

Diseño de un Túnel de Termocontracción para Etiquetar botellas con Película Termoencogible

G. Zambrano

Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de Producción (FIMCP)
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 Vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador
gusarzamca@hotmail.com

Resumen

En industrias ecuatorianas es común que se etiquete productos mediante películas termoencogibles principalmente presentaciones en botellas. De esta manera se tiene una mejor presentación y mayor protección. A la película puede colocársele una leyenda, que se vea el interior o no; según los requerimientos, sin importar la forma de la botella.

El proceso de etiquetado consiste en envolver el producto en una de estas películas y luego hacerlo pasar por un túnel, la película al ser calentada dentro del túnel se contrae y le ofrece a la botella la apariencia final.

El objetivo principal de este artículo es diseñar un túnel para películas de PVC; utilizando materiales y elementos disponibles en el mercado local, que su operación sea de bajo costo y fácil mantenimiento para así presentar una alternativa de solución más acorde con la realidad nacional. Para cumplir con esto se ha decidido que el horno funcione con GLP (Gas Licuado de Petróleo).

En el diseño debe obtenerse una adhesión de la etiqueta a la botella y al mismo tiempo no dañar al producto por efecto del calor, por lo que la temperatura de operación y el tiempo de exposición es crítica.

Palabras Claves: *Diseño, Túnel, Termocontracción, PVC*

Abstract

In Ecuadorian industries it is common that labeled products through shrink films specially for bottles. Which allow to have a better presentation and better protection. The film can be printed a legend, the film could be transparent or not; according to the requirements, without care the shape of the bottle.

The labeled process consists on wrapping the product in one of these films and then to make it go through the tunnel, the film being heated inside the tunnel contracts and offers to the bottle the final appearance.

The main objective of this article is to design a tunnel for films of PVC; using materials and available elements in the local market, the cheap operation and easy maintenance, so this way it would be an alternative solution according with the national reality. To fulfill this has been decided that the oven works with GLP (Liquefied Gas of Petroleum).

In the design should be obtained an adhesion between the label and the bottle and at the same time do not damage the product because of the heat, therefore the operation temperature and the time of exposition are critical.

Keywords: *Design, Shrink, PVC*

Recibido: Junio, 2007

Aceptado: Agosto, 2007

1. Introducción

La idea de desarrollar el presente proyecto surge debido a la necesidad de una empresa licorera situada en la ciudad de Guayaquil de incrementar su producción, para lo cual se ve obligado a adquirir equipos. Uno de estos equipos que se requieren, es un túnel de termo-contracción utilizado para etiquetar de botellas.

Debido al costo del equipo en el exterior no ha sido posible su adquisición por lo que se ha considerado la posibilidad de construirlo en el país. Al realizar el diseño del Túnel de termo contracción con ingeniería local se espera adecuarlo a las necesidades de la empresa tanto en producción así como en el costo de construcción, que en equipos importados especialmente en lo que respecta a producción son de demasiada capacidad para la demanda que tiene la empresa.

Una de las principales características que se pretende implementar es el uso de GLP (Gas Licuado de Petróleo) como fuente de energía para el calentamiento de la película a contraer.

En este artículo se analizara los elementos del equipo en el siguiente orden: Calor entregado a botella, Perdidas, Consumo de Combustible, Transportador, Cortinas de Aire, Análisis de Costos, Conclusiones y Recomendaciones.

2. Análisis Térmico del Horno

Para realizar el análisis térmico se tiene que cumplir el siguiente balance de energía:

$$E_{\text{carga}} + E_{\text{pérdidas}} = E_{\text{aire}} \quad [5]$$

Al dividir el balance de energía para un Δt se obtiene:

$$Q_{\text{paquete}} + Q_{\text{pérdidas}} = Q_{\text{aire}} \quad \text{ec. 1}[5]$$

2.1. Calor Entregado a Botella

El calor útil requerido para calentar cada componente de la carga, que entra al horno será:

$$Q = \dot{m} C_p (T_s - T_e) \quad \text{ec. 2}[5]$$

\dot{m} = Flujo de masa del Componente [kg/s]

C_p = Calor Especifico [J/kg °K]

T_s = Temperatura de Salida [°C]

T_e = Temperatura de Entrada [°C]

La botella más grande asumiendo propiedades del agua para el liquido contenido en el interior del recipiente. La carga esta formada por:

- Liquido
- Envase (PET)
- Película termoplástico (PVC): Dentro del mercado para el etiquetado de botellas se venden en espesores de 40 a 50 micras siendo temperatura de contracción de 65°C a un tiempo de 25 segundos.

Carga

Las botellas a analizar se asumen cilindros perfectos con las siguientes dimensiones:
Altura 370 mm.

Diámetro 124 mm.

La temperatura previa al ingreso al túnel de todos los componentes es 27°C.

Para determinar la masa de cada componente del paquete se tienen los siguientes datos:

- Película PVC: espesor 50 micras, alto 0.37 m, diámetro 0.124 m y densidad 1350 kg/m³.

$$m = \rho \times V$$

$$m = 1350 \text{Kg/m}^3 \cdot (\pi \times 0.124 \text{m} \times 5 \times 10^{-3} \text{m} \times 0.37 \text{m})$$

$$m = 9.73 \times 10^{-3} \text{ kg/Botella}$$

Para determinar el flujo másico se tiene la producción requerida que son 50 botellas/minuto, entonces tenemos:

$$\dot{m} = m \cdot P$$

$$\dot{m} = 9.73 \times 10^{-3} \frac{\text{Kg}}{\text{Botella}} \times 50 \frac{\text{Botella}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{min}}{60 \text{s}}$$

$$\dot{m} = 8.11 \times 10^{-3} \text{kg/s de PVC}$$

- Botella de PET: espesor 0.4 mm, alto 0.37 m, diámetro 0.124 m y densidad 1410 kg/m³

$$m = \rho \times V$$

$$m = 1410 \text{ kg/m}^3 \times (\pi \times 0.124 \text{m} \times 4 \times 10^{-4} \text{m} \times 0.37 \text{m})$$

$$m = 8.13 \times 10^{-2} \text{ kg/Botella}$$

De la misma manera en que se hizo con la película, entonces tenemos:

$$\dot{m} = m \cdot P$$

$$\dot{m} = 8.13 \times 10^{-2} \frac{\text{kg}}{\text{Botella}} \times 50 \frac{\text{Botella}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{min}}{60 \text{s}}$$

$$\dot{m} = 67.75 \times 10^{-3} \text{ kg/s de PET}$$

- Liquido son botellas de 3.5 litros: densidad 1000 Kg/m³

$$m = \rho \cdot V$$

$$m = 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 3.5 \text{litros} \times \frac{1 \text{m}^3}{1000 \text{litros}}$$

$$m = 3.5 \text{ kg/Botella}$$

De manera similar en que se hizo con anteriormente, se tiene:

$$\dot{m} = m \cdot P$$

$$\dot{m} = 3.5 \frac{\text{Kg}}{\text{Botella}} \times 50 \frac{\text{Botella}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{min}}{60 \text{s}}$$

$$\dot{m} = 2.915 \text{ kg/s de Agua}$$

La botella no esta totalmente llena de agua, también hay gas en el interior de la misma; cualquiera que sea este gas se asumirá propiedades del aire.

- Gas: Volumen de liquido contenido en la botella 3.5litros(0.0035 m³), alto total de la botella 0.37 m, diámetro 0.124 m y densidad 1.1614 Kg/m³

$$H_{AGUA} = \frac{4\sqrt{V}}{\pi D^2}$$

$$H_{AGUA} = \frac{4 \times 0.0035 \text{ m}^3}{\pi (0.124 \text{ m})^2} = 0.29 \text{ m}$$

$$H_{AIRE} = H_{total} - H_{AGUA}$$

$$H_{AIRE} = 0.37 - 0.29 = 0.08 \text{ m}$$

Teniendo la altura que ocupa el gas es posible calcular su masa:

$$m = \rho * V$$

$$m = 1.1614 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \left(\frac{0.08 \text{ m} \times \pi (0.124 \text{ m})^2}{4} \right)$$

$$m = 1.12 \times 10^{-3} \text{ kg/Botella}$$

Para determinar el flujo másico se tiene la producción requerida que son 100 botellas/minuto, entonces tenemos:

- $\dot{m} = m \times P$
- $\dot{m} = 1.12 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{Botella}}$

- $\dot{m} = 935 \times 10^{-6} \text{ kg/s de Aire}$

Para determinar la temperatura de salida de cada componente de la carga se usara un método de diferencias finitas. Para esto es necesaria una ecuación de conservación apropiada para cada punto nodal de temperatura desconocida (figura 1). Debido a los espesores que tienen la película y la botella como aproximación valida se puede considerar el sistema bidimensional.

Se asumirá lo siguiente:

- Condiciones Transitorias con propiedades constantes.
- No hay generación de energía.
- Transferencia de Calor a la Carga por Radiación es despreciable.

La ecuación general de diferencias finitas es:

$$2\rho_i P_i \Delta y_A C_p \frac{(T_1^{b+1} - T_1^b)}{\Delta t_i} = 2P_i \Delta y_A \frac{(T_{\infty} - T_1^b)}{R_{conv-cond}} + 2P_i \Delta y_A \frac{(T_2^b - T_1^b)}{R_{1-2}} + P_i \Delta x_i \frac{(T_1^{b+1} - T_1^b)}{\Delta y_A + \Delta y_{h20}}$$

ec.3[5]

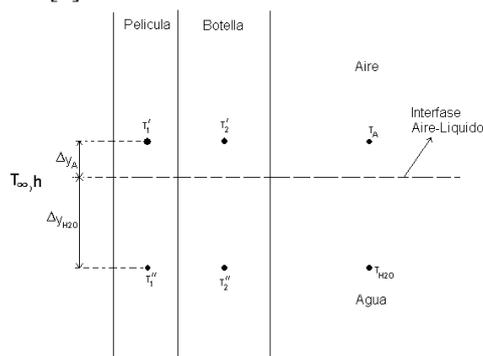


Figura 1. Carga: película, botella, aire y agua

En la figura 2 se tiene una mejor idea de la variación de temperatura de la carga.

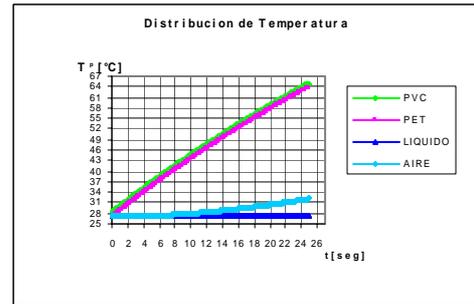


Figura 2. Distribución de temperatura de carga

Las temperaturas finales de cada componente son:

$$T_{S-Película} = 65^{\circ}\text{C}$$

$$T_{S-Botella} = 63.85^{\circ}\text{C}$$

$$T_{S-Aire} = 32.15^{\circ}\text{C}$$

$$T_{S-Agua} = 27.04^{\circ}\text{C}$$

Para cumplir con el objetivo deseado la temperatura de los gases dentro del horno es 227°C. Finalmente se procederá a calcular el requerimiento de calor con la ec. 2[5]:

$$Q_{Película} = \left(8.11 \times 10^{-3} \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \right) 1210 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} (65^{\circ}\text{C} - 27^{\circ}\text{C})$$

$$= 372.9 \text{ W}$$

$$Q_{Botella} = \left(67.75 \times 10^{-3} \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \right) 1250 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} (63.85^{\circ}\text{C} - 27^{\circ}\text{C})$$

$$= 3120.73 \text{ W}$$

$$Q_{Aire} = \left(935 \times 10^{-6} \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \right) 1007 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} (32.15^{\circ}\text{C} - 27^{\circ}\text{C})$$

$$= 4.85 \text{ W}$$

$$Q_{Agua} = \left(2.915 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \right) 4179 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} (27.035^{\circ}\text{C} - 27^{\circ}\text{C})$$

$$= 426.36 \text{ W}$$

Por tanto:

$$Q_{carga} = 372.9 + 3120.73 + 4.85 + 426.36$$

$$= 3924.84 \text{ W}$$

2.2. Perdidas por Paredes y por extremos del túnel

Para realizar el cálculo de las pérdidas por conducción se considerará lo siguiente:

- Estado Estable con propiedades constantes
- Conducción Unidimensional
- No hay generación de energía
- La transferencia de Calor por Radiación es despreciable.

Como se puede apreciar en la figura 3 tanto las paredes como el techo del túnel estarán compuestas por:

- La caldería interior por una plancha de acero inoxidable AISI 304 de espesor 2 mm
- Aislamiento de fibra mineral con espesor de 80 mm
- La caldería exterior por una plancha de acero inoxidable AISI 304 de espesor 2mm

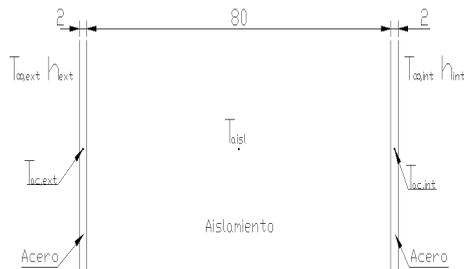


Figura 3. Pared compuesta

La temperatura en el exterior del túnel (\$T_{\infty,ext}\$) será 27°C.

✓ Paredes

Ya que se conocen las temperaturas \$T_{\infty,ext}\$ y \$T_{\infty,int}\$. Se tiene los datos siguientes para el cálculo:

$$L_{ac} = 2 \text{ mm} = 2 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$L_{aisl} = 80 \text{ mm} = 80 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$T_{\infty,ext} = 27^\circ\text{C}$$

$$T_{\infty,int} = 227^\circ\text{C}$$

Luego de múltiples iteraciones se encontró que para las condiciones mencionadas dentro del horno se tiene que la temperatura en la plancha interior de pared es 200.44°C. Ahora se procederá a calcular el calor que se va por las paredes.

$$Q_{pared}'' = \frac{227 - 200.44}{1/3.63} = 96.41 \text{ W/m}^2$$

$$Q_{pared} = \text{Ancho} \times \text{Largo} \times Q_{pared}'' = 0.4 \text{ m} \times 1.604 \text{ m} \times 96.41 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$Q_{pared} = 61.86 \text{ W}$$

✓ Techo

El procedimiento que se aplica en esta parte es el mismo que se aplicó para la pared. La temperatura obtenida es la siguiente 48.17°C. Ahora que se tienen las temperaturas es posible calcular el calor que se va por el techo.

$$Q_{techo}'' = \frac{48.17 - 27}{\frac{1}{4.69 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}}} = 99.29 \text{ W/m}^2$$

$$Q_{techo} = \text{Ancho} \times \text{Largo} \times Q_{techo}'' = 0.425 \text{ m} \times 1.604 \text{ m} \times 99.29 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$Q_{techo} = 67.66 \text{ W}$$

✓ Cadena Transportadora

A diferencia de la pared y el techo la cadena nunca llega al equilibrio ya que permanentemente está entrando y saliendo del horno del recinto la cinta transportadora se enfría y vuelve a su estado energético inicial en consecuencia si almacena energía; para luego entregarla cuando está fuera del horno. Pero esta variación de energía (entrada y salida de cadena) es tan poca que para calcularla asumiremos condiciones similares a las del techo y que toda la

cadena está a una misma temperatura esta se igualará con la ecuación de transferencia de calor por convección de la siguiente manera.

$$(2\bar{h}_{ext-int-banda} + \bar{h}_{ext-sup-banda})(T_{\infty,ext} - T_{banda}) = \bar{h}_{int-banda}(T_{\infty,int} - T_{banda})$$

ec. 4

La ecuación de transferencia de calor para la banda (ec. 4[5]) es así debido a que durante el acarreo de la cadena (cuando la banda lleva la carga) solo una superficie está recibiendo calor del aire dentro del horno, la parte superior de la misma; que corresponde al lado derecho de la igualdad y durante el retorno son tres: la inferior del acarreo y la superior e inferior del retorno; que es el lado izquierdo de la igualdad. Resolviendo la ec 4[5] se tiene que la temperatura de la cadena es 73.19°C; con esta temperatura haciendo uso del lado derecho de la ec. 3[5] se obtiene un calor de 341.45 W.

2.3. Determinación de Consumo Teórico de Combustible

Como primer paso determinar cuánto combustible se necesita se debe sumar todas las pérdidas.

$$Q_{perdidas} = 2Q_{paredes} + Q_{techo} + Q_{banda}$$

$$Q_{perdidas} = (2 \times 61.86) + 67.66 + 341.45$$

$$= 532.83 \text{ W}$$

Haciendo uso de la ec. 1[5] se determinará el calor total requerido por el horno.

$$Q = 3924.84 \text{ W} + 532.83 \text{ W} = 4457.67 \text{ W}$$

Además se diseñará el quemador para entregar 30% más de la energía estimada para casos en los que la botella entre fría o el horno recién se encienda.

$$Q_T = (4457.67 \text{ W}) \times 1.3 = 5794.97 \text{ W} \cong 5800$$

El calor que entrega el aire a su vez lo recibe del combustible, para que este entregue la cantidad necesaria de energía es necesario determinar el flujo de combustible necesario, con la ec. 5[1]. El combustible que se va usar es una mezcla de gases que son 70% Propano y 30% Butano.

$$Q_T = Q_{gas} \times PCS \quad \text{ec 5[1]}$$

Donde:

$$Q_T = \text{Calor [W]}$$

$$Q_{gas} = \text{Caudal [m}^3/\text{s]}$$

$$PCS = \text{Poder Calorífico superior [J/m}^3\text{]}$$

El poder calorífico de esta mezcla de gases es 107.84 MJ/m³

$$Q_{gas} = \frac{Q_T}{PCS} = \frac{5800 \text{ W}}{107.84 \times 10^6 \text{ J/m}^3} = 5.38 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} = 0.194 \text{ m}^3/\text{h}$$

Calculo y Diseño del Quemador

El gas combustible induce (arrastra) su propia provisión de aire que se realiza por aspiración mediante un tubo Venturi (figura 4). Este consta de dos conos convergente-divergentes de ángulo muy pequeño, entre 7° a 10°. La sección donde se ensancha con diámetro d_g se denomina “cuello” o “garganta” del tubo.

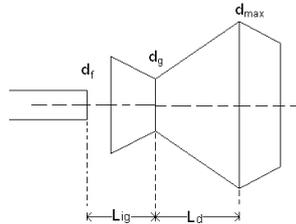


Figura 4. Tubo ventura[1]

La vena del gas que sale del orificio debe ser coaxial con la garganta del quemador, que no queden rebabas y que los bordes estén perfectamente marcados:

A continuación se determinara el diámetro del inyector para las condiciones de operación mediante la ec 6.

$$Q_{gas} = \frac{11}{1000} k d_f^2 \sqrt{\frac{h}{\rho_r}} \quad \text{ec 6[1]}$$

Donde:

Q_{gas} = Flujo del gas [m³/h]

k = Coeficiente del inyector que incluye las pérdidas de carga por fricción y por la formación de la vena gaseosa a la salida del mismo.

d_f = Diámetro del inyector [mm]

h = presión estática del gas [mm de H₂O]

ρ_r = densidad relativa del gas respecto al aire

Se sabe que la presión de trabajo de las cocinas (h) es de 280 mm de H₂O. La densidad relativa es 1.713. Para los tipos más comunes de inyectores k tiene es 0.8 que corresponde a un ángulo de $\theta=60^\circ$ (Figura 5).

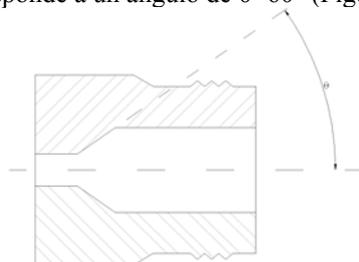
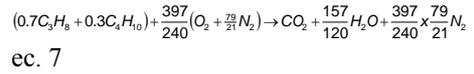


Figura 5. Inyector[1]

Ya que el flujo necesario será entregado por medio de dos quemadores, el flujo de combustible a reemplazar en la ec. 6[1] será la mitad del flujo total requerido. El diámetro del inyector es:

$$d_f = \sqrt{\frac{1000}{11 \times 0.8} \cdot 0.097 \sqrt{\frac{1.713}{280}}} = 0.93 \text{ mm}$$



De la ecuación 7 se saca la relación aire-combustible en porcentaje volumen (R):

$$R = \frac{397}{240} (1 + \frac{79}{21}) = 7.9$$

Para que la combustión se de forma segura la relación aire-combustible(R) debe estar dentro de los límites de inflamabilidad que en este caso 2.18 y 9.14.

$$R = 0.75 \left(\frac{d_s}{d_f} - 1 \right) \sqrt{\rho_r} k_1 k_2 \quad \text{ec. 8[1]}$$

$$L_{ig} = 2.22 d_g + 15 \quad \text{ec. 9[1]}$$

$d_s = d_{max}$ [mm] (Figura 4)

L_{ig} [mm] (Ver Figura 4)

$d_g =$ Diámetro de Garganta [mm] (Ver Figura 4)

$$K_1 = 1 + \log \left(\frac{d_f X_m}{d_g} \right); \text{ si } \frac{d_f X_m}{d_g} > 1 \quad \text{ec.10[1]}$$

entonces

$$K_1 = \frac{d_g}{d_f X_m}$$

$$K_2 = 1 + \log \left(\frac{d_f X_m}{d_s} \right)$$

El valor de X_m es 14.6. Con la ec 10[1] se determinara el diámetro de la garganta (d_g) y el diámetro del tubo (d_s) que hará las veces de quemador. Ya que estos diámetros no se los puede despejar se debe asumir valores e iterar hasta que se de con la relación deseada (R); luego varias iteraciones se dio con los valores que satisfacen con los requerimientos que son:

$d_g = 8.03$ mm

$d_s = 13.5$ mm

Ahora reemplazando valores en la ec. 9[1]:

$$L_{ig} = 2.22 \times 8.03 + 15 = 32.83 \text{ mm}$$

Ahora se calculará el área total por donde saldrá el gas para la combustión. Esto se hará mediante la ec. 11[1]:

$$A_t = \frac{Q_T}{Q_u} \quad \text{ec. 11[1]}$$

Donde:

$A_t =$ Area total [cm²]

$Q_T =$ Calor [W]

$Q_u =$ Calor Unitario [W/cm²] (Ver Figura 6)

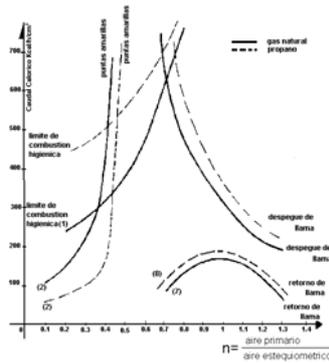


Figura 6. Diagrama de funcionamiento de un quemador atmosférico

La zona de funcionamiento satisfactorio del quemador está limitada por curvas límites (Figura 6) que, si se sobrepasan, dan lugar a la aparición de alguno de los siguientes fenómenos indeseables:

- Desprendimiento de llama, como consecuencia de sobrepasar la velocidad crítica correspondiente
- Retorno de llama, al reducirse el caudal calórico hasta valores inferiores al mínimo
- Combustión incompleta, con la presencia de CO en los gases de la combustión, en proporciones superiores a las admisibles
- Aparición de puntas amarillas

El aire estequiométrico es el que se calcula mediante la reacción química (ec. 7), el aire primario es el que se mezcla con el combustible. De la figura 6, para n igual a uno se tiene un Q_u de 350 Kcal/h cm^2 (406.79 W/ cm^2).

Haciendo uso de la ec. 11[1] se tiene el área total por donde debe salir la llama. El calor que debe entregar el gas es 5800 W este se entregara por medio de dos tubos ubicados a los lados de las cadenas transportadoras así que el calor que debe entregar cada tubo es aproximadamente 2900 W:

$$A_t = \frac{2900W}{406.79 \frac{W}{cm^2}} = 7.13 \text{ cm}^2$$

Si cada orificio tendrá un diámetro de 2 mm entonces el número orificios debe ser:

$$\text{Numero de Orificios} \geq \frac{7.13 \text{ cm}^2 \times 4}{\pi(0.2 \text{ cm})^2} = 227$$

Como se puede apreciar del resultado obtenido arriba se ve que se necesitan 277 agujeros, el primer y último agujero se hará a 20 mm del extremo del tubo.

3. Diseño de Sistema de Transportación

En la industria de las bebidas se usa comúnmente cadenas de acero inoxidable aprobados por la FDA (Food and Drug Administration), para determinar la cadena

apropiada es importante tener cuenta las condiciones medio ambientales en las que va a funcionar; en este caso se usara cadenas Rexnord de acero inoxidable serie 815. Para hacer la selección de la cinta es necesaria la tensión ajustada de la misma, la cual se hará con la ecuación 11.

$$T_A = (2W_c + W_m) \times L \times f_w \times 9.8 \quad \text{ec. 12[10]}$$

T_A = Tensión Ajustada [N]

W_c = Peso por longitud de la Cadena [kg/m]

W_m = Peso por longitud de Material [kg/m]

f_w = Coeficiente de Fricción entre Cadena y Guía de Desgaste

L = Longitud entre centros de engranes [m]

De la sección 2.1 se determino la masa de cada componente de la carga. Al sumar la masa de cada componente se obtiene la carga que es 3.59 Kg/Botella; con una distancia entre botellas del túnel de 154 mm/Botella. El peso por longitud de material (W_m) es:

$$W_m = \frac{3.59 \frac{Kg}{Botella}}{154 \frac{mm}{Botella}} = 23.31 \times 10^{-3} \text{ kg/mm} = 23.31 \text{ kg/m}$$

El largo del túnel es de 1604 mm, se desea que la cadena se extienda 300 mm antes y después del horno, con lo que se tiene una longitud total entre centros de engranes de 2204 mm (2.204 m). Para el ancho de cadena seleccionado corresponde un peso de 5.1 kg/m. El coeficiente de fricción (f_w) entre la cadena (acero) y la guía de desgaste (acero) es 0.5.

Se procederá a reemplazar estos valores en la ecuación 11:

$$T_A = \left[\left(2 \times 5.1 \frac{Kg}{m} \right) + 23.31 \frac{Kg}{m} \right] \times 2.204 \text{ m} \times 0.5 \times 9.8 \frac{m}{s^2} = 361.89 \text{ N}$$

La Figura 7 muestra un transportador típico. Después del piñón motriz, debe existir espacio para la catenaria. Durante la operación, la altura de la catenaria debe ser entre 76 y 127mm. En transportadores sin catenaria, existe un mayor riesgo de desgastar las uniones de la cadena, ya que están sujetas a cargas mayores; lo que es absorbido por las chumaceras o por la cadena. Una altura excesiva de la catenaria reduce el ángulo de engrane y la habilidad de transmitir la potencia. Esto ocasiona que la cadena pulse.

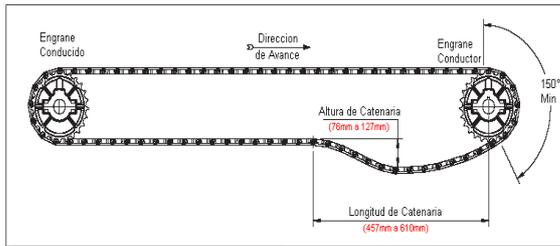


Figura 7. Transportador típico [11]

Asumiremos que la distancia entre el engrane y la guía de desgaste del retorno es 510 mm. En la figura 7 se indica que el ángulo envolvente debe ser 150° y diámetro primitivo del engrane es 153.21 mm por tanto desde el inicio de la catenaria en el engrane conductor hasta el centro del mismo se tiene horizontalmente:

$$X_1 = \frac{153.21}{2} \text{Sen}30^\circ = 38.3 \text{ mm}$$

Este valor se suma a los 510 mm mencionados anteriormente con lo que se obtiene 548.3 mm (0.5483 m).

$$y = \frac{T_o}{\omega} \left[\cosh\left(\frac{\omega x}{T_o}\right) - 1 \right] \quad \text{ec 12}$$

Donde:

$$\omega = 5.1 \text{ kg/m}$$

x = Distancia Horizontal

T_o = Tensión Horizontal (Constante) [kg]

Si en el engrane conductor se tiene un ángulo de envoltura de 150° entonces el que forma la cadena cuando es tangente al engrane es de 30° con la horizontal. Al estar operando a velocidad constante se tiene que las fuerzas que actúan sobre la cadena lo hacen como se muestra en la Figura 8.

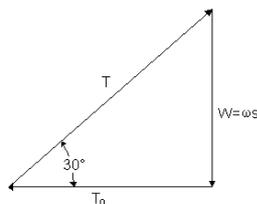


Figura 8. Fuerzas Actuantes sobre la cadena

Por trigonometría se tiene lo siguiente:

$$\tan 30^\circ = \frac{\omega s}{T_o} \quad \text{ec 14}$$

Donde s es la longitud de arco de la banda y es igual a:

$$s = \frac{T_o}{\omega} \text{senh}\left(\frac{\omega x}{T_o}\right) \quad \text{ec 15}$$

Al usar la ec 14 y ec 15, X=0.5483/2 m.

$$T_o = \frac{\omega x L/2}{\text{senh}^{-1}(\text{tg}30^\circ)} = \frac{5.1 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times 0.5483 \text{ m}/2}{\text{senh}^{-1}(\text{tg}30^\circ)} = 2.55 \text{ kg}$$

Ahora es posible calcular la altura con la ec 13:

$$y = \frac{2.55}{5.1} \left[\cosh\left(\frac{5.1 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times 0.5483 \text{ m}/2}{2.55 \text{ kg}}\right) - 1 \right] = 0.077 \text{ m} = 77 \text{ mm}$$

Para determinar la longitud de arco de la catenaria desde el punto más bajo hasta uno de sus extremos se usara la ec. 15[11]; esta distancia se deberá multiplicar por dos para obtener la longitud total de la catenaria de extremo a extremo.

$$s = \frac{2.55 \text{ Kg}}{5.1 \frac{\text{Kg}}{\text{m}}} \text{senh}\left(\frac{5.1 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} \times 0.5483 \text{ m}/2}{2.55}\right) = 0.288 \text{ m} = 288 \text{ mm}$$

La longitud total de la catenaria es 288mmx2=576 mm. La porción de cadena que forma la envoltura de 150° (5π/6) tiene una longitud de arco de:

$$s' = \frac{\theta D_p}{2} = \frac{(5\pi/6) \times 153.21 \text{ mm}}{2} = 200.55 \text{ mm}$$

Si entre engranes hay 2204 mm y entre los engranes y guías de desgastes hay 510 mm, entonces la longitud de la guía de retorno es:

$$L = 2204 \text{ mm} - (2 \times 510 \text{ mm}) = 1184 \text{ mm}$$

Al sumar todas las distancias se tiene la longitud de retorno:

$$L_r = (2xs) + L + (2xs')$$

$$L_r = (2 \times 576 \text{ mm}) + 1184 \text{ mm} + (2 \times 200.55 \text{ mm})$$

$$L_r = 2737.1 \text{ mm} (2.7371 \text{ m})$$

Al sumar esta longitud a la de transporte se tiene la longitud total de cadena necesaria que es 4941.1 mm (4.9411 m).

Cálculo y Selección de Motor y Caja Reductora

En esta sección se considero usar motor y caja reductora, durante el proceso de análisis se encontró una opción más conveniente por lo que se decidió utilizar moto-reductor.

Con la Tensión ajustada (T_A) y la Velocidad de transportación de 3.85 m/min (0.064 m/s) la potencia que debe entregar el motor es 46.44 W (0.063 Hp)

El engrane seleccionado tiene un diámetro primitivo de 153.21 mm (0.15321 m) por tanto se tiene una velocidad angular de:

$$\omega = \frac{2V}{D_p} = \frac{2 \times 0.064}{0.15321} = 0.835 \text{ rad/s}$$

$$= 8 \text{ R.P.M.}$$

Se determino que el motor necesario es un Flender Z.18-M71C4[7].

4. Selección de Cortinas de Aire

Originalmente se tenía pensado usar cortinas de aire (ventiladores) para crear una barrera que impidiera que los gases calientes salgan fácilmente del túnel pero se encontró una mejor alternativa; estas son cortinas teflonadas, que es un material

térmico resistente a las temperaturas que alcanzara el túnel.

5. Análisis de Costos

El Costo de Construcción localmente es \$6946.21 mientras que importar una maquina de la misma capacidad de producción que funciona con resistencias eléctricas es \$10500. El costo de operación de la maquina a gas \$0.45 la hora y el de la maquina importada es \$16.35.

6. Conclusiones

El diseño del Túnel de Termocontracción realizado en este artículo se lo realizo específicamente para el etiquetado de botellas conteniendo agua, que a la vez puede ser utilizado en otros productos considerando las características de dicho producto para que no se afecte el contenido del mismo.

Dentro de los combustibles el GLP es el que produce la combustión más limpia, reduciendo las emisiones hasta en un 90%, por lo cual es el recomendado para usar los sistemas de convección. Los actuales precios nacionales de los combustibles, favorecen considerablemente el uso del GLP. Al utilizar estos sistemas en la producción, obtendremos unos índices de calidad que nos permitan competir con productos extranjeros y enmarcarnos en los nuevos conceptos de globalización.

Luego del análisis del capitulo anterior se observa que la fabricación nacional es mucho mas conveniente, ya que el diseño esta enfocado a las condiciones locales especialmente la temperatura donde va a funcionar logrando un considerable ahorro tanto en la inversión para la construcción como para los costos de operación, en comparación con maquinas fabricadas en el extranjero.

En lo que respecta a material para toda la maquina se eligió acero inoxidable AISI 304 que es un material que para el equipo tendrá un costo inicial mayor a que si se eligiera otros materiales pero que a largo plazo es mas conveniente dado que gracias a sus propiedades no se corroerá y brinda una mejor presentación.

Los actuales precios nacionales de los combustibles, favorecen considerablemente el uso del GLP. Con lo que obtendremos unos índices de calidad que nos permitan competir con productos extranjeros y enmarcarnos en los nuevos conceptos de globalización.

Luego del análisis del capitulo 5 se observa que la fabricación nacional es mucho mas conveniente, ya que el diseño esta enfocado a las condiciones locales especialmente en la temperatura donde va a funcionar logrando un considerable ahorro tanto en la inversión

para la construcción como para los costos de operación, en comparación con maquinas fabricadas en el extranjero.

Debe tenerse en cuenta que al comprar una maquina construida localmente se esta aportando al desarrollo del país generando fuentes de trabajo sin perder calidad.

7. Recomendaciones

Instalar tanques de almacenamiento de combustible especialmente si se tiene niveles de producción altos; si se trabaja las 24 horas. Con los reservorios de GLP los costos de operación se reducen considerablemente ya que las compañías de suministro se encargan del abastecimiento y el cobro va de acuerdo a los kilogramos entregado.

Debe darse las condiciones para que la concentración CO₂ se mantenga por debajo de 5000 ppm. Las opciones son: ponerlo donde haya la ventilación adecuada que permita que estas condiciones se den o usar ventiladores en este caso puede ser por ventilación diluidora o localizada.

Posterior a la instalación debe verificarse esto con el equipo en operación bajo las condiciones de diseño para así poder garantizar la salud de las personas que se encuentren cerca por tiempo prolongado, además que este gas es uno de los principales causantes del efecto invernadero que tanto perjudica al mundo entero.

Las condiciones de operación deben regirse bajo Normas de Seguridad Industrial.

8. Referencias

- [1] Guerrero Arturo, "Adaptación de un Quemador para Cocinas a Gas en la Empresa Mabe Ecuador" (Tesis, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2002)
- [2] Cantos Maria Elisa, "Rediseño de un Molino para Plásticos de Construcción Nacional" (Tesis, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2005)
- [3] Mayancela Ronald, "Diseño de un Túnel de Termocontracción para películas Termoencogibles usado en el Embalaje de Productos" (Tesis, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2004)

- [4] Romero Alvaro, “Diseño de una Máquina llenadora Lineal para Botellas Tipo Pet” (Tesis, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2005)
- [5] Incropera Frank P, Fundamentos de Transferencia de Calor, Cuarta Edición, Prentice Hall, México, 1996.
- [6] Shigley Joseph E, Diseño en Ingeniería Mecánica, Quinta Edición, McGraw-Hill, México, Septiembre de 1990.
- [7] www.flender.com
- [8] www.isamar.com
- [9] www.matweb.com
- [10] www.profilex.com
- [11] www.rexnord.com
- [12] www.siemens.com.co