DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE UN CARRO DE ARRASTRE PARA UNA MÁQUINA DE EXTRUSIÓN

Magdalena Trujillo B., Miguel Aparicio C., Alfonso David Loaeza B.
Laboratorio de Procesamiento de plásticos, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México
Avenida Universidad No. 3000, C.P. 04510, México, Distrito Federal
trujbar@unam.mx

Nomenclatura
Q_{max}=Gasto máximo
P_{max}=Presión máxima
A=Área de salida en la boquilla
$V=V_1$=Velocidad lineal del perfil
Q=Gasto volumétrico del polímero
F=Fuerza del perfil a la salida del dado
P_{ext}=Potencia del extrusor
P_{tiro}=Potencia del jalador
$\emptyset_1 = Diámetro\ rodillo\ principal$
$\emptyset_2 =$ Diámetro engrane
$\emptyset_3 =$ Diámetro sinfín
$\emptyset_4 =$ Diámetro rodillos de soporte
$W_1 =$ Velocidad angular rodillo principal
$W_2 =$ Velocidad angular engrane
$W_3 =$ Velocidad angular sinfín
$W_4 =$ Velocidad angular rodillos de soporte
$\mathrm{Pot_{rot}} =$ Potencia para vencer inercia del elemento
$\mathrm{T} =$ Energía necesaria para mover a los elementos
$\mathrm{I} =$ Momento de inercia de la pieza

RESUMEN

La necesidad de optimizar el proceso de extrusión en la Facultad de Ingeniería y lograr una línea de proceso completa, fue el motivo principal de éste trabajo.

La importancia radica en tener un control adecuado de los perfiles generados por los diversos dados con que cuenta el Laboratorio de Procesamiento de Plástico para el proceso de extrusión de perfiles. Harris[1], argumenta en su libro que, como parte del control dimensional de un perfil, es necesario el contar con un carro de arrastre bajo control de velocidad. Aunque Fenner[2], estudió la relajación gradual de un polímero durante el proceso de extrusión, él mantiene que el carro de arrastre tiene una participación esencial en el control del perfil.

Por tanto, el diseño y la puesta en marcha del carro de arrastre que aquí se presenta, no solo permite dar un paso más hacia el firme equipamiento del Laboratorio, sino que en este trabajo se muestra como el diseño propuesto permite controlar el comportamiento del material fuera del extrusor y su dado en cuanto a su forma y dimensiones. El diseño propuesto se llevó a cabo bajo un esquema sencillo de metodología sistemática que permite de manera rápida visualizar las partes que lo conforman.

ABSTRACT

The need to optimize the extrusion process at the Faculty of Engineering and achieve a complete extrusion line was the main reason for this work. The importance lies in having proper control of the profiles generated by the various dies available to the Plastic Processing Laboratory for profile extrusion process. Harris[1], argues in his book that, as part of the dimensional control of a profile, it is necessary to have a drag car speed under control. Although Fenner[2] studied the gradual relaxation of a polymer during the extrusion process, he maintains the idea that the towing carriage has a substantial participation in control of the profile. Therefore, making a drag car not only allows a firm step towards equipping the lab, but also to control the behavior of the material out of the extruder and die, about it is form and dimensions. The proposed design was carried out under a simple scheme of systematic methodology that allows to quickly visualizing the parts that make up.

ANTECEDENTES

La extrusión de perfiles plásticos es un proceso de manufactura de una alta demanda en el mercado actual, en donde el plástico es derretido y guiado a un proceso de formación de un perfil continuo. La función principal de una extrusora es la de generar la suficiente presión en el material para hacerlo pasar a través del cabezal[3],[7]. Los equipos auxiliares definen las

Derechos Reservados © 2012, SOMIM

dimensiones y propiedades del producto extrudido, en particular, el carro de arrastre o jalador define la velocidad lineal a la que el material debe ser extrudido, que al relacionarla con el caudal del extrusor, determinan el espesor y la forma del producto, además de establecer algunas propiedades mecánicas en dirección al flujo[(4),(7),(9)]. En la figura 1 se muestra la secuencia general del proceso de extrusión.

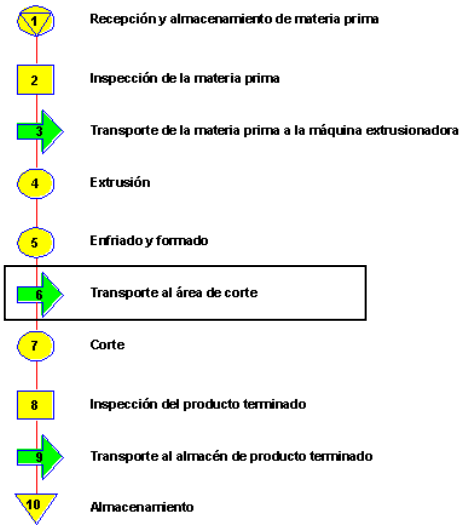


Figura 1-Línea de operación del proceso de extrusión [7]

La etiqueta 6 que se muestra en la figura 1 denominado transporte al área de corte indica la posición del jalador o carro de arrastre en el proceso de extrusión.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el Laboratorio de Procesamiento de plásticos de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, se cuenta con una máquina de extrusión mono husillo carente de algunos equipos periféricos para funcionar como una línea de extrusión, entre ellos, el carro de arrastre o jalador, el que, además de transportar al plástico saliente del dado de extrusión, le infiere forma, dimensiones y propiedades mecánicas al producto terminado. Por tanto, las necesidades a satisfacer son:

- Contar con una unidad de tiro para el proceso de extrusión simple.
- El jalador debe ser capaz de tirar perfiles rígidos y flexibles.
- También debe ser capaz de sujetar perfiles de dimensiones de 0.5 cm a 5 cm del espesor o diámetro del perfil).
- El manejo del dispositivo debe ser de una forma sencilla y de fácil acoplamiento en el proceso de extrusión.
- La posibilidad de ser acoplable a otros dispositivos periféricos para un proceso de extrusión completo.
- La máquina debe lograr sincronizar su velocidad con la rapidez del gasto extrudido.
- Se plantea trabajar con todo tipo de material que la extrusora sea capaz de procesar.

DISEÑO DEL PROTOTIPO

Se realizó un cuadro comparativo con productos existentes en el mercado. La información necesaria sobre los diversos productos ya existentes en el mercado y las discrepancias entre ellos se observaron durante la comparación.

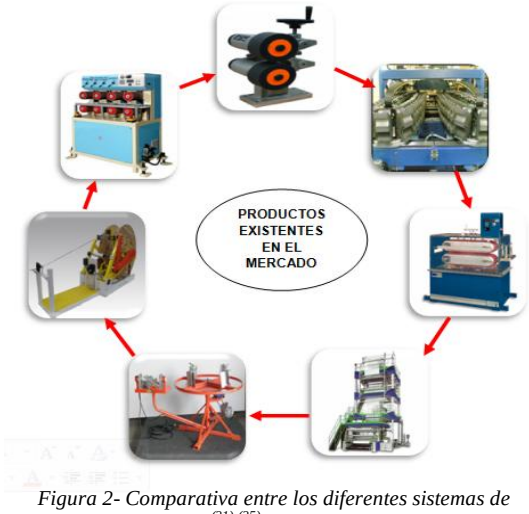


Figura 2- Comparativa entre los diferentes sistemas de tiro[(21)-(25)] comerciales

La figura 2 muestra de manera esquemática los diferentes dispositivos que cumplen con las necesidades antes mencionadas, en la figura se destaca el uso de rodillos de elastómero con posicionamientos diversos; dos de los dispositivos presentan además del arrastre enrollamiento de los perfiles. Como el carro de arrastre está pensado para trabajar con perfiles rígidos y flexibles; el carro de arrastre con enrollamiento estrecho es inadmisible, mientras los sistemas complejos para alta producción también quedan descartados quedando así cuatro

Derechos Reservados © 2012, SOMIM

posibilidades de configuración, éstas se presentan en la figura 3, cuya identificación descriptiva aparece a continuación:

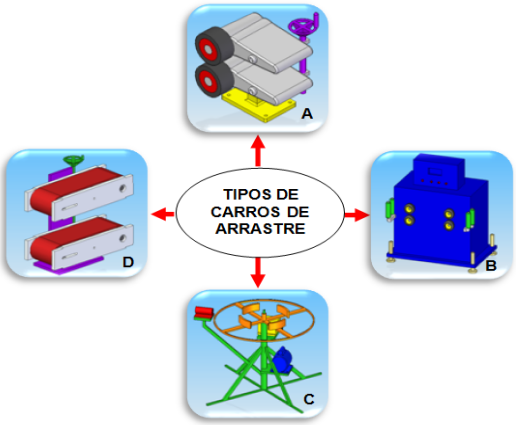


Figura 3- Cuatro posibles alternativas que satisface nuestras necesidades

- A) Jalador tipo llanta
- B) Jalador tipo cuatro llantas
- C) Jalador embobinador amplio
- D) Jalador tipo oruga

Los cuatro sistemas en el carro de arrastre fueron estudiados, sