

Máquina Tensora y Tina de Enfriamiento para la Fabricación de Mangueras con Plástico Reciclado

Jefferson Guerra, Gustavo León

Ingeniería en Mecatrónica
Universidad Técnica del Norte
Código Postal: 100105
jeffo_jagr@hotmail.com

Resumen- El proyecto consiste en el diseño y construcción de una máquina tensora y una tina de enfriamiento, para la fabricación de mangueras con plástico reciclado.

El proceso de fabricación de mangueras consiste de varias etapas, como son la preparación de materia prima, la extrusión, el sistema de enfriamiento, el sistema de tensado y la etapa de embobinado, donde el producto queda finalizado para su comercialización. En estas etapas interviene maquinaria especializada a realizar cada tarea.

La tina de enfriamiento logra que el producto proveniente de la extrusora, a alta temperatura, se enfríe, logrando que la manguera adquiera dureza. La máquina tensora permite halar la manguera a una velocidad constante, esto es importante para asegurar que el grosor de la manguera no varíe. Para lograr controlar la velocidad de la máquina tensora se dispone de un variador de velocidad. Con el proyecto fue posible la fabricación de mangueras reutilizando el plástico reciclado, aportando a la reducción de la contaminación ambiental.

Palabras Clave- fabricación, manguera, máquina tensora, plástico, reciclado, tina de enfriamiento.

Abstract- This project consist of the desing and construction of a tensioning machine and a cooling tub, for the manufacture of hoses using recycled plastic.

The hose's manufacturing process consists of several stages, such as the preparation of raw material, extrusión, cooling system, tensioning system and the winding stage, where the product is finished for commercialization. Each stage uses machinery specialized to do each task.

The cooling tub allows the product exiting the extruder, at high temperature, to be cooled and the hose becomes solid. The tensioning machine allows the hose to be pulled at a constant speed, this is important to ensure that the thickness of the hose does not vary. In order to control the speed of the tensioning machine, is used a speed variator. With the present project it was possible to manufacture hoses reusing recycled plastic, contributing to the reduction of environmental contamination.

Keywords- cooling tube, hose, manufacturing, plastic, puller machine, recycled.

I. INTRODUCCIÓN

La importancia de los materiales ha sido crucial a lo largo de la historia, desde sus comienzos en la edad de piedra, pasando por la edad de los metales, el descubrimiento y perfeccionamiento de nuevos materiales han permitido el desarrollo del ser humano. La gran mayoría de materiales que se usa actualmente son polímeros, el consumo de éstos

continúa con un crecimiento notable en todos los sectores industriales [1]. Este éxito comercial tiene un efecto negativo ya que genera un volumen de residuos importante que necesita ser gestionado de forma eficaz. A pesar de los esfuerzos que se están realizando por parte de los GADs, la mayor parte de los residuos plásticos continúan en la actualidad depositándose en vertederos. Para reutilizar el material reciclado se propone la fabricación de mangueras, de esta forma se contribuye con la reducción de la contaminación ambiental y aporta un medio para generar ingresos [2], ya que la manguera producida se usa para instalaciones eléctricas en la industria de la construcción.

II. METODOLOGÍA

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

El sistema de enfriamiento se muestra en el diagrama 1, el cual está formado por la tina, un depósito, la bomba, la torre de enfriamiento y la tubería, formado un circuito cerrado de recirculación de agua.

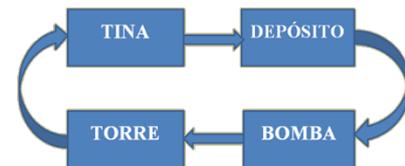


Diagrama 1. Circuito de enfriamiento

La tina de enfriamiento actúa como un gran depósito donde se produce el intercambio de calor entre el material extruido y el agua. Debido a esto el agua se calienta en la tina de enfriamiento y, mediante tuberías llega al depósito, de aquí por la acción de la bomba, el agua pasa a la torre de enfriamiento, donde se enfría y se oxigena, para luego volver a entrar al proceso.

El objetivo de este sistema de enfriamiento es mantener un flujo de agua constante para no crear turbulencia. La temperatura que se fija es de 30 °C, esta es fácil de mantener debido a que la temperatura promedio ambiental es de 17 °C, ya que para obtener menores temperaturas es necesario un intercambiador de calor o un sistema de refrigeración más complejo y por consiguiente más costoso.

TINA DE ENFRIAMIENTO

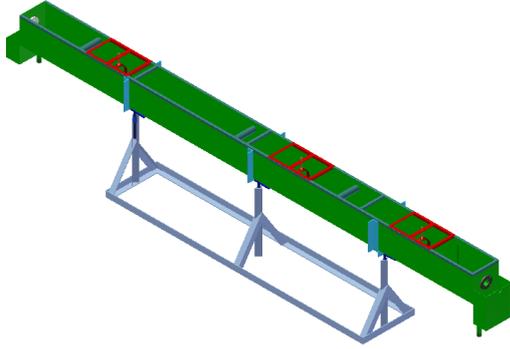


Figura 1. Tina de enfriamiento por inmersión

El modelo de la figura 2, permite analizar el comportamiento de la energía calorífica entre el agua de enfriamiento y el perfil extruido [1]. En la misma figura se observa que el calor en la dirección z y θ tienen baja emisión, es decir, se desprecia, se considera solo el calor en la dirección r :

$$q_z = q_\theta = 0 \quad \text{y} \quad q_r \neq 0 \quad (1)$$

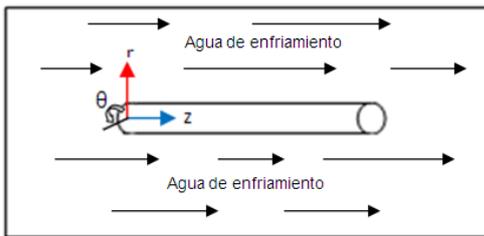


Figura 2. Modelo del perfil extruido cuya dirección en r es donde se emite más calor

Considerando las siguientes condiciones:

- Estado estacionario
- La conductividad térmica no varía con la temperatura
- La mayor temperatura se encuentra en el centro del perfil plástico
- Aunque el comportamiento real de la temperatura es una curva parabólica, se considera para efectos prácticos que el comportamiento es lineal
- Se considera que el calor transferido a un perfil tubular es por convección de acuerdo a la figura 3.

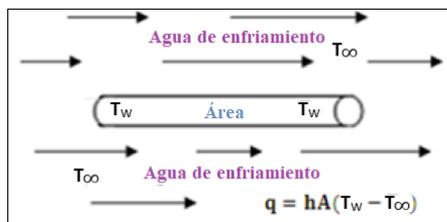


Figura 3. Calor que gana el agua proveniente del plástico, obtenido con la correlación de Nusselt

Donde la ecuación por transferencia de calor es [2]:

$$\dot{q} = hA(T_w - T_\infty) \quad (2)$$

Donde:

- h = Coeficiente de transferencia de calor por convección
- A = Es el área del perfil donde emite más calor, en este caso $A = \pi d L_t$
- d = Diámetro del perfil
- L_t = Longitud de la tina
- T_∞ = Temperatura del agua de enfriamiento
- T_w = Temperatura en la superficie de la placa de plástico

Para realizar los cálculos del sistema se considera la correlación de Pohlhausen de transferencia de calor por convección para flujo extremo con flujo laminar.

$$h = 0,664(Re)^{\frac{1}{2}}(Pr)^{\frac{1}{3}}\left(\frac{K}{D_c}\right) \quad (3)$$

En la Tabla 1 se muestra los datos necesarios para conocer el coeficiente de convección de nuestra tina, usando agua a 20°C como refrigerante.

Tabla 1 Datos para calcular el coeficiente de convección

Alto L_1 (m)	Ancho L_2 (m)	Área (m^2)	G (m^3/s)	ρ (kg/m^3)	$V_{refrigerante}$ (m/s)
0,25	0,25	0,012	0,0000667	1000	0,00555833
D_c (m)	μ ($kg/m \cdot s$)	C_p ($J/kg \cdot ^\circ C$)	k ($W/m \cdot ^\circ C$)	T_w ($^\circ C$)	T_∞ ($^\circ C$)
0,0065	1,002	4181,8	0,5984	25	210

Obtenemos un valor de

$$h = 222,07 \left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$$

Una vez conocido h se procede a utilizar la Ec. 2 quedando de la siguiente forma:

$$q_{absorbido} = h\pi d L_t (T_w - T_\infty) \quad (4)$$

Por una parte se ha calculado el flujo de calor que extrae el refrigerante al perfil con la Ec. 4; sin embargo se necesita conocer la cantidad de calor que se debe extraer del perfil para lograr un buen manejo, es así que se hace uso de otra herramienta para el cálculo de dicho flujo.

$$q_{cedido} = \dot{m} C_p (T_i - T_f) \quad (5)$$

En la Tabla 2 se muestra las propiedades del polietileno de alta densidad (HDPE).

Tabla 2 Propiedades del HDPE

Caudal (m^3/s)	ρ ($\frac{kg}{m^3}$)	C_p ($\frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$)	T_i ($^\circ C$)	T_f ($^\circ C$)	D_p (m)
0,00000496	930	1800	210	75	0,0065

Usando estos valores obtenemos:

$$q_{cedido} = 1120,91 \text{ W}$$

Igualando la Ec. 4 y Ec. 5 se observa que los flujos de calor deben ser iguales para lograr el manejo del perfil. En la Ec. 6 se tiene el cálculo de la tina de enfriamiento.

$$L_t = \frac{\dot{m}C_p(T_i - T_f)}{h\pi d(T_w - T_\infty)} \quad (6)$$

Por último al reemplazar los valores obtenidos y considerando que la temperatura del medio es 17 °C se tiene:

$$L_t = 3,28 \text{ m}$$



Figura 4. Tina de enfriamiento para la fabricación de mangueras

En la Fig. 4 se muestra la tina de enfriamiento calculada, ésta además posee una base ajustable, para variar la altura de la tina y se acople con la extrusora de manera sencilla y práctica.

TORRE DE ENFRIAMIENTO

Las torres de enfriamiento son equipos que se usan para enfriar agua en grandes volúmenes porque, son el medio más económico para hacerlo, si se compara con otros equipos de enfriamiento como los cambiadores de calor donde el enfriamiento ocurre a través de una pared [3].

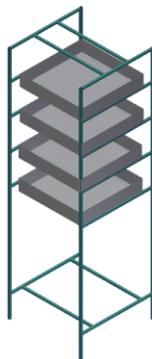


Figura 5. Torre de enfriamiento

Para el diseño de la torre se emplea la Ec. 7.

$$z = \frac{G}{2kGaMBP} \int \frac{dHy}{Hy_i - Hy} \quad (7)$$

Donde se desea enfriar agua desde una temperatura estimada $T_{L2} = 43,3 \text{ °C}$ hasta $T_{L1} = 29,4 \text{ °C}$ en una torre de enfriamiento de agua empacada trabajando a contracorriente, con un flujo de aire $G = 1.356 \text{ kg de aire seco/s} \cdot \text{m}^2$ y una velocidad de flujo de agua de $L = 1.356 \text{ kg de agua/s} \cdot \text{m}^2$. El aire de entrada tiene $29,4 \text{ °C}$ y una temperatura de bulbo húmedo de $23,9 \text{ °C}$. El coeficiente de transferencia de masa kGa tiene un valor estimado de $1,207 \times 10^{-7} \text{ kg mol/s} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{Pa}$ y hLa/kGaMBP es $4.187 \times 10^4 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$ ($10.0 \text{ btu/lbm} \cdot \text{°F}$). Se calcula la altura z de la torre de enfriamiento, la cual opera a una presión de $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$. Se aplica estos datos en la Ec. 7 se obtiene lo siguiente [3]:

$$z = \frac{1,356}{(2)(29)(1,207 \cdot 10^{-7})(1,013 \cdot 10^3)} (1,82)$$

$$z = 3,48 \text{ m}$$

SISTEMA DE TENSADO

Se diseñará un jalador capaz de acoplarse a una máquina de extrusión, para lograr el tirado de los perfiles extrudidos con los dados con los que cuenta esta máquina y así producir mangueras de ½ pulgada.

Necesidades a satisfacer [4]:

- Diseñar la unidad de tiro para el proceso de extrusión.
- La máquina debe ser capaz de tirar manguera de ½ pulgada.
- También debe ser capaz de sujetar mangueras de diferentes tamaños, hasta de 2 pulgadas.
- La posibilidad de ser acoplable a otros dispositivos periféricos para un proceso de extrusión completo.
- El manejo del dispositivo debe ser de una forma sencilla y de fácil acoplamiento en el proceso de extrusión.
- La máquina debe lograr sincronizar su velocidad con la rapidez del gasto extrudido.
- Se planea trabajar con mangueras de plástico reciclado.

Luego de revisar varios sistemas de tensado se procede a crear una matriz de decisión, como se observa en la Tabla 3 utilizada en la selección de las alternativas de diseño. En el eje vertical se observa las alternativas de solución al problema a tratar, mientras que en el eje horizontal aparecen las capacidades a evaluar en cada alternativa de solución.

Tabla 3. Ponderaciones a evaluar en la selección del tipo de tiro

Características	Número de Motores	Dimensiones	Velocidad Tangencial	Zona de Contacto	Acoplable a Otras Máquinas
Alternativa	20%	15%	30%	20%	15%
X	Cantidad de motores empleados	Tamaño del dispositivo	Velocidad de tiro constante	Superficie de contacto del material	Disponibilidad de complementar con otros dispositivos

Además se agrega una fila con información de la calificación que se otorga a cada propuesta y un porcentaje de

la misma, pues cada punto a evaluar tiene distinto grado de importancia.

Los prototipos a evaluar se muestran en la Fig. 6, aplicando los criterios de la Tabla 3 se procede a enumerar sus ventajas y desventajas para poder justificar los valores otorgados en la matriz.

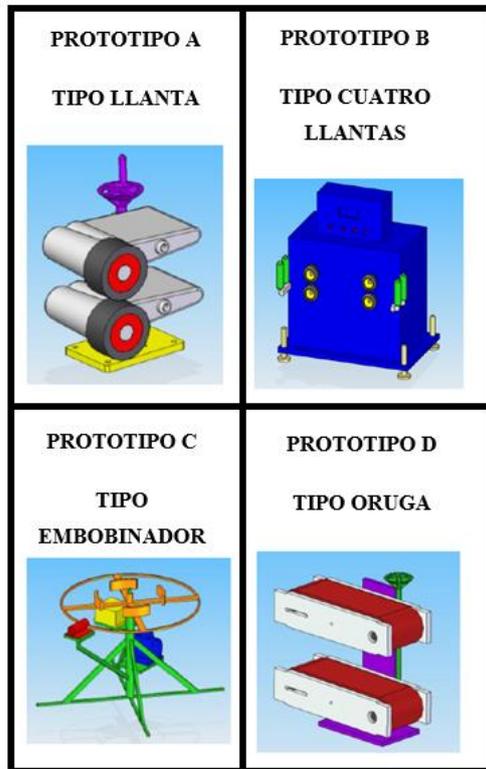


Figura 6. Tipos de dispositivos de tiro a evaluar

Utilizando una escala de calificación del 5 al 10, en donde la menor calificación posible es 5 y la mayor calificación es 10, se procede a evaluar nuestras opciones, los resultados se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Matriz de selección de los productos evaluados

Características	Número de Motores	Dimensiones	Velocidad Tangencial	Zona de Contacto	Acoplable a Otras Máquinas	TOTAL	
							20%
Alternativas							
Calificación	A	10	8	9	9	8	
Porcentaje		2	1,2	2,7	1,8	1,2	8,9
Calificación	B	7	6	7	6	9	
Porcentaje		1,4	0,9	2,1	1,2	1,35	6,95
Calificación	C	10	7	5	7	6	
Porcentaje		2	1,05	1,5	1,4	0,9	6,85
Calificación	D	9	7	9	7	8	
Porcentaje		1,8	1,05	2,7	1,4	1,2	8,15

Se obtuvo que la opción mejor calificada es la A la cual se refiere a la unidad de tiro tipo llanta. Para la fabricación de mangueras se necesita un área de contacto mayor, por lo tanto se modifica el elemento tiro de tipo llanta por uno de rodillos, el cual tiene similares características, además de mayor disponibilidad y variedad en tamaños.

En la Fig. 7 se observa la máquina tensora propuesta, este dispositivo consta de varios mecanismos. Para el halado de la manguera se dispone de tres rodillos superiores y tres rodillos inferiores, los rodillos inferiores permanecen fijos y los rodillos superiores cuentan con un sistema de regulación de

presión mediante tornillo sin fin, estos rodillos se mueven a través de las guías ejerciendo una presión graduable dependiendo del tipo de manguera a producir.

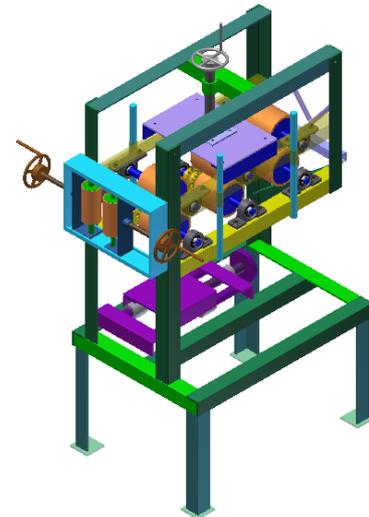


Figura 7. Máquina tensora

Dimensionamiento del motor

Para realizar el dimensionamiento del motor, en primer lugar deber determinarse la velocidad máxima a la que se extrae el producto proveniente de la extrusora.

Basado en el principio de continuidad de un fluido a través de un tubo de sección transversal, el caudal máximo que entrega la extrusora ($Q_{máximo}$) debe mantenerse constante independientemente de las dimensiones de la boquilla que se configure en el cabezal, pues a medida que se reduce la sección transversal de la boquilla la velocidad a la que sale el perfil aumenta, siendo esta velocidad la que se debe tomar como valor máximo para el proceso de extrusión [5].

$$Q_{máximo} = V \cdot A \quad (8)$$

Dónde: V y A son la velocidad del perfil y el área de la sección transversal de la boquilla de menor diámetro respectivamente.

La boquilla más pequeña tiene dos agujeros de un diámetro de 2 mm cada uno, ocupando un área igual a 2 veces el área de un orificio y obteniéndose una velocidad de:

$$V_{máxima} = 30.32 \approx 30 \text{ m/min}$$

Esta es la velocidad máxima a la que debe operar la máquina tensora.

La potencia del motor se determina multiplicando la velocidad máxima de la máquina tensora y la fuerza que desarrolla la máxima caída de presión de la extrusora.

La Ec. 9 determina la caída de presión máxima a lo largo de la extrusora para un caudal de extrusión nulo [6].

$$P = \frac{6 \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot N \cdot u}{H^2 \cdot \tan(\theta)} \quad (9)$$

Por lo general se toma la viscosidad a la máxima temperatura que garantiza que no hay degradación térmica del PVC, agregando a la Ec. 9 los parámetros del tornillo y su viscosidad efectiva se tiene una presión de [6]:

$$P = \frac{6 \cdot \pi \cdot (0.08 \text{ m}) \cdot (1.6 \text{ m}) \cdot (0.5 \text{ rev/seg}) \cdot (500 \frac{\text{N}}{\text{m} \cdot \text{seg}})}{(0.00704 \text{ m})^2 \cdot \tan(17.7)}$$

$$P = 38.19 \text{ MPascales}$$

La fuerza de perfil se determina a partir de la presión desarrollada a lo largo del cilindro y por el área de la boquilla 3 la cual da la forma para crear el perfil cilíndrico de menor diámetro.

$$F = P \cdot A \quad (10)$$

$$F = 38,19 \text{ MPa} \cdot 2 \cdot \pi \cdot (0,002 \text{ m})^2$$

$$F = 959,82 \text{ N}$$

$$P = V_{\text{máxima}} \cdot F_{\text{perfil}} \quad (11)$$

$$Pot = 479.91 \text{ vatios o } 0.643 \text{ HP}$$

$$Pot = 0.643 \text{HP} \approx 0.75 \text{HP}$$

La potencia más próxima es 0.75 hp y es lo que se encuentra comúnmente en motores comerciales, pero para efectos más prácticos se utilizará un motor de 1 hp (0,75 kW), ya que se no solo se desea producir mangueras de 1/2 in sino también de hasta 2 in. Lo cual se logra simplemente cambiado los dados de la extrusora, y el anillo de molde de la tina de enfriamiento.

Tabla 5. Datos del motor de la máquina tensora

Fabricante	Motori
Tipo	Motor asíncrono trifásico
Serie	Serie M, 4 polos (80 84)
Voltaje - Frecuencia	230/460 V – 60 Hz
Potencia	0,75 kW
Velocidad	1690 rpm
Corriente Nominal	1,6 A
Rendimiento	76 %
Factor de Potencia (cos φ)	0,77
Peso	9,3 kg
Insolación	Clase F
Protección	IP 55

Mecanismo de rodillos

En la Fig. 8 se observa el mecanismo de rodillos inferiores, donde el motor está conectado mediante banda a la polea 6, esta permite el giro del rodillo principal 2, el cual conecta mediante cadena al rodillo 3, y éste a su vez está conectado al rodillo 5. Estos rodillos van fijos a la base 1. Los ejes de los rodillos van apoyados en los rodamientos 8 y conectados mediante los piñones de cadena 7. Los ejes 4 sirven para que el mecanismo de rodillos superiores se desplace verticalmente, para poder aplicar la presión necesaria para el halado de la manguera.

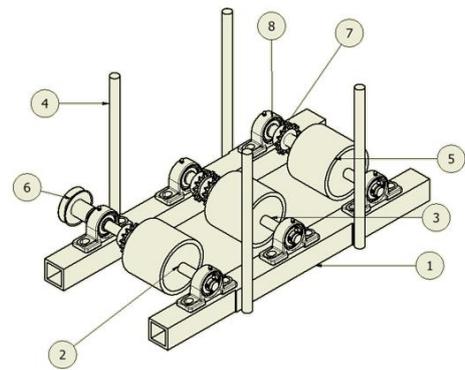


Figura 8. Mecanismo de rodillos inferiores

En la Fig. 9 se muestra el diagrama de cuerpo libre del eje, donde la fuerza de 275 N es la fuerza que ejercen los rodillos al presionar la manguera.

