

OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DE UN HORNO DE SECADO DE PIEZAS DE PRFV IMPLEMENTANDO PML

Energetic optimization of drying of pieces of PRFV in oven with a PML methodology

RESUMEN

En el presente artículo se pretende mostrar las diferentes alternativas de PML en la fase de optimización de un horno de secado de piezas de PRFV – Plástico Reforzado de Fibra de Vidrio, evidenciadas en el área de carrusel en una empresa del sector metalmeccánico. Se logró disminuir el consumo de combustible en un 50%, suprimiendo un quemador de Gas y conservando la eficiencia de secado en el proceso.

PALABRAS CLAVES: PML- Producción más Limpia, PRFV-Plástico reforzado de fibra de vidrio, emisiones, contaminación.

ABSTRACT

In present article to show the different alternatives of cleaner production in the phase of optimization of drying of pieces of PRFV- Plastic Reinforced with Fiberglass in a circle oven. To shown in the carousel area in a factory of metallurgical sector, It managed to diminish the consumption of fuel in 50%, suppressing a gas burner and conserving the efficiency of process drying.

KEYWORDS: *cleaner production, plastic reinforced with fiberglass, air emissions, pollution.*

JORGE AUGUSTO MONTOYA

Ingeniero Mecánico, Ph.D.
Profesor Asociado
Grupo Producción Más Limpia
Universidad Tecnológica de Pereira
jorgemontoya@utp.edu.co

CARLOS ALBERTO OROZCO

Ingeniero Mecánico, M.Sc.
Profesor Titular
Grupo de Producción Más Limpia
Universidad Tecnológica de Pereira
corozco@utp.edu.co

HÉCTOR ÁLVARO GONZÁLEZ

Ingeniero Mecánico, M.Sc.
Profesor Titular
Grupo de Producción Más Limpia
Universidad Tecnológica de Pereira
hagonza@utp.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

La fabricación de piezas de plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV) es un proceso industrial donde se requiere de energía eléctrica, principalmente en el área de laminados y detallado de las cabinas, afectando directamente los costos operacionales de la organización. Las principales materias primas utilizadas son: resinas, peróxidos, cloruro de metilo, thinner, entre otras, que requieren de un proceso de curado y secado con quemadores a Gas.

Este artículo tiene como contenido una metodología explicando los pasos que se tuvieron en cuenta para alcanzar los resultados esperados por la empresa, realizando un diagnóstico donde se identifican las principales problemáticas energéticas encontradas y posteriormente se describen las diferentes alternativas de PML - Producción Más Limpia implementadas. Finalmente se presentan los resultados obtenidos.

2. METODOLOGÍA

Para alcanzar los resultados que se obtuvieron durante la realización del proyecto, se utilizó la metodología “Análisis de la Producción más Limpia” (APML), propuesta por el United Nations Environment Programme (UNEP)[1].

El proyecto se dividió en dos fases, una primera donde se muestra el interés de la empresa por dar solución a sus problemas ambientales generados por sus procesos productivos del área de plástico, de esta manera se empieza a realizar todo un diagnóstico para identificar las problemáticas ambientales, por medio de diagramas de flujo de los procesos, balances de masa y mediciones directas de la generación de contaminantes.

Durante la segunda fase, fue la fase de resultados de acuerdo a las problemáticas ambientales identificadas, se generaron las diferentes opciones de producción más limpia teniendo en cuenta aspectos en el respectivo orden como: cambio de materias primas, revisión de tecnologías, métodos y procedimientos, implementación de equipos y tecnologías novedosas.

Finalmente se seleccionaron las alternativas con mayor viabilidad para ser implementadas.

DIAGNÓSTICO INICIAL

CAUDALES ACTUALES DE LAS CABINAS,

Los cálculos están basados en la medición de las velocidades con y sin filtro, En síntesis se observa una reducción de las velocidades a la mitad, es decir los caudales de los ventiladores se reducen a la mitad por las diferentes pérdidas que hay en el sistema,

Carrusel Laminado 1

Área transversal doble: $A = 2 \times 0,5 \times 1,92 = 0,96 \text{ m}^2 \times 2$

Velocidad sin filtro: $V_{sf} = 0,6 - 1,4 \text{ m/s}$ sin filtro

Velocidad con filtro: $V_{cf} = N, R$ (no registra) con filtro

Con la velocidad máxima: $V = 1,4 \text{ m/s}$ (275 fpm) se estima el caudal.

Caudal por las dos bocas: $\dot{V} = 2 \times 0,96 \text{ m}^2 \times 1,4 \text{ m/s} = 2,69 \text{ m}^3/\text{s}$

$\dot{V} = 5694 \text{ cfm}$

Caudal por una boca: $\dot{V} = 2847 \text{ cfm}$ (estimado)

Potencia de motor instalado: $\dot{W}_m = 5 \text{ hp}$

Carrusel Laminado 2

Cabina idéntica:

Área transversal doble: $A = 2 \times 0,96 \text{ m}^2$

Velocidad sin filtro: $V_{sf} = 0,6 - 1,2 \text{ m/s}$ con filtro, $V_{max} = 1,2 \text{ m/s}$ (236 fpm)

$V_{sf} = 1,1 - 2,4 \text{ m/s}$ sin filtro, $V_{max} = 2,4 \text{ m/s}$ (472 fpm)

Caudal por las dos bocas sin filtro: $\dot{V}_{sf} = 2 \times 0,96 \text{ m}^2 \times 1,2 \text{ m/s} = 2,3 \text{ m}^3/\text{s}$ (4868,4 cfm)

$\dot{V}_{sf} = 2 \times 0,96 \text{ m}^2 \times 2,4 \text{ m/s} = 4,6 \text{ m}^3/\text{s}$ (9754 cfm)

$\dot{W}_m = 5 \text{ hp}$

Carrusel Gel-Coat

Cabina similar a laminados:

Área transversal doble: $A = 2 \times 0,96 \text{ m}^2 = 1,92 \text{ m}^2$

$V_{sf} = 0,6 \text{ m/s}$

$V_{sf} = 1,2 \text{ m/s}$

$\dot{V}_{sf} = 2 \times 0,96 \text{ m}^2 \times 1,2 \text{ m/s} = 2,3 \text{ m}^3/\text{s}$ (4868,4 cfm)

$\dot{V}_{sf} = 2 \times 0,96 \text{ m}^2 \times 0,6 \text{ m/s} = 1,15 \text{ m}^3/\text{s}$ (2434,3 cfm)

$\dot{W} = 5 \text{ hp}$

SISTEMA ACTUAL	AREA DE LAS REJILLAS (m ²)	VELOCIDAD (m/s)	CAUDAL (m ³ /s) (cfm)	POTEN. (hp)	VOL. (m ³)
Carrusel Laminado 1	1.92	1.4	(1,35)(2847) (2,69)(5694)	5	6613
Carrusel Laminado 2	1.92	1.2	(2,3)(4868)	5	
		1.4	(4,6)(9754)		
Carrusel Gel coat	1.92	0.6	(1,15)(2434)	5	
		1.2	(2,3)(4869)		

Tabla 1. Datos obtenidos de mediciones de caudales y potencia

Se tomó como referencia la legislación ambiental, Resolución No. 2400, Título III, Capítulo VIII, Artículo 154, de mayo 22 de 1979, del Ministerio de Salud Pública [4] que “estipula que para Colombia aplican los Valores Límites Permisibles (TLV’s)” recomendados por la ACGIH (American Conference of Government Industrial Hygienists) [5].

TUNEL DE CURADO Y SECADO

Con la finalidad de optimizar el uso de los quemadores utilizados en la zona de curado de piezas en el área de fibra de vidrio y disminuir el consumo de combustible o posiblemente sustituir el uso de uno de los dos quemadores, se realizaron una serie de actividades y estudios.

Primero se evidenciaron las inconsistencias del sistema, donde se encontró:

- Es un sistema abierto: en la entrada y salida de este túnel no hay puertas ni algún material que evite la pérdida de calor.
- Las paredes de los módulos que lo contienen están fabricadas en vidrio y lamina, y permiten una pérdida de calor significativa.
- El calor de la combustión no tiene un flujo direccional óptimo.
- En el tema de la combustión, una vez cicla el quemador este se apaga y permanece el ventilador encendido inyectando aire forzado frío a las piezas y el túnel, lo que implica una pérdida de calor forzado.

Con el fin de mejorar las condiciones del sistema se implementaron las siguientes medidas:

La planta de producción tiene un “túnel” de calentamiento cuyas dimensiones son 13 m x 4,10 m x 3 m, en el que se encuentran dos quemadores (ver figuras 1 y 5) con aire forzado cuya especificación térmica efectiva por quemador es de 340.000 BTU/ hora¹, su uso se basa en aplicar calor directo sobre la pieza laminada con dos propósitos:

- Lograr el tiempo de gel del laminado en el menor tiempo posible: ya que este depende del porcentaje de catalizador², tipo de resina, temperatura de la mezcla.
- Lograr el curado de la pieza en corto tiempo: para poder desmoldar la pieza fabricada.

¹ Potencia del motor : 0,09kW, alimentación elect: 220v, contrapresión máx.: 16mm H₂O, potencia térmica en kW : min.: 42 - max: 116

² El rango de % de emisión del catalizador, deben oscilar en el rango de 1,0% a 2,5%

Así, se proponen y realizan las siguientes mejoras para optimizar el proceso de secado:

1. Se colocó una pared de aislamiento térmico en poliuretano al interior de las paredes metálicas existentes.
2. La inyección del poliuretano en las paredes la hizo la empresa Busscar, aprovechando que ellos realizan estos procesos de inyección en otras aplicaciones. La conductividad térmica de este poliuretano es de $0.022 \text{ m}^2/\text{°K}$. El coeficiente global de transferencia de calor U se redujo de $6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{-°K})$ a un valor de $0.76 \text{ W}/(\text{m}^2\text{-°K})$, es decir se redujeron las pérdidas por la paredes aproximadamente 8 veces
3. Se colocaron cortinas en polietileno a la entrada y salida del secador con el objeto de conservar mayor tiempo el calor al interior del mismo.
4. A la salida del quemador del secador que estaba a ras de techo se instalaron difusores de aire para aproximar la salida del aire caliente a las piezas y así evitar una caída de la temperatura del aire del orden de 10°C . Los difusores fueron fabricados e instalados por personal de la empresa.
5. Con el fin de mejorar el control de temperatura de los quemadores se reubicó el sensor de temperatura que activa el control automático del secador, el cual estaba muy retirado de la zona de aire caliente, lo que permitía que el quemador operara continuamente. Con la reubicación, y con la misma temperatura de control 40°C el quemador opera intermitentemente, es decir, tiene ciclos de parada en donde no hay consumo de gas, generando un ahorro de energía.
6. Como consecuencia de todas las estrategias la operación del secador requiere para la mayoría del tiempo de un solo quemador, salvo en las horas de la mañana entre 6:00 am y 8:00 am.

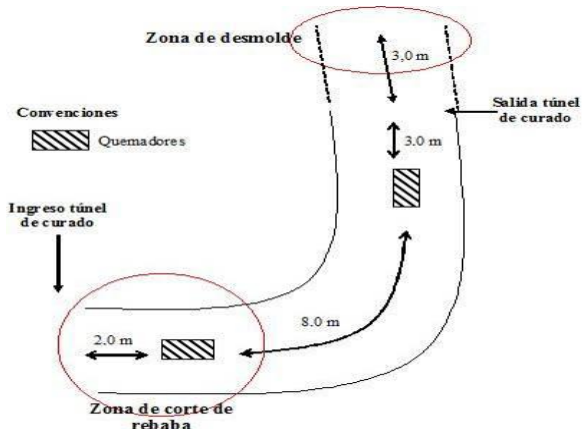


Figura 1. Diagrama general en planta del túnel de curado laminado área de carrusel. Fuente: Busscar de Colombia S.A

En la figura 1 se presenta un bosquejo general del túnel de curado del carrusel y las distancias aproximadas entre

entradas, salidas y quemadores; en la figuras 2 y 3, se muestra cómo estaban las áreas.



Figura 2. Entrada (izquierda) y salida (derecha) de la cabina de curado



Figura 1. Boquilla de combustión para curado de piezas

En la figura 4 se presenta un esquema de la dirección del calor generado por la combustión y sus pérdidas.

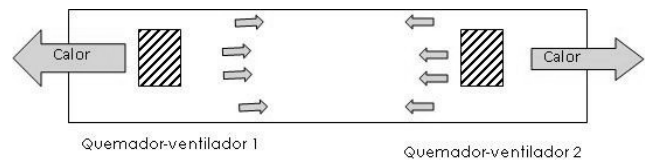


Figura 4. Situación inicial túnel de curado. Fuente: Busscar de Colombia S.A

RESULTADOS

Determinación de la relación temperatura vs. tiempo de curado inicial (Antes de modificaciones)

De la tabla N° 2(7), se obtiene la grafica que se presenta en figura 6, en la cual se compara en escala las diferencias entre las temperaturas ambiental, del

laminado, la del ambiente dentro del túnel de curado, de la pieza inmediatamente después del curado (un poco mas delante de la boquilla del horno) y por último la temperatura del molde.

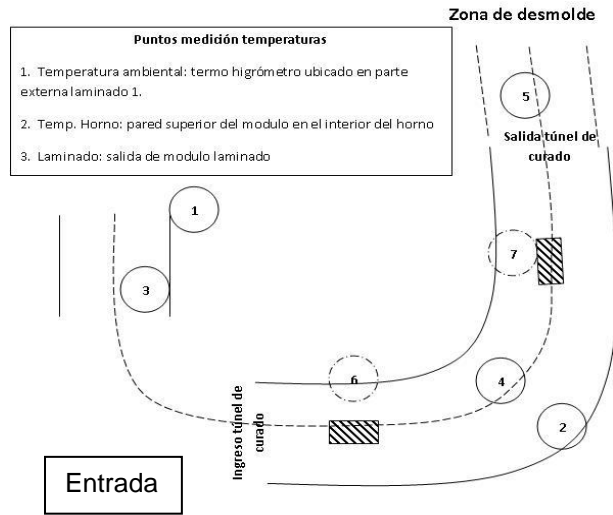


Figura 5. Puntos de muestreo curvas de Temperatura VS Tiempo de curado. Fuente: Busscar de Colombia S.A

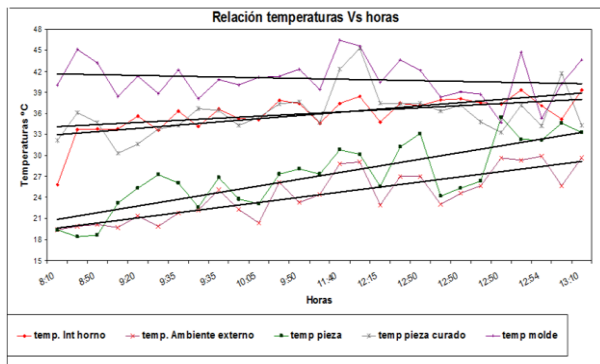


Figura 6. Relación de temperaturas VS horas

De manera general se evidencia que la temperatura de la capa de laminado es superior a la del ambiente debido a que en el punto donde se efectúa la medición ya ha iniciado un proceso de curado que genera cierta elevación de la temperatura³ (proceso exotérmico) sumado con el calor inherente de la exotérmica del curado del gel coat y el equivalente al estar expuestos (molde- gel coat).

Se realizó un seguimiento a los tiempos del ciclaje de los dos quemadores del túnel de curado, obteniendo datos de la temperatura interna a diferentes alturas en la cercanía a las boquillas de combustión, en la que se relacionan la temperatura externa del ambiente, la temperatura interna en el horno (punto 6 y 7 de la figura 5) y los datos obtenidos de temperatura de la termocupla; en la tabla 3

³ La primera capa, ha aumentado su temperatura máxima después de lograr su punto de gel, y la segunda capa esta próxima a lograrlo.

se presentan los datos obtenidos para el quemador 1 y 2 respectivamente.

MEDICIÓN DE TEMPERATURAS									
Ambiente Ext.		Ambiente Horno		Laminado (°C)		Curado (°C)		T molde (°C)	% Catalizador
Hora	T (°C)	Hora	T (°C)	Hora	T pieza	Hora	T pieza		
07:35	19.7	07:33	33.8	07:32	23.2	09:25	30.3	38.4	2.7
08:05	19.9	08:06	33.6	08:09	27.2	09:50	33.8	38.8	3
08:45	20.4	08:45	35.1	08:04	23.1	10:05	35.4	41.1	3
11:00	22.9	11:00	34.8	11:00	25.6	12:15	37.4	40.4	2.3
12:03	25.7	12:01	35.2	12:00	34.6	13:00	41.7	40.2	1.3
06:50	19.4	06:50	25.8	06:50	19.4	08:10	32.1	40.1	2.1
07:59	21.4	07:58	35.6	07:58	25.3	09:20	31.6	41.3	1.9
08:07	21.8	08:05	36.3	08:05	26.1	09:35	34.3	42.2	1.7
09:10	23.3	09:10	37.4	09:10	28.1	09:50	37.7	42.3	1.7
07:00	19.9	06:58	33.7	06:58	18.4	08:35	36.1	45.1	2.5
07:05	20.1	07:05	33.8	07:05	18.6	08:50	34.7	43.2	2.5
10:15	28.8	10:15	37.4	10:15	30.8	11:40	42.3	46.4	1.5
10:54	29.1	10:50	38.4	10:50	30.1	11:45	45.3	45.6	1.3
11:50	29.3	11:45	39.3	11:45	32.3	12:50	37.2	44.7	1.1
12:25	29.6	12:45	39.3	12:25	33.3	13:10	34.3	43.6	1.2
08:21	22.2	08:21	34.1	08:20	22.6	09:45	36.7	38.1	2.5
08:40	22.3	08:41	35.3	08:40	23.8	09:58	34.3	40.1	2.1
11:37	29.6	11:37	37.3	11:35	35.4	12:50	33.3	34.7	2
11:53	29.9	11:53	37.1	11:50	32.2	12:54	34.2	35.3	2
09:40	24.4	09:35	34.6	09:35	27.3	10:15	34.7	39.4	2
11:19	23	11:15	37.9	11:15	24.2	12:40	36.3	38.3	1.7
11:27	24.6	11:25	38.1	11:25	25.3	12:50	37.2	39.1	1.8
11:35	25.7	11:32	37.5	11:30	26.3	13:00	34.8	38.7	1.5
08:30	25.1	08:30	36.6	08:30	26.8	09:35	36.4	40.8	1.3
08:52	26.2	08:50	37.8	08:50	27.3	09:50	37.3	41.3	1.5
11:01	27	11:00	37.4	11:00	31.2	12:45	37.3	43.6	1.5
11:10	27	11:10	37.1	11:10	32.1	12:50	37.4	42.1	1.3

Tabla 2. Datos obtenidos de mediciones de temperaturas

Determinación de los ciclos de encendido – apagado de los quemadores

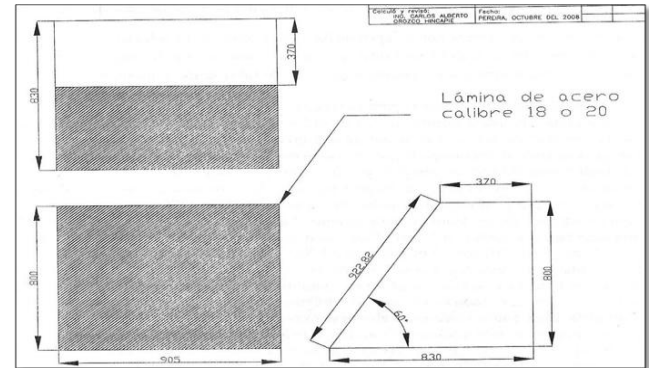


Figura 7. Planos de Enfocador de Aire

En la Figura 11, se presenta el enfocador instalado en el túnel de curado de piezas, que se muestra en el plano de la Figura 7. En el horno de combustión de la zona “curado del gel coat”. Se exceptúan 3 datos antes de las 9:00 a.m., los cuales se deben a que los moldes fueron pintados (gel coat) desde al día anterior y por tal motivo no han recibido carga térmica alguna el molde ni la capa del poliéster lo que hace que sus tiempos de gel sean más extensos.

HORA		TEMPERATURA		
ENCENDIDO	APAGADO	AMBIENTE EXT.	HORNO	TERMOSTATO
06:53	*****	20	20	20
*****	07:08		32	40.4
07:10	*****		31.5	38
*****	07:15		32.5	40.5
07:17	*****		32.2	37.2
*****	07:22	19.8	33	40.5
07:24	*****		32.3	37.2
*****	07:27		33.6	40.5
07:29	*****		33.2	36.5
*****	07:35		33.3	40.5
07:37	*****	20.7	33	38.3
*****	07:39		33.3	40.5
07:41	*****		33.1	38.3
*****	07:44		33.4	40.5
07:46	*****		33.2	38.6
*****	07:49		33.5	40.5
07:51	*****		33.1	38.2
*****	07:54		33.4	40.6
07:57	*****		33.4	38.5
*****	08:02		34.6	40.5
08:04	*****	34	38.6	
*****	08:06	34.1	40.7	
08:09	*****	33.8	38.3	
*****	08:12	34.4	40.6	
08:14	*****	34	38	

Tabla 3. Comparación transferencia y ciclaje del quemador

Nótese que la temperatura del horno, oscila en los valores de 36 a 39°C, mostrando variaciones significativas con aumentos y caídas menores debido al sistema de ciclaje del quemador, cabe resaltar la tendencia al incremento de temperatura propio con una línea de tendencia similar a la del ambiente pero esta vez con el incremento térmico de cada tiempo de ciclaje.

Para el caso del curado, se nota un poco superpuesta esta grafica junto con la del horno, pero cabe resaltar que en el momento que se efectúa la medición, ya ha avanzado por fuera del túnel aproximadamente 10 m de distancia la pieza del cual esta interactuando con el ambiente por un periodo de aproximadamente 30 minutos y a su vez cediendo el calor obtenido.

Determinación de la relación temperatura ambiental, % catalizador y tiempo de curado

Se elabora a partir de los datos obtenidos de la tabla N° 2, allí, se relacionan el tiempo de curado (para el desmolde), el porcentaje de catalizador y la temperatura ambiental, en la que se lleva a cabo la aplicación.

Relación % catalizador [4], temperatura ambiental Vs tiempo de curado

Nótese en la Figura 8, que de manera general ambas graficas son relativamente inversas. A temperaturas superiores a 23°C los porcentajes de catalizador son inferiores al 2% y tiempos de curado (punto de

desmolde) inferiores a 1 hora, de manera inversa, para temperaturas inferiores se usan % de catalizador mayor pero sus tiempos de curado se alargan significativamente, aun con el aporte térmico del horno quemador sigue siendo poco eficiente.

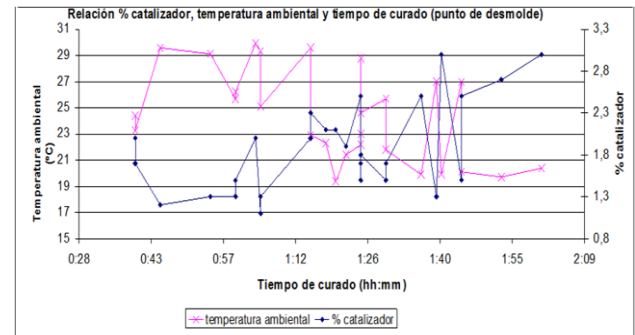


Figura 8. Relación% catalizador, temperatura ambiente y tiempo de curado (punto de desmolde). Fuente: Busscar de Colombia S.A

Disminución de capacidad térmica del túnel de curado por transferencia de calor al ambiente exterior

La reducción en perdida de calor de las laminas en los módulos; para el caso comparativo de paneles fabricados con 1 y 2 laminas se observan gradientes de temperatura muy bajos que van desde 0,6°C hasta 2°C, pero es más significativo para el caso de 1 lamina Vs 2 laminas + Poliuretano con valores que comprenden un mínimo de 1,2°C y un máximo de 8°C; se puede evidenciar en la figura N° 9.

Nótese que al aumentar la temperatura ambiental desde 22°C en adelante (después de las 10:00 am) hay una superposición de las curvas “temperatura transferida 2 laminas metálicas con PU” y la del set-point del quemador No 1 (utilizado para lograr el tiempo de gel) lo que predice que en este punto, los tiempos de ciclaje para el horno No 1 serian más extensos.

Al trazar una línea de tendencia en la curva “temperatura transferencia 1 lamina metálica” se deduce que la temperatura promedio es de 34°C equivalente a la necesaria para logra el curado de las piezas en el proceso normal, y otros valores promedio obtenidos son: para el caso de 2 láminas con poliuretano 39°C, para Q₁ es: 39,5°C y Q₂ es 45,63°C, de este modo, es posible disminuir las temperaturas de los set point de los quemadores (teórico) Q₁: 35 y Q₂ a 40°C para garantizar la temperatura interna del túnel de curado a 34°C (pero esta vez aislado).

Inyección de Poliuretano

Se implemento aislamiento térmico, inyectando con poliuretano las paredes del horno, disminuyendo las pérdidas de temperatura por transferencia al exterior de este.

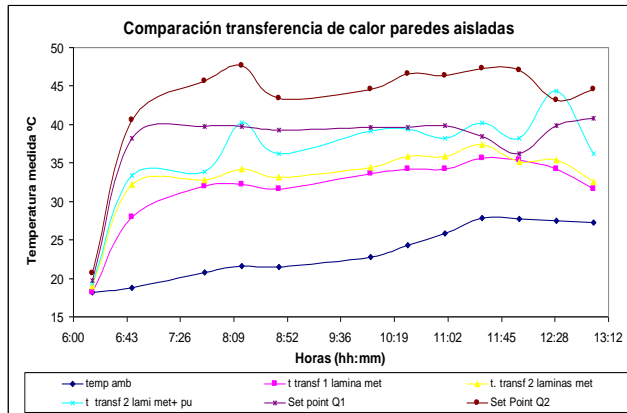


Figura 9. Comparación transferencia de calor con paredes aisladas

Instalación de cortinas plásticas en salida del túnel

Se instalaron en la entrada y salida del túnel de curado, dos placas metálicas y cortinas plásticas, para evitar pérdidas de calor en la parte superior del túnel, esta actividad garantiza un mejor aprovechamiento del poder calorífico de cada uno de los quemadores.

En la figura 10, se puede observar el antes y el después de la entrada y la salida del horno de curado.

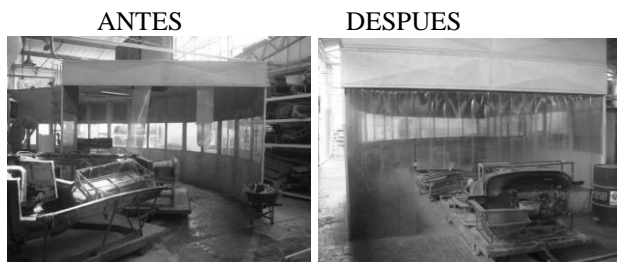


Figura 10. Instalación de placas metálicas y cortinas plásticas.

Fabricación de enfocadores



Figura 11. Túnel de curado de piezas y enfocador instalado

Se fabricó e instaló un enfocador en el quemador que está ubicado hacia el lado de la salida del horno,

direccionando el aire caliente que se desplaza hasta la entrada del horno, disminuyendo de esta manera las pérdidas de energía en la trayectoria de los gases hacia las piezas que se están curando. En la Figura 11, se observa el enfocador instalado en el túnel de curado.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En cuanto a los cambios realizados en el horno de secado, se logró optimizar su funcionamiento, logrando de esta manera los siguientes resultados [4] [4] :

- Mantener una temperatura constante al interior del túnel al usar espesor óptimo de aislamiento.
- Aumentar el tiempo de apagado-encendido del quemador (mejorar el ciclaje del horno).
- En un principio eran dos quemadores a gas, posterior a los ajuste solo se usó un quemador.
- Disminuir los consumos de combustible en un 50%, al implementar estrategias y dejar un solo quemador como respaldo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] United Nations Environment Programme (UNEP), metodología para el “Análisis de la Producción más Limpia” (APML).
- [2] Proyecto “Desarrollo, implementación y monitoreo de tecnologías de producción limpia en el proceso productivo del área de plástico reforzado con fibra de vidrio de la empresa Busscar de Colombia S.A”. Universidad Tecnológica de Pereira. Octubre de 2007.
- [3] Decreto 4741 del 30 de diciembre de 2005. Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.
- [4] Resolución No. 2400, Título III, Capítulo VIII, Artículo 154, de mayo 22 de 1979, del Ministerio de Salud Pública
- [5] TLV's and BEI's for Chemical substances and Physical Agents, ACGIH, United States of America, 2001.
- [6] Montoya Arango Jorge A, González Héctor, Ossa Julián A., Disminución de emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COVS) en la fabricación de piezas de plástico reforzado con fibra de vidrio, Scientia et Technica, N° 44, Abril 2010.
- [7] CRPML-EC, Informe Prototipo Safe Tainer. Busscar de Colombia. Julio de 2008.