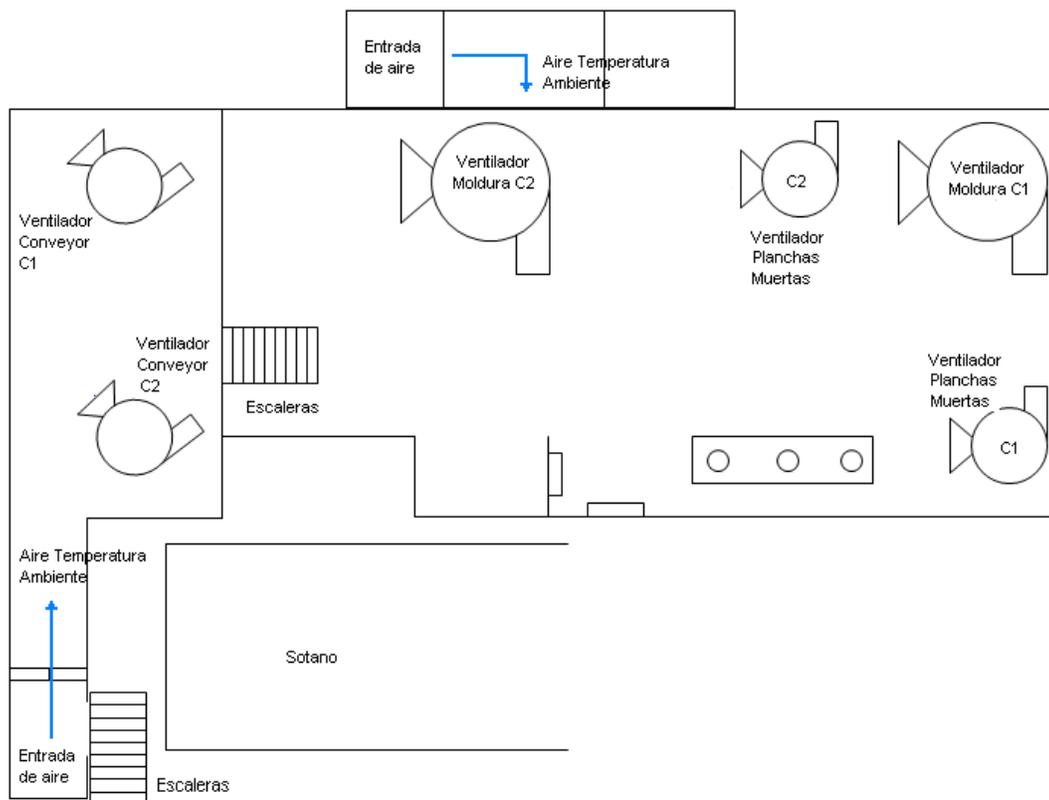
Una vez la estiba armada y flejada, pasa a una plataforma, que gira sobre su propio eje, aquí se envuelve la estiba en plástico, quedando lista para que los montacargas lleven la estiba para su almacenaje en bodegas, para posteriormente el despacho al cliente.

3 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE MOLDURA

El sistema de enfriamiento de moldura es una parte crítica en el proceso de formación del envase, ya que depende de una buena refrigeración de los componentes de moldura para que el vidrio este en optimas condiciones para la formación del envase, previniendo los defectos en el producto.

El sistema de enfriamiento de las máquinas formadoras de O-I PELDAR comienza bajo éstas, aquí se encuentra el cuarto de ventiladores para el enfriamiento de las diferentes partes de la máquina, entre estas la moldura.

Figura 8. Cuarto de Ventiladores de la empresa O-I PELDAR



Presentación sistema de enfriamiento Horno C O-I PELDAR

El ventilador succiona el aire proveniente de la superficie a temperatura ambiente por medio de dos accesos que se muestran en la Figura 8. El tipo de ventilador es centrífugo, el flujo de aire cambia su dirección, en un ángulo de 90°, entre la entrada y salida. Las aspas del ventilador son radiales, es el diseño más sencillo además lo hace más resistente mecánicamente.

Fotografía 5. Ventilador centrífugo de enfriamiento de moldura de O-I PELDAR

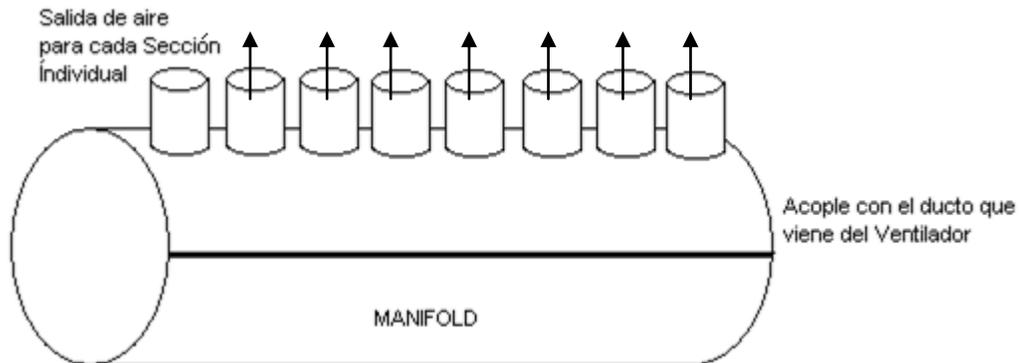


O-I PELDAR 2008

El motor que le da movimiento al ventilador, es un motor trifásico de 300 HP, 3580 RPM generando 17.000 CFM⁷. Todo el aire que sale del ventilador es dirigido por medio de un ducto al *Manifold*, el cual es un compartimiento ubicado debajo de la máquina formadora, esta hace la función de distribuir el aire en cada una de las secciones individuales.

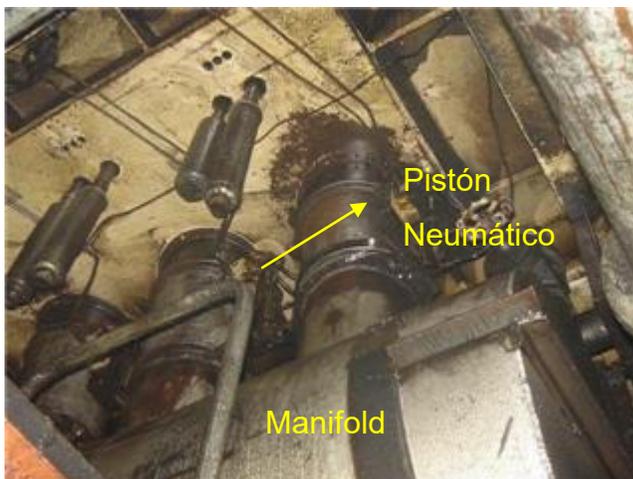
⁷ Pies cúbicos por minuto (CFM): medida que indica la cantidad de aire que puede mover un ventilador, un soplador o una compresora.

Figura 9. Manifold máquina formadora



En cada una de estas entradas de aire a la máquina hay un mecanismo de compuerta accionado por un pistón neumático, que interrumpe el paso de aire. Normalmente se utiliza el mecanismo para paros por mantenimiento, para evitar el paso de vidrio al manifold que posteriormente puede llegar al ventilador y causar daños en éste.

Fotografía 6. Entradas de Aire a la Máquina Formadora



O-I PELDAR 2008

Las entradas de aire que están ubicadas debajo de la máquina, llegan al *Cajón*, es la parte de la máquina donde se distribuyen las mangueras neumáticas y de lubricación de los diferentes mecanismos, conteniendo también algunos de estos.

Fotografía 7. Cajón de Sección Individual



O-I PELDAR 2008

Finalmente el aire luego de atravesar el cajón de abajo hacia arriba, llega a los llevadores de Premolde y Molde. Éstos son los encargados de abrir y cerrar los moldes y los premoldes respectivamente. El aire entra al llevador, pasa al interior, y sale por medio de orificios que están en la superficie de contacto directo con la moldura (entiendase por Premolde y Molde) enfriándola de esta manera.

Para hacer más eficiente el sistema de enfriamiento se reduce la temperatura del aire del cuarto de ventiladores saturandolo con agua por medio de un sistema de aspersión de agua.

Fotografía 8. Rociador para aspersión de agua

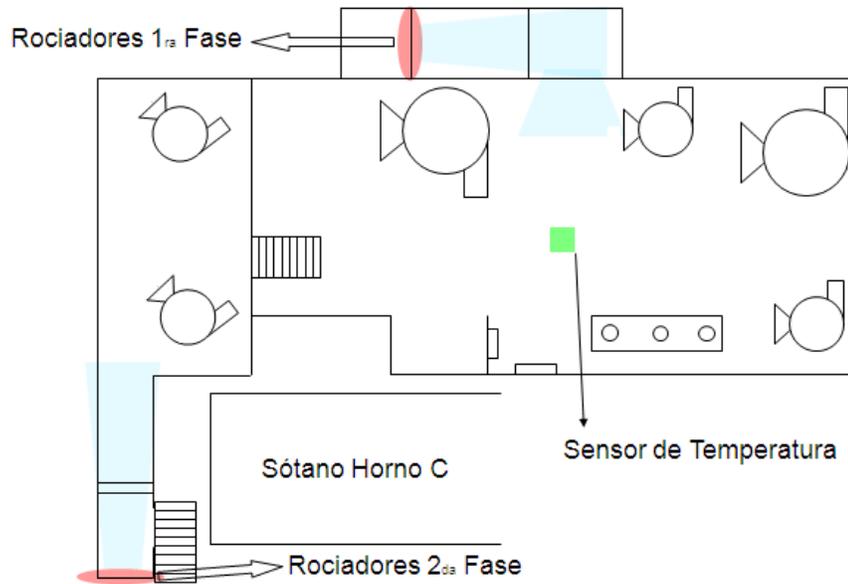


O-I PELDAR 2008

Para que la aspersión sea uniforme y abarque todo el cuarto, los rociadores son ubicados en dos fases en los dos ductos de entrada de aire al cuarto de ventiladores como se muestra en la Figura 10. Además cuenta con un sensor de temperatura y un control, con el cual se busca un acondicionamiento del cuarto a una temperatura estable, controlando los cambios en la temperatura ambiente.

El control funciona ingresando la temperatura del cuarto deseada, la temperatura ideal oscila entre 30 y 35 °C. Cada vez que la temperatura supere el valor ingresado en el control, se encienden los rociadores y tres minutos después se encienden de nuevo.

Figura 10. Ubicación de rociadores en el cuarto de ventiladores



Presentación sistema de enfriamiento Horno C O-I PELDAR

Adicional a los rociadores de primera y segunda fase, existen dos más, los cuales son directos, ubicados en la toma de aire y en el ducto del ventilador.

Fotografía 9. Rociadores directos al ventilador



Presentación sistema de enfriamiento Horno C O-I PELDAR

4 FALENCIAS DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE MOLDURA

El sistema de enfriamiento de moldura se modifica en el año 2006, montando un sistema de aspersión de agua, que reduce y estabiliza la temperatura del aire dentro del cuarto de ventiladores. La modificación muestra buenos resultados, disminuyendo defectos en la producción.

Tabla 3. Reducción de temperatura en el cuarto de ventiladores después de modificación

HORA	TEMPERATURA ANTES DE MODIFICACION (°C)	TEMPERATURA DESPUES DE MODIFICACION (°C)
8:00 AM	30	27
10:00 AM	33	29
12:00 PM	37,5	30
2:00 PM	40,5	31
4:00 PM	38	29
6:00 PM	36,3	27

Presentación sistema de enfriamiento Horno C, O-I PELDAR

Al incrementar la humedad en el ambiente se presentan problemas como la *Corrosión*, que es la destrucción lenta y progresiva de un metal por la acción de la humedad y otros agentes agresivos, según quien la produzca se clasifica en:

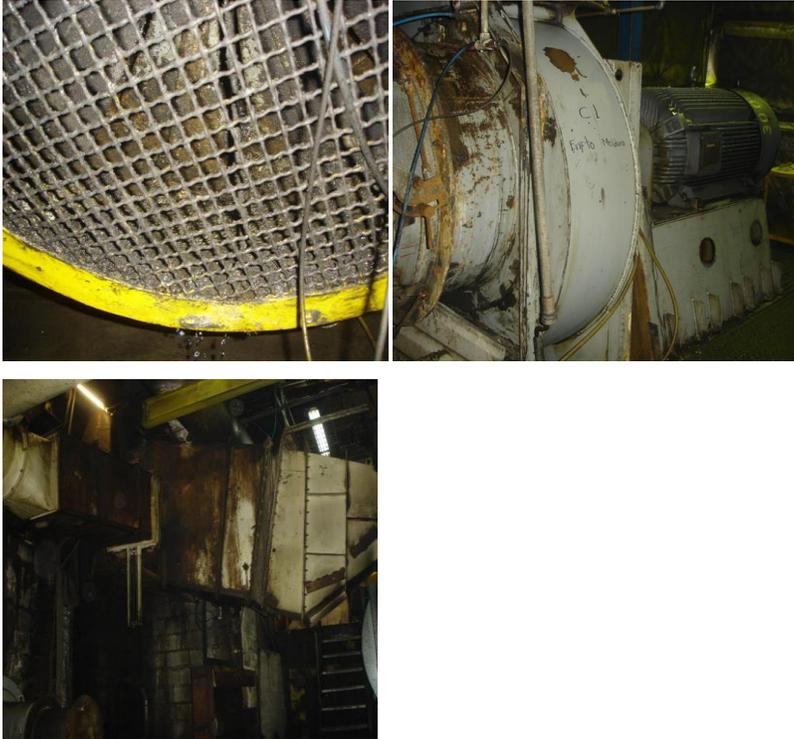
- Corrosión electroquímica: metales en atmósferas húmedas, sumergidos en agua o enterrados.
- Corrosión química: producida por el contacto del metal con ácidos y álcalis, de interés en la construcción de aparatos resistentes en los procesos de fabricación de productos.

- Corrosión bioquímica: producida generalmente por bacterias.

La corrosión electroquímica es un proceso en el cual un metal reacciona con su medio ambiente para formar óxido o algún otro compuesto. La celda que causa este proceso está compuesta esencialmente por tres componentes: un ánodo, un cátodo y un electrolito (la solución conductora de electricidad). El ánodo es el lugar donde el metal es corroído: el electrolito es el medio corrosivo; y el cátodo, que puede ser parte de la misma superficie metálica o de otra superficie metálica que esté en contacto, forma el otro electrodo en la celda y no es consumido por el proceso de corrosión. En el ánodo el metal corroído pasa a través del electrolito como iones cargados positivamente, liberando electrones que participan en la reacción catódica. Es por ello que la corriente de corrosión entre el ánodo y el cátodo consiste en electrones fluyendo dentro del metal y de iones fluyendo dentro del electrolito. (@TEXTOSCIENTIFICOS, 2008)

Esta corrosión afecta el sistema de enfriamiento produciendo pérdidas económicas grandes debido al reemplazo de partes dañadas del sistema por el desgaste producido por la corrosión, se puede presentar en partes como el ventilador, el ducto de aire, el manifold, o en las entradas de aire a la máquina. El sistema de enfriamiento siendo una parte indispensable en el proceso de formación de los envases, una parada para el cambio de una parte dañada, significaría una parada no programada de la máquina, ocasionando mas perdidas.

Fotografía 10. Corrosión en partes del sistema de enfriamiento



O-I PELDAR 2008

Otro problema es la seguridad de los trabajadores, la corrosión al ser responsable por los daños en los componentes del sistema de enfriamiento también es responsable por los accidentes que ocurren a las personas que ejercen sus tareas diarias dentro del cuarto de ventiladores como los encargados de la limpieza o mecánicos, que se pueden ver afectados por una posible falla de cualquier componente del sistema, por ejemplo la caída de una parte del ducto que está ubicado a gran altura o el desprendimiento de una pieza metálica dentro del ducto que puede ser propulsado por el ventilador, y mucho mas escenarios donde se pueden causar accidentes graves a los trabajadores.

La seguridad de los empleados no solo se pueden ver afectadas por algunos de los componentes del sistema, sino que también por caídas culpa de los charcos de agua, lodos que se forman por la mezcla de la suciedad que viene del exterior y el

agua, que se forman por la humedad dentro del cuarto; o del daño de las instalaciones, estructuras y componentes de otros sistemas que hay dentro de éste.

Fotografía 11. Problemas que afectan la seguridad del trabajador



O-I PELDAR 2008

El mayor problema que existe en consecuencia a la aspersion de agua en el sistema de enfriamiento es el daño ocasionado en los mecanismos de la máquina formadora afectando directamente la producción y causando elevados costos en repuestos y en producto defectuoso. Los rociadores de agua directos al ducto de aire del ventilador y los rociadores de primera y segunda fase, saturan de agua el

aire que viaja por el ducto del ventilador, luego el manifold y por último la entrada a la máquina, llegando así estas partículas de agua a los mecanismos del cajón que hacen posible el proceso de formación, produciendo el mal desempeño de las piezas mecánicas en los mecanismos más afectados, como lo son el *embielado* y los *ejes estriados*.

El mal desempeño de los mecanismos es causado por la cantidad de polvo y suciedad que se mezcla con el agua formando un lodo que llega a la máquina y se impregna en los mecanismos evitando que el lubricante cumpla su función y por ende halla un desgaste acelerado de las piezas, también debido a la humedad hay presencia de corrosión que ataca las piezas. Al ser el cajón un lugar al que no se puede llegar sin hacer el desensamble de la máquina, es imposible la limpieza de estos componentes, convirtiendo así este en el mayor problema del sistema de enfriamiento.

Fotografía 12. Mecanismos de embielado y ejes estriados afectados por la humedad del aire



O-I PELDAR 2008

5 POSIBLES SOLUCIONES A LOS PROBLEMAS IDENTIFICADOS DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

Como se identifico anteriormente las falencias del sistema de enfriamiento son causadas por la humedad creada por el sistema de aspersión de agua para enfriar el aire, entonces las soluciones se enfocan en eliminar el sistema de aspersión pero manteniendo la reducción de temperatura que por este se obtiene.

Al eliminar el sistema de aspersión de agua, se vuelve a incrementar la temperatura del aire que es dirigido a la máquina, frente a este problema se tiene que pensar en una herramienta que permita disminuir la temperatura evitando el contacto entre el aire y el agua.

Un intercambiador de calor permite enfriar un fluido que está más caliente de lo deseado, transfiriendo este calor a otro fluido que está frío. La transferencia de calor se realiza a través de una pared metálica o de un tubo que separa ambos fluidos.

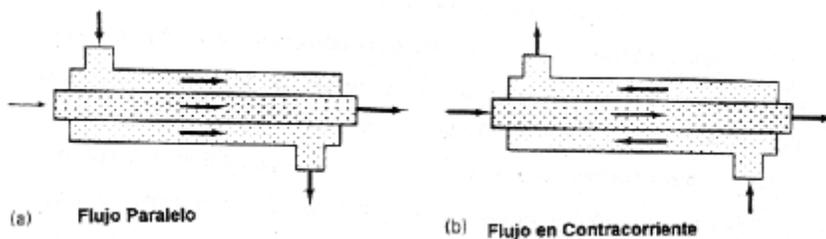
Los intercambiadores de calor se clasifican en 4 tipos. Intercambiadores de:

- Doble tubo
- Carcasa y tubos
- Flujo cruzado
- Compacto

5.1 DOBLE TUBO

Es el intercambiador más sencillo, por el tubo interno circula uno de los fluidos, mientras que el otro fluido circula por el espacio anular, normalmente el fluido frío se coloca en el espacio anular, y el fluido caliente va en el interior del flujo interno. Dependiendo del sentido del flujo se clasifica en Flujo paralelo y Flujo contracorriente. Estos intercambiadores se utilizan cuando los requisitos de área de transferencia son pequeños.

Figura 11. Intercambiador de flujo paralelo y contracorriente



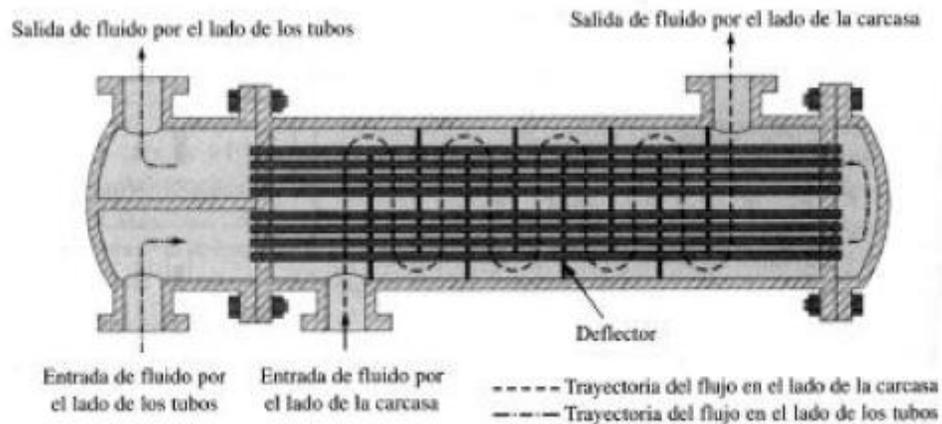
@MIPAGINA.CANTV, 2008

5.2 CARCASA Y TUBOS

Si se utilizan varios tubos concéntricos en paralelo, el peso del material de los tubos que se necesita se haría tan grande, que es mucho más económico el construirlos formando un conjunto de carcasa y tubos, de forma que se utiliza una carcasa común para muchos tubos. Este es el intercambiador más ampliamente usado en la industria. En este intercambiador un fluido fluye por el interior de los tubos, mientras el otro es forzado a través de la carcasa y sobre el exterior de los tubos. Para asegurar que el fluido por el lado de la carcasa fluya a través de los tubos e induzca una mayor transferencia de calor, se colocan, deflectores ó placas

verticales. Es corriente encontrar intercambiadores de calor de 2, 4, 8, etc. pasos de tubos. De la misma manera existe la posibilidad que exista varios pasos de carcasa.

Figura 12. Intercambiador de carcasa y tubo

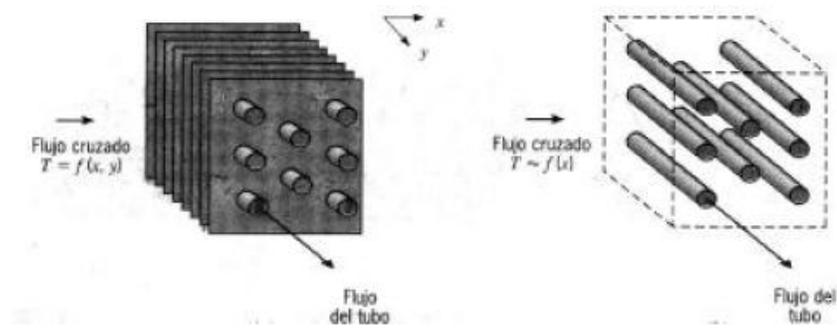


@MIPAGINA.CANTV, 2008

5.3 FLUJO CRUZADO

Alternativamente los fluidos pueden moverse en flujo cruzado (perpendicular uno al otro). Los intercambiadores en flujo cruzado se utilizan comúnmente en procesos de enfriamiento o calentamiento de aire o gas. En la. Las dos configuraciones difieren de acuerdo si el fluido que se induce sobre los tubos está mezclado o sin mezclar. Un fluido se dice que está sin mezclar debido a que las aletas previenen el movimiento en la dirección (y) que es la dirección transversal a la dirección del flujo principal (x). En este caso la temperatura del fluido varía con x y con y.

Figura 13. Intercambiador de flujo cruzado



@MIPAGINA.CANTV, 2008

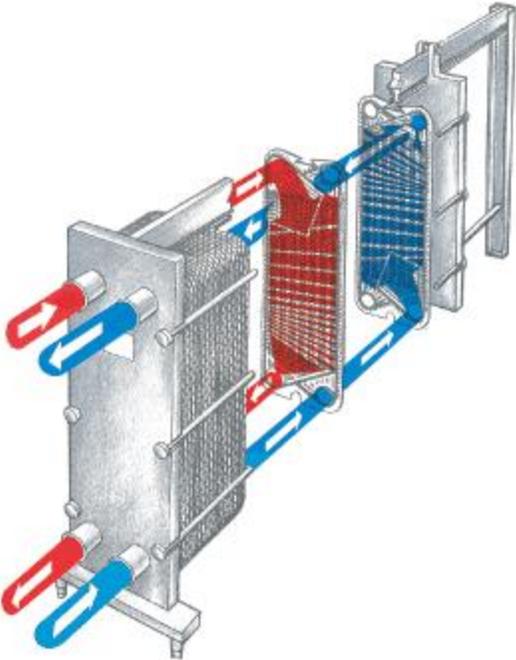
En contraste para el haz de tubo sin aletear, el movimiento del fluido, se dice que está mezclado ya que la temperatura no cambia en la dirección transversal, siendo función exclusiva de la dirección del flujo principal. Dado que el flujo dentro de los tubos está sin mezclar, ambos fluidos se dicen que están sin mezclar en el intercambiador aleteado, mientras que un fluido está mezclado y el otro sin mezclar en el intercambiador no aleteado. Es importante destacar que la condición de mezclado y sin mezclar del intercambiador influye significativamente en el funcionamiento del intercambiador de calor.

5.4 COMPACTO (PLACAS)

Intercambiadores de calor con relación área superficial/volumen, $\beta^8 = A_s/V$ mayores que $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$ se denominan intercambiadores de calor compacto, debido a su pequeño tamaño y peso, los intercambiadores de calor compactos prevalecen en la industria automotriz, industria aéreo-espacial y en sistemas marinos. Admiten una gran variedad de materiales de construcción, tiene una elevada área de intercambio en una disposición muy compacta. Por la construcción están limitados a presiones pequeñas. (@MIPAGINA.CANTV, 2008)

⁸ Relación de área superficial/ Volumen

Figura 14. Intercambiador de calor compacto (Placas)



@WCR-INTERCAMBIADORES DE CALOR, 2008

6 EVALUACION DE ALTERNATIVAS

Para la evaluación de alternativas se debe de tener en cuenta aspectos de las condiciones de trabajo en el caso específico de O-I PELDAR. A continuación se evaluará cada intercambiador de calor según el caso concreto de O-I PELDAR.

6.1 INTERCAMBIADOR DE DOBLE TUBO

Ventajas: Este tipo de intercambiador al ser el más simple es el más económico, también es flexible, fácil de armar y de mantener.

Desventajas: La principal desventaja es la pequeña superficie de transferencia de calor, entonces se necesita de un espacio grande para el gran número de equipos para contrarrestar la pequeña superficie de transferencia. Y relacionada también con el gran número de equipos están las fugas que se presentan por la presencia de tantas conexiones.

6.2 INTERCAMBIADOR DE CARCASA Y TUBOS

Ventajas: Es el indicado para manejar grandes superficies de intercambio de calor, y caudales altos, requiere menos espacio que el intercambiador de doble tubo, y tiene una alta eficiencia en la transferencia de calor.

Desventajas: Es muy costoso, el mantenimiento es muy especializado, es más apropiado para el intercambio de calor de líquido-líquido. (@PROENERGIA, 2008)

6.3 INTERCAMBIADOR DE FLUJO CRUZADO

Ventajas: Es económico, maneja grandes superficies de intercambio de calor y caudales altos, el mantenimiento es fácil, es más fácil el manejo de un gas en este caso el aire, alta eficiencia en la transferencia.

Desventajas: Es necesario gran espacio para hacer la transferencia de calor del aire ya que es directamente proporcional al volumen de aire manejado por el ventilador.

6.4 INTERCAMBIADOR COMPACTO (PLACAS)

Ventajas: Muy buena transferencia de calor debido a su gran área de intercambio, es de fácil mantenimiento, las partes son intercambiables por si se presenta algún daño, ventaja que los otros tipos de intercambiadores no tienen.

Desventajas: No maneja el volumen de aire que maneja el ventilador por su pequeño tamaño, es costoso. (@PROENERGIA, 2008)

7 MATRIZ DE EVALUACION

En la siguiente matriz se califican los aspectos en una escala de 1 a 5, siendo 5 lo mejor, y en el aspecto económico lo más favorable. La de mayor puntaje es la solución adecuada.

Tabla 4. Matriz de evaluación de soluciones

Aspectos		Intercambiador de Doble Tubo	Intercambiador de Carcasa y Tubos	Intercambiador de Flujo Cruzado	Intercambiador Compacto
Inversión	Costo del intercambiador	4	1	4	2
Montaje	Costo del montaje	3	2	4	2
	Espacio requerido	2	4	3	5
	Facilidad del montaje	3	2	3	1
Eficiencia de la transferencia de calor	Superficie de transferencia	1	4	4	4
	Manejo de volúmenes altos	1	3	5	1
	Manejo de caudales altos	2	4	5	1
Mantenimiento	Facilidad en el mantenimiento	5	2	4	4
	Limpieza	3	2	4	4
	Cambio de piezas	5	1	2	4
TOTAL		29	25	38	28

8 MONTAJE

Luego de tener claro que se va a utilizar un intercambiador de calor de flujo cruzado luego de la previa evaluación ahora, viene la tarea de determinar la geometría, las medidas y el tipo del intercambiador para realizar el montaje según las condiciones de la empresa O-I PELDAR.

La geometría y el área del intercambiador de calor, normalmente es el objetivo del diseño de otros tipos de intercambiador, y en otras condiciones en el caso particular de la empresa O-I PELDAR, las condiciones son distintas. El fluido a enfriar, que en este caso es aire, proviene del ventilador centrífugo que gira 3580 RPM, el cual saca el aire que va hacia el intercambiador por un área de $0.510\text{ m} * 1.063\text{ m}$, comprimiendo el aire y así aumentando su temperatura, por esta razón el ducto de aire tiene una área transversal más grande con el fin de reducir un poco la temperatura, y de acuerdo al diámetro del manifold 0.900 m , que es hacia donde finalmente se dirige el aire, el área es de $1.423\text{ m} * 1.118\text{ m}$. Entonces el área transversal con el cual se debe de comprar el intercambiador de calor será la misma del ducto de aire, para evitar el incremento de la temperatura y caídas de presión por la reducción de áreas.

Los intercambiadores de calor de flujo cruzado, pueden ser de dos tipos, una con los fluidos mezclados, y otra con los fluidos sin mezclar. En el caso de O-I PELDAR los fluidos serán no mezclados, evitando que el aire no se desvíe en sentido de los tubos del intercambiador, y que mantenga el sentido del flujo principal, para así obtener la mayor eficiencia en la transferencia de calor

Después de haber determinado las medidas, geometría y el tipo de intercambiador, se prosigue a la consecución del mismo por medio de un constructor especializado en el tema.

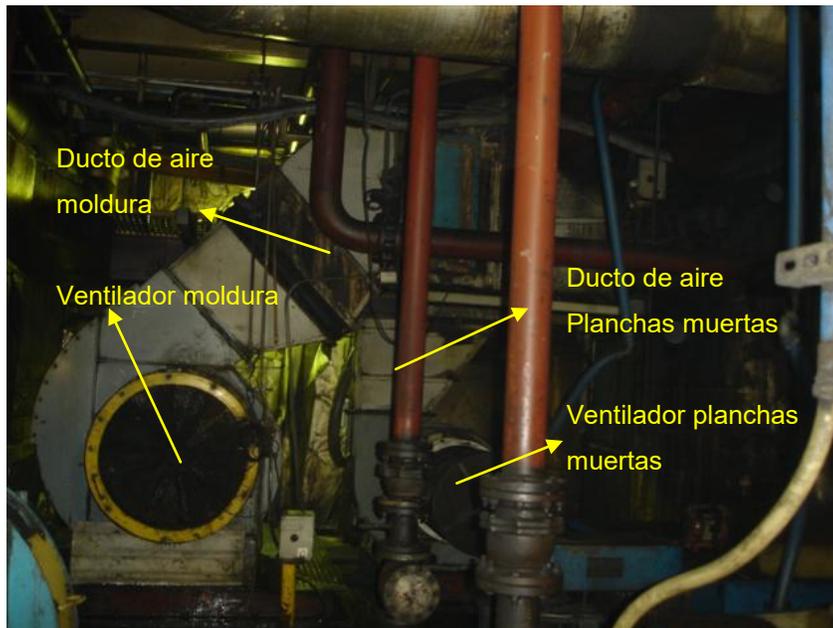
Fotografía 13. Intercambiador de Calor para el montaje



O-I PELDAR 2008

Para realizar el montaje en primera instancia se estudia en que parte del sistema de enfriamiento de moldura se va instalar el intercambiador de calor, que según las medidas de este, se decide instalarlo en el ducto de aire, entre el ventilador y el manifold, de manera que todo el flujo de aire que se va enfriar pase en su totalidad por el intercambiador. En este caso se enfrenta con el problema de ubicar el intercambiador, el cual tiene la misma área del ducto de aire, pero el ducto esta en un ángulo de 45° como se ve en la Fotografía 14, posición que el intercambiador no puede tomar por razones de eficiencia. Al acomodar el intercambiador a 90° este se sale de línea del ducto de aire, para evitar interponerse con el ducto del sistema de enfriamiento de planchas muertas.

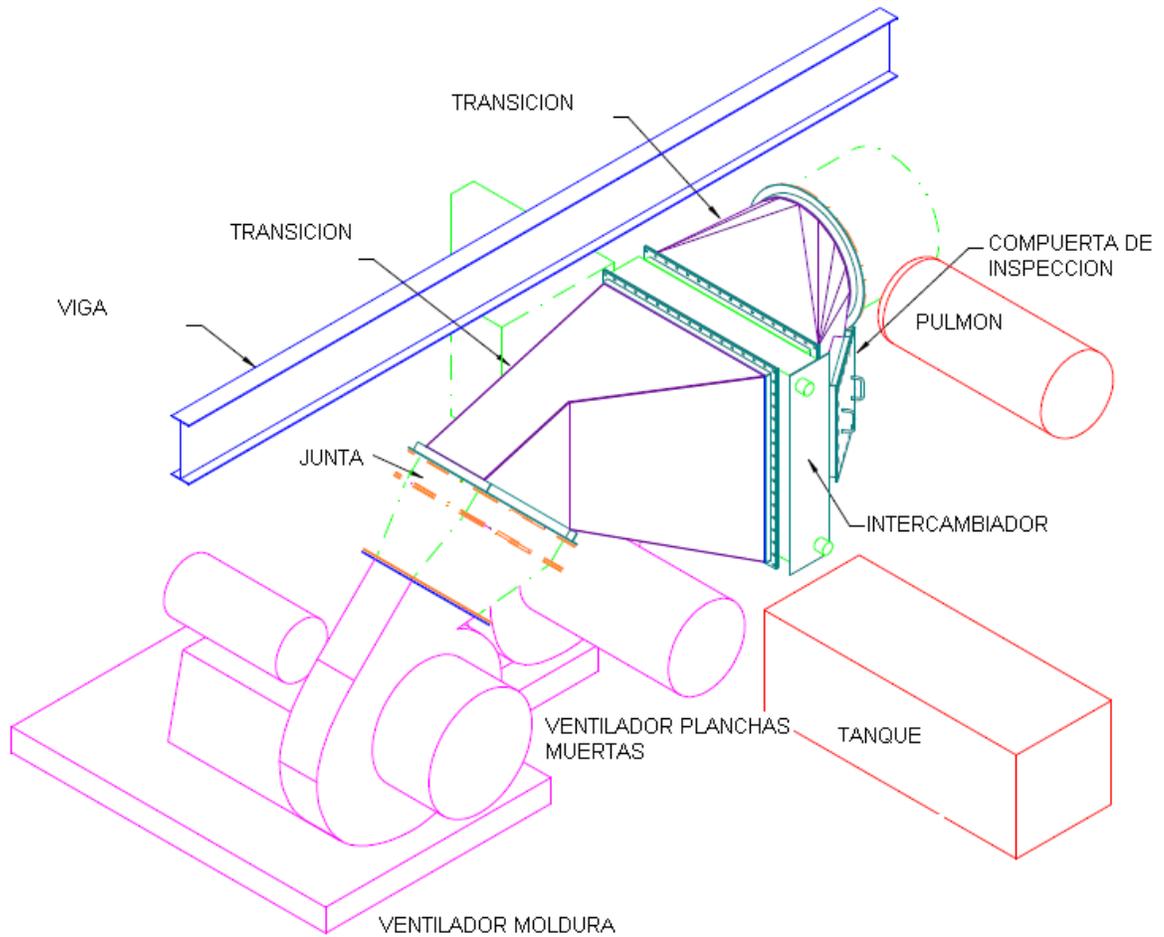
Fotografía 14. Situación inicial del montaje



O-I PELDAR 2008

Pensando en la facilidad en el mantenimiento se le suma a este diseño una compuerta de inspección ubicada en una de las transiciones para el acceso fácil al sistema, pensada para el ingreso de una persona delgada esta será de 60 cm * 60 cm. Además del diseño de un alojamiento para el intercambiador que haga parte del ducto, de tal manera que el intercambiador quede libre, dando la posibilidad de sacar y meter fácilmente para el mantenimiento.

Figura 15. Diseño de la ubicación del intercambiador de calor



O-I PELDAR 2008

Para darle la ubicación deseada al intercambiador se diseñan dos transiciones. Con las cuales se presenta otro problema. El intercambiador al estar fuera de la línea del ventilador y el manifold, no habrá una distribución uniforme del aire, este pasará únicamente por el sector izquierdo del intercambiador, desaprovechando prácticamente la mitad del intercambiador, reduciendo así la eficiencia térmica casi a un 50%. Para hacer más eficiente la distribución del aire dentro de las transiciones, se diseñan una serie de deflectores que hacen que el aire fluya uniformemente y pase por la toda la superficie de intercambio.

Fotografía 15. Diseño de deflectores en las transiciones



O-I PELDAR 2008

Para completar el diseño del montaje solo falta, definir de donde y como va llegar el agua que alimentara al intercambiador y cómo será la salida de esta. Esta parte del diseño es fácil ya que por dentro del cuarto de ventiladores pasan tuberías de entrada y salida de agua que vienen de unas torres de enfriamiento con las que cuenta la empresa, para otros procesos, ubicadas en la superficie. Solamente queda conectar estas tuberías al intercambiador y así aprovechar el agua. Para el control visual de la presión del agua se conectaran 2 manómetros, uno en la entrada de agua y otro en la salida, para tener indicadores del buen funcionamiento del intercambiador.

Fotografía 16. Montaje final del intercambiador de calor



O-I PELDAR 2008

9 ANALISIS TERMICO DEL INTERCAMBIADOR DE FLUJO CRUZADO

El análisis térmico se hace con el fin de conocer la cantidad total de calor transferido, q , del fluido caliente al fluido frío, que expresada en un balance de energía sería de la forma:

Ecuación 1. Balance de energía del Flujo caliente y frío

$$m_h c_h (T_{hi} - T_{ho}) = m_c c_c (T_{ci} - T_{co})$$

Donde:

m_h : Flujo másico del fluido caliente

c_h : Calor específico del fluido caliente

T_{hi} : Temperatura de entrada del fluido caliente

T_{ho} : Temperatura de salida del fluido caliente

m_c : Flujo másico del fluido frío

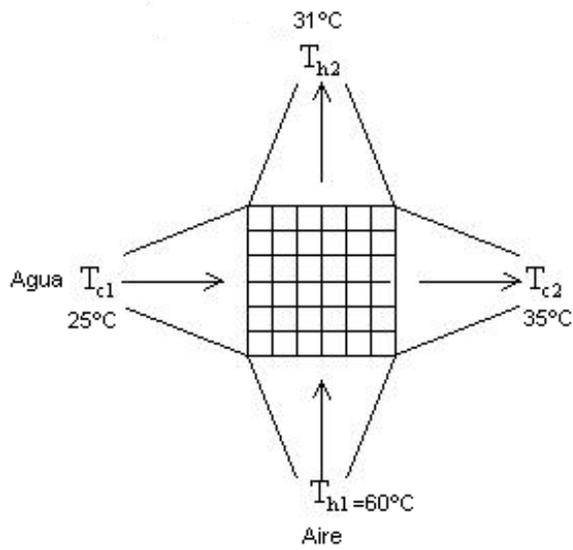
c_c : Calor específico del fluido frío

T_{ci} : Temperatura de entrada del fluido frío

T_{co} : Temperatura de salida del fluido frío

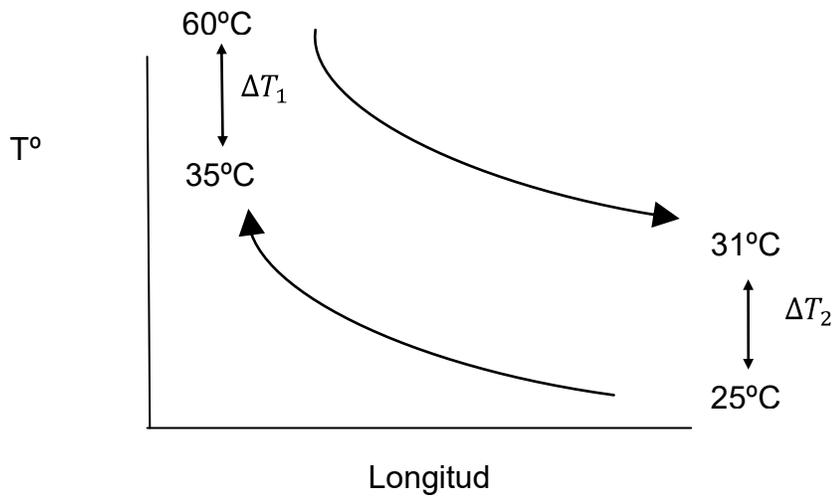
Después del montaje, el aire, fluido caliente (h), viene del ventilador a 60°C y luego de pasar por el intercambiador sale a 31°C, El agua, el fluido frío (c) viene de las torres de enfriamiento a 25°C y sale a 35°C, entonces las condiciones del intercambiador quedan de la siguiente manera:

Figura 16. Condiciones del intercambiador de calor



Al ser un intercambiador de flujo cruzado se supone en contracorriente, entonces la curva de temperatura es de la forma:

Figura 17. Curva de Temperatura



Conociendo las temperaturas de entrada y salida, se calcula el calor intercambiado por cada fluido, con la expresión

Ecuación 2. Relación q con Capacidad calorífica

$$q = C_h(T_{hi} - T_{ho}) = C_c(T_{co} - T_{ci})$$

Donde q , se refiere al calor intercambiado por los fluidos frío y caliente, y C es $(m)(c)$, capacidad calorífica.

El ventilador de enfriamiento de moldura produce un caudal de aire de 17000 *CFM* que serían $8.023 \text{ m}^3/\text{s}$. De las torres de enfriamiento el agua se bombea a un caudal de 80 *gpm* que serían $0.005 \text{ m}^3/\text{s}$.

Para obtener el flujo másico se multiplica el caudal por la densidad de cada uno de los fluidos. Según tablas el agua a 25°C tiene una densidad de $997.1 \text{ kg}/\text{m}^3$, y el aire a 60°C tiene una densidad de $1.025 \text{ kg}/\text{m}^3$. (KREITH y BOHN, 2001)

$$m_{aire} = \left(8.023 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) \left(1.025 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) = 8.223 \text{ kg}/\text{s}.$$

$$m_{agua} = \left(0.005 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) \left(997.1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) = 4.986 \text{ kg}/\text{s}$$

El calor específico del agua a la temperatura de entrada al intercambiador, 25°C, es $c_{agua} = 4178 \text{ J}/\text{kg}^\circ\text{K}$, y el aire a 60°C, $c_{aire} = 1017 \text{ J}/\text{kg}^\circ\text{K}$. (KREITH y BOHN, 2001).

Entonces la capacidad calorífica es:

$$C_{agua} = \left(4178 \frac{J}{kg^{\circ}K} \right) \left(4.986 \frac{kg}{s} \right) = 20829.419 \frac{J}{s^{\circ}K} = C_{max} = C_{(c)}$$

$$C_{aire} = \left(1017 \frac{J}{kg^{\circ}K} \right) \left(8.223 \frac{kg}{s} \right) = 8362.791 \frac{J}{s^{\circ}K} = C_{min} = C_{(h)}$$

Reemplazando en la ecuación 2, el calor intercambiado por el aire es de:

$$q_{aire} = 8362.791 \frac{J}{s^{\circ}K} (60^{\circ}C - 31^{\circ}C) = 242520.939 W$$

El calor intercambiado por el agua es de:

$$q_{agua} = 20829.419 \frac{J}{s^{\circ}K} (35^{\circ}C - 25^{\circ}C) = 208294.19 W$$

Según la ecuación 2 el calor intercambiado por los fluidos debe ser el mismo, entonces haciendo el promedio el calor transmitido es $q = 225407.56 W$.

Para conocer el coeficiente total de transferencia de calor por el área de transferencia UA , se utiliza la expresión

Ecuación 3. Cantidad de calor con el método de LMTD (Logarithmic Mean Temperature Difference)

$$q = UA(LMTD)$$

Donde:

Ecuación 4. LMTD

$$LMTD = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} \right)}$$

Donde

$$\Delta T_1 = (T_{hi} - T_{co})$$

$$\Delta T_2 = (T_{ho} - T_{ci})$$

Reemplazando

$$\Delta T_1 = (60^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C}) = 25^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = (31^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) = 6^\circ\text{C}$$

$$LMTD = \frac{6^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}}{\ln\left(\frac{6^\circ\text{C}}{25^\circ\text{C}}\right)} = 13.315^\circ\text{C}$$

Despejando de la ecuación 3 el UA es

Ecuación 5. Coeficiente total de transferencia de calor

$$UA = \frac{q}{LMTD}$$

$$UA = \frac{225407.56\text{W}}{13.315^\circ\text{C}} = 16928.84 \frac{\text{W}}{^\circ\text{C}}$$

Para verificar el valor de UA , se utilizará el método de efectividad-NTU

Ecuación 6. Eficiencia de un intercambiador

$$\varepsilon = \frac{q}{q_{max}}$$

Donde q_{max} , se refiere al máximo calor que se puede transferir en el intercambiador suponiendo un área de intercambio infinita. Para esta circunstancia cumple que la máxima diferencia de temperatura que puede adquirir uno de los

fluidos, ΔT_{max} , dependiendo de sus capacidades caloríficas. El fluido que adquiere, ΔT_{max} será aquel que tenga la menor capacidad calorífica.

Si $C_h > C_c$ se tendrá que T_{co} es T_{hi}

Sí $C_c > C_h$ se tendrá que T_{ho} es T_{ci}

Entonces

Ecuación 7. Flujo máximo de calor

$$q_{max} = C_{min} \Delta T_{max}$$

Para hallar el q_{max} se tiene que $C_c > C_h$ se tendrá que T_{ho} es T_{ci} por lo tanto

$$\Delta T_{max} = (T_{hi} - T_{ci})$$

$$C_{min} = C_{(h)}$$

$$q_{max} = \left(8362.791 \frac{J}{s^{\circ}K} \right) (60^{\circ}C - 25^{\circ}C) = 292697.68 W$$

Reemplazando en la ecuación 7 la eficiencia es:

$$\varepsilon = \frac{225407.56W}{292697.68W} = 0.77$$

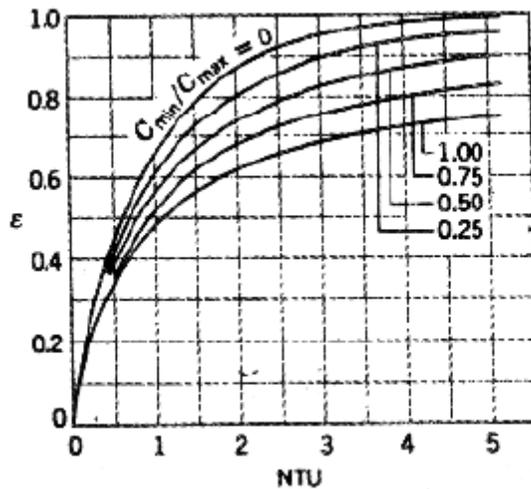
NTU es un parámetro adimensional denominado Número de Unidades de Transferencia (Number of Transfer Units) y se determina así:

Ecuación 8. NTU (Number of Transfer Units)

$$NTU = \frac{UA}{C_{min}}$$

Pero el NTU en términos de la ε y el C_r , que es la relación de capacidades caloríficas C_{min}/C_{max} , se da en la siguiente grafica

Figura 18. Efectividad de un intercambiador de flujo cruzado con ambos fluidos sin mezclar



(@MIPAGINA.CANTV, 2008)

Donde:

$$C_r = \frac{8362.791 \frac{J}{s^{\circ}K}}{20829.419 \frac{J}{s^{\circ}K}} = 0.401$$

Con $\varepsilon = 0.77$ y $C_r = 0.401$ el NTU es de 2.1. Despejando de la ecuación 9 el UA es

$$UA = NTU(C_{min})$$

$$UA = 2.1 \left(8362.791 \frac{J}{s^{\circ}K} \right) = 17561.86 \frac{W}{^{\circ}C}$$

Promediando los valores que resultaron por el método de LMTD y por NTU el coeficiente global de transferencia de calor por el área es:

$$UA = 17245.35 \frac{W}{^{\circ}C}$$

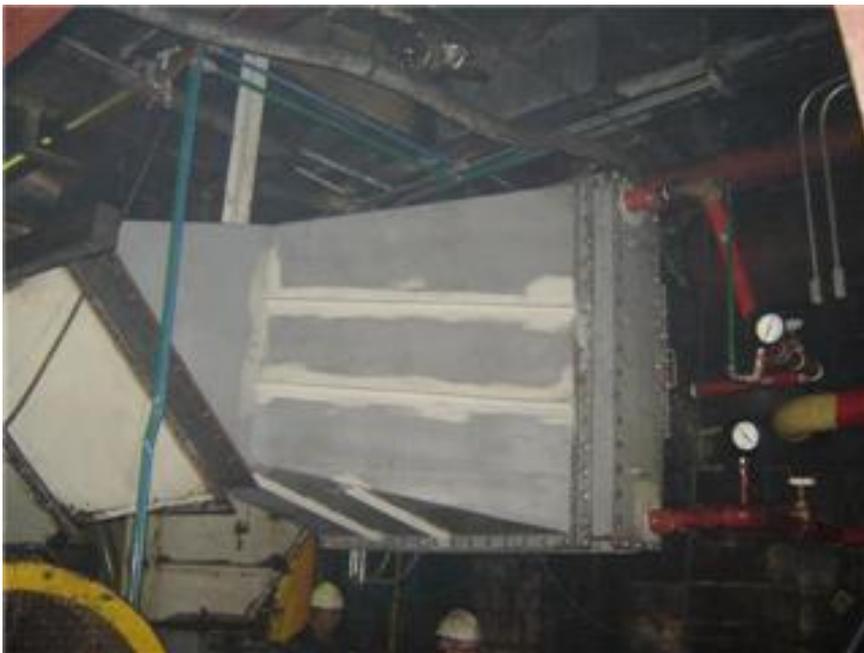
10 VALIDACION DE LA MEJORA DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE MOLDURA

Luego de hacer el montaje del intercambiador de calor, se hace la comparación de las condiciones de trabajo del sistema de enfriamiento de moldura actualmente contra las que tenía anteriormente, para hacer posible la validación de la mejora.

Tabla 5. Validación de la mejora

ANTES	DESPUES
La Temperatura del aire de enfriamiento es de 28°C, Teniendo buenas condiciones de trabajo	La Temperatura del aire de enfriamiento es de 31°C, Manteniendo las buenas condiciones de trabajo
Presencia de charcos y lodos en el cuarto de ventiladores	Se eliminaron la presencia de charcos y lodos en el cuarto de ventiladores
Por la humedad, presencia de corrosión en el sistema de enfriamiento y en el cuarto de ventiladores	Se disminuyó la presencia de corrosión en el sistema de enfriamiento y el cuarto de ventiladores
Presencia de corrosión en los mecanismos y partes de la máquina, produciendo fallas.	Se disminuyó la presencia de corrosión en los mecanismos y partes de la máquina.

Fotografía 17. Antes y después del montaje



O-I PELDAR, 2008

11 NUEVAS VIAS DE INVESTIGACION

Es también parte del proyecto dejar planteadas nuevas vías de investigación, con el propósito de tener una visión, siempre de mejoramiento continuo, y poder optimizar el proceso de enfriamiento de moldura.

Para la optimización del proyecto, puede ser el estudio, de la posibilidad de combinar el agua proveniente de las torres de enfriamiento a una temperatura ambiente, con el agua enfriada por un Chiller⁹, del cual sale agua por debajo de la temperatura ambiente, reduciendo aun más la temperatura del aire, por la transferencia de calor y mejorando así el desempeño del sistema de enfriamiento. O buscar la posibilidad de que el agua de las torres de enfriamiento sea reemplazada totalmente por el agua del chiller.

El chiller básicamente opera como lo indica el ciclo de Carnot¹⁰: un fluido refrigerante (usualmente conocido a través de la marca comercial Freón) en estado líquido, se fuerza a experimentar su evaporación debido a una baja de presión en el sector conocido como evaporador adonde además y fundamentalmente, toma calor del agua con la que indirectamente se pone en contacto. Es exactamente en ese lugar adonde se produce el enfriamiento propiamente dicho del agua.

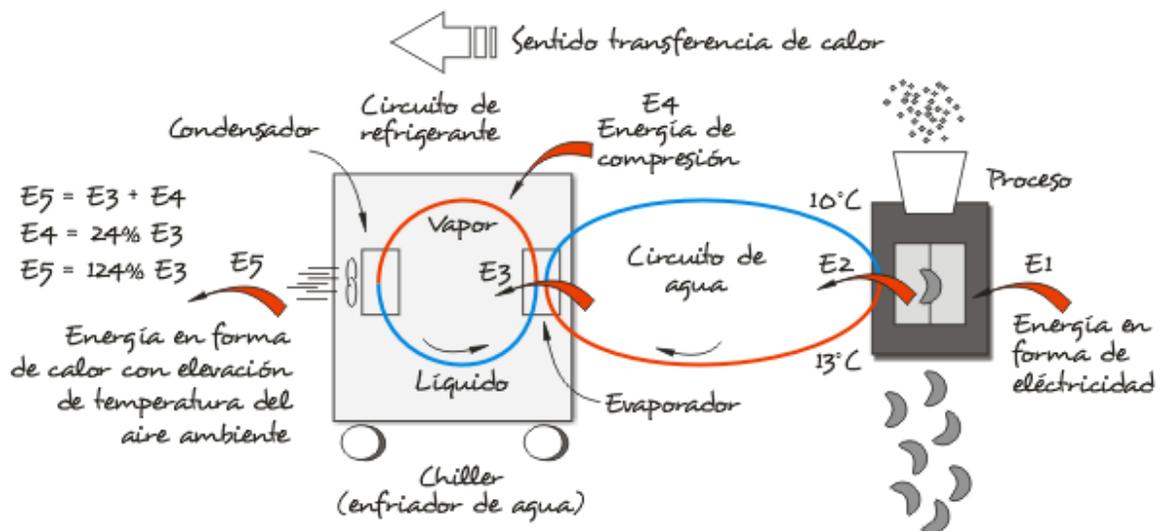
⁹ Unidad enfriadora de líquidos por compresión de vapor

¹⁰ ciclo termodinámico ideal reversible entre dos fuentes de temperatura, en el cual el rendimiento es máximo

Ahora el agua sigue camino al proceso por su circuito y el refrigerante en estado de vapor (mal denominado gas) es comprimido por un compresor frigorífico obligándolo a recorrer el circuito de refrigeración. Seguidamente el refrigerante, en estado de vapor, ingresa al condensador adonde se convierte al estado líquido liberando el calor que sustrajo en el evaporador. Para esto, en el caso de los chiller condensados por aire, el calor sale del refrigerante para pasar al aire ambiente por acción de unos ventiladores que fuerzan al aire a intercambiar con el refrigerante.

En resumen, en el evaporador, el agua se enfría (baja su temperatura) mientras que el refrigerante se calienta (se evapora sin cambio de temperatura) en la exacta misma medida. Después, en el condensador, el refrigerante vuelve al estado líquido cediéndole calor al aire ambiente (que eleva su temperatura). Esta liberación de calor, al efectuarse en un lugar distinto al original (enfriamiento del agua), consigue un efecto neto de "movimiento de calor" del proceso al ambiente. (@TODOCHILLER, 2008)

Figura 19. Funcionamiento de un chiller



(@TODOCHILLER, 2008)

Otra opción de mejoramiento sería el cambio del agua que va por los tubos del intercambiador, por un líquido refrigerante adecuado, para el proceso según las propiedades y características, reduciendo en un mayor grado la temperatura del aire. Las siguientes son características que debe de tener un refrigerante:

- Baja temperatura de ebullición: Un punto de ebullición por debajo de la temperatura ambiente, a presión atmosférica. (Evaporador)
- Fácilmente manejable en estado líquido: El punto de ebullición debe ser controlable con facilidad de modo que su capacidad de absorber calor sea controlable también.
- Alto calor latente de vaporización: Cuanto mayor sea el calor latente de vaporización, mayor será el calor absorbido por kilogramo de refrigerante en circulación.
- No inflamable, no explosivo, no tóxico.
- Químicamente estable: A fin de tolerar años de repetidos cambios de estado.
- No corrosivo: Para asegurar que en la construcción del sistema puedan usarse materiales comunes y la larga vida de todos los componentes.
- Moderadas presiones de trabajo: las elevadas presiones de condensación (mayor a $25\text{--}28 \text{ Kg/cm}^2$) requieren un equipo extra pesado. La operación en vacío (menor a 0 Kg/cm^2) introduce la posibilidad de penetración de aire en el sistema.
- Fácil detección y localización de pérdidas: Las pérdidas producen la disminución del refrigerante y la contaminación del sistema.
- Inocuo para los aceites lubricantes: La acción del refrigerante en los aceites lubricantes no debe alterar la acción de lubricación.
- Bajo punto de congelación: La temperatura de congelación tiene que estar muy por debajo de cualquier temperatura a la cuál pueda operar el evaporador.

- Alta temperatura crítica: Un vapor que no se condense a temperatura mayor que su valor crítico, sin importar cuál elevada sea la presión. La mayoría de los refrigerantes poseen críticas superiores a los 93°C.
- Moderado volumen específico de vapor: Para reducir al mínimo el tamaño del compresor.
- Bajo costo: A fin de mantener el precio del equipo dentro de lo razonable y asegurar el servicio adecuado cuando sea necesario.

Los refrigerantes se dividen en 3 grupos según las anteriores características:

Refrigerantes del grupo 1: Son los de toxicidad e inflamabilidad despreciables. De ellos, los refrigerantes 11, 113 y 114 se emplean en compresores centrífugos.

Los refrigerantes 12, 22, 500 y 502 se usan normalmente en compresores alternativos y en los centrífugos de elevada capacidad.

Refrigerantes del grupo 2: Son los tóxicos o inflamables, o ambas cosas.

El grupo incluye el Amoníaco, Cloruro de etilo, Cloruro de metilo y Dióxido de azufre, pero solo el Amoníaco (r-717) se utiliza aún en cierto grado.

Refrigerantes del grupo 3: Estos refrigerantes son muy inflamables y explosivos. A causa de su bajo costo se utilizan donde el peligro está siempre presente y su uso no agrega otro peligro, como por ejemplo, en las plantas petroquímicas y en las refinerías de petróleo. El grupo incluye el Butano, Propano, Isobutano, Etano, Etileno, Propileno y Metano. Estos refrigerantes deben trabajar a presiones mayores que la atmosférica para evitar que aumente el peligro de explosión. Las presiones mayores que la atmosféricas impiden la penetración de aire por pérdidas porque es la mezcla aire-refrigerante la que resulta potencialmente peligrosa. (@QUIMOBASICOS, 2008)

CONCLUSIONES

Se describió el proceso de la formación de envases de vidrio, explicando paso a paso el ciclo productivo de la empresa O-I PELDAR, hasta ubicar el proceso donde se encuentra el sistema de enfriamiento de moldura.

El sistema de enfriamiento de moldura es una parte esencial del proceso de la formación del envase, porque al mantener la moldura con la temperatura ideal (entre 455-483°C), hay una buena transferencia de calor entre esta y el vidrio dando como resultado un envase sin defectos.

El sistema de enfriamiento por aspersion de agua es causante de corrosión, que se presenta tanto en mecanismos de la máquina formadora que afectan la producción, como en la parte estructural del sistema de enfriamiento, la máquina y la empresa. También es causante de lodos y charcos de agua que pueden causar accidentes.

La solución a los problemas identificados, se resume en enfriar el aire, evitando que este entre en contacto directo con el agua. Siendo un intercambiador de calor la solución, al ser capaz de enfriar un fluido transfiriendo calor a otro, separando ambos.

Luego de analizar cada una de las características de los diferentes tipos de intercambiador de calor, el intercambiador de flujo cruzado es el más indicado por la facilidad en el montaje, el bajo costo de inversión, el mantenimiento no especializado y la buena eficiencia térmica, con respecto a los otros intercambiadores.

El área del intercambiador de calor, debe de ser la misma del ducto que hay entre el ventilador y el manifold de la máquina formadora, para no cambiar las condiciones del aire, como el incremento en la temperatura por el aumento en la presión, por reducción de área. Siendo este el lugar de instalación del intercambiador.

De acuerdo a la posición del intercambiador se diseñaron dos transiciones, una de la salida del ventilador al intercambiador, con deflectores con el fin de hacer llegar el aire uniformemente a este y así obtener una mayor eficiencia en la transferencia de calor, y la otra del intercambiador al manifold.

El intercambiador enfría el aire para la refrigeración de moldura de 60°C a 31°C, con un intercambio de calor de 225407.56 *W*, manteniendo la temperatura adecuada para evitar defectos en el proceso de formación de envases.

Como resultado de la eliminación del agua en el sistema de enfriamiento de moldura, se observó la disminución de corrosión, en el cuarto de ventiladores como en los mecanismos y partes de la máquina. También se eliminaron totalmente los lodos y charcos en el cuarto de ventiladores, previniendo posibles accidentes.

Como mejoramiento al proyecto, puede haber la posibilidad de utilizar agua de un chiller en el intercambiador, el cual entrega agua a una temperatura más baja que una torre de enfriamiento, dando como resultado una reducción mayor de la temperatura del aire.

RECOMENDACIONES

Realizar un seguimiento cercano del funcionamiento del sistema de enfriamiento para detectar falencias y realizar mejoras para contemplar la implementación del intercambiador de calor a las otras máquinas de la empresa O-I PELDAR.

Considerar el cambio del agua de las torres de enfriamiento que entran al intercambiador, por agua de un Chiller, o puede ser la combinación de ambos, y así mejorar las condiciones de enfriamiento de aire.

BIBLIOGRAFIA

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros de investigación. Bogotá-Colombia: ICONTEC, 2002. 37p (NTC 1486).

KREITH, Frank y BOHN, Mark S. Principios de Transferencia de Calor. Trad. Rodolfo Navarro Salas. Sexta Edición. México: Thomson Learning, 2001. 695p. ISBN 9706860630

SUARÉZ ARANGO, Santiago. Properties of Glasses. O-I PELDAR. Medellín Colombia. 2007. 15p.

WELTY, James R. Transferencia de Calor Aplicada a la Ingeniería. Trad. Sergio Fernández Everst. México: Limusa, 1996. 539p. ISBN 968180628X

REFERENCIAS DE INTERNET

@MONOGRAFÍAS

Monografías. Trabajos. Vidrio. [En Línea]. [Citado Enero 10 de 2008]

Disponible desde internet:

<<http://www.monografias.com/trabajos11/vidrio/vidrio.shtml>>

@TEXTOSCIENTÍFICOS

Textos Científicos. Química. Corrosión. [En Línea]. [Citado Marzo 02 de 2008]

Disponible desde internet:

<<http://www.textoscientificos.com/quimica/corrosion>>

@MI PAGINA.CANTV

Mi pagina Cantv. Clase 24. [En Línea]. [Citado Marzo 06 de 2008]

Disponible desde internet:

<<http://mipagina.cantv.net/ulacoa/clase24.pdf>>

@PROENERGIA

Proenergia. Intercambio de calor. Intercambiadores de Calor. [En Línea]. [Citado Marzo 06 de 2008]

Disponible desde internet:

<<http://proenergia.com/id27.html>>

@WCR-INTERCAMBIADORES DE CALOR

WCR Intercambiadores de calor. Intercambiadores de Calor. [En línea]. [Citado Marzo 16 de 2008]

Disponible desde internet:

<<http://www.wcr-intercambiadoresdecalor.com/phe/tphe.htm>>

@TODOCHILLER

Todo Chiller. Teoría del Chiller. [En línea]. [Citado Marzo 28 de 2008]

Disponible desde internet:

<<http://www.todochiller.com.ar/Teoria.html>>

@QUIMOBÁSICOS

Quimo Básicos. Productos. [En línea]. [Citado Abril 13 de 2008]

Disponible desde internet:

<<http://www.quimobasicos.com.mx/default2.htm>>

ANEXOS

ANEXO 1. PLANOS DEL DISEÑO DE LAS TRANSICIONES VENTILADOR-
INTERCAMBIADOR E INTERCAMBIADOR-MANIFOLD