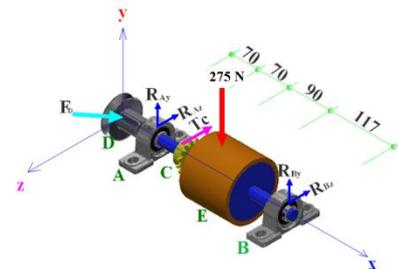


Figura 9 Diagrama de cuerpo libre del eje

En la Fig. 10 se muestra las cargas que soporta el eje, además se observa los valores de las fuerzas cortantes y momentos,

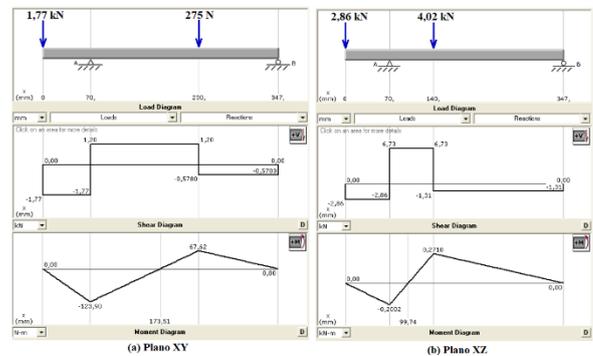


Figura 10 Diagrama de carga, corte y momento

Se realiza los cálculo del eje para un acero AISI1080, obteniendo un diámetro de 27mm.

SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD

Para el control de velocidad de la máquina tensora se dispone de un variador de frecuencia, el cual permite la variación de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor.

Los dispositivos variadores de frecuencia operan bajo el principio de que la velocidad síncrona de un motor de corriente alterna (CA) está determinada por la frecuencia de CA suministrada y el número de polos en el estator, de acuerdo con la relación:

$$\text{RPM} = \frac{120 \cdot f}{p} \quad (12)$$

donde:

RPM = Revoluciones por minuto

f = frecuencia de suministro CA (Hercio)

p = Número de polos (adimensional)

Los variadores de frecuencia realizan esta conversión internamente, para ello hay que programarlos, esto se logra modificando sus parámetros.

En las siguientes figuras se muestra los circuitos de mando y fuerza, tanto para el control del motorreductor de la máquina tensora (Fig. 10) y de la electrobomba (Fig. 11) del sistema de refrigeración.

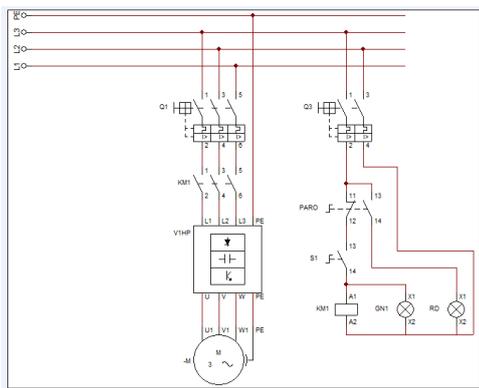


Figura 11 Circuito de mando y fuerza para el motorreductor

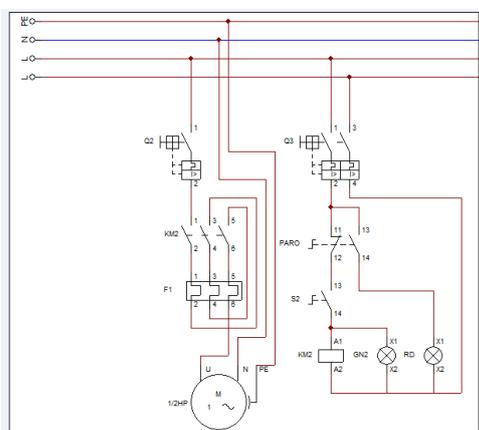


Figura 12 Circuito de mando y fuerza para la electrobomba

Las conexiones de los elementos eléctricos se realizan en un tablero de control, donde se implementa luces indicadoras para mostrar el funcionamiento de la electrobomba o del motorreductor, además se dispone de un botón de paro en caso de alguna emergencia o fallo eléctrico, detener las maquinaria. Para la variación de la velocidad de la máquina tensora, el operario simplemente tiene que girar la perilla de velocidad, esto permite obtener distintos tamaños de grosor de la manguera tal como se observa en la Fig. 12.

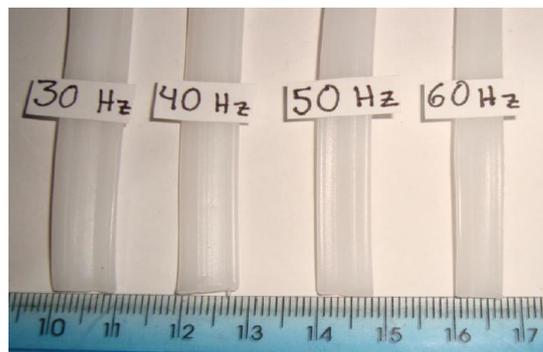


Figura 13. Distintos tamaños de perfil al variar la frecuencia

III. CONCLUSIONES

La construcción de la máquina tensora y tina de enfriamiento redujo la contaminación ambiental, al utilizar el material reciclado en la producción de mangueras.

La fabricación de manguera con plástico reciclado es una opción factible a realizar, ya que es un medio de generación de ingresos.

Se obtiene un producto uniforme de buena calidad mediante el diseño y construcción de la máquina tensora, que cumple con los requerimientos de halado del producto de forma constante. Posee varios mecanismos que hacen fácil la operación y mantenimiento de la misma.

El enfriamiento del producto extruido, con el diseño y construcción de la tina de enfriamiento, se consigue un producto sólido, apto para ser halado por la máquina tensora.

La regulación del grosor del diámetro de la manguera al variar la velocidad de tiro, bajo el diseño y construcción del sistema de control de velocidad empleando un variador de frecuencia.

El estudio de mercado bajo una tabla comparativa de los diversos dispositivos de arrastre, determina la selección de componentes con el fin de economizar la manufactura y construcción del dispositivo en cuestión.

La manguera producida cumple con los requisitos de buena calidad y no presenta perforaciones, óptima para usarse para instalaciones eléctricas.

IV. Bibliografía

- [1] I. Beltrán, Tecnología de Polímeros, España, 2001.
- [2] E. M. Gómez Ramírez, Creación de una empresa dedicada a la manufactura de manguera de riego a partir de plástico recuperado, Bucaramanga, Colombia, 2010.
- [3] V. K. Savgorodny, Transformación de plásticos, Barcelona: Gustavo Gili, 1978.
- [4] J. M. Arandes, J. Bilbao y D. López Valerio, «Reciclado de residuos plásticos,» *Revista Iberoamericana de Polímeros*, vol. 5, pp. 1-18, 2004.

- [5] R. Guiller, Estudio termotécnico de torres de enfriamiento autoventiladas, Barcelona: Gustavo Gili, 1973.
- [6] A. E. N. Silva, sistema de moldeo a inyección estilo lineal para una extrusora de plástico reciclado, Ibarra, 2013.
- [7] A. D. L. Miguel A. Cruz, Diseño y manufactura de un carro de arrastre para una máquina de extrusión, Mexico D.F., 2012.
- [8] A. R. Proaño, Máquina extrusora con soplado continuo para fabricación de mangueras de 1/2 pulgada con plástico reciclado, Ibarra, 2013.
- [9] W. . N. GuangasI Pilapanta Y G. M. Tixilema Chimborazo, Diseño y construcción de un puller automático doble para la extracción de tubería de PVC en la empresa Flexi & Rigid CIA. LTDA, Ambato, 2016.
- [10] Prezi, «Prezi.com,» 2017. [En línea]. Available: <https://prezi.com/9tub1wnnlbxz/residuos-solidos-plasticos/>. [Último acceso: 3 Marzo 2017].
- [11] «Directindustry,» 2010. [En línea]. Available: <http://www.directindustry.es/prod/tecnomatic/banos-de-enfriamiento-para-extrusion-de-tubos-y-de-perfiles-28800-382831.html>. [Último acceso: 27 Abril 2017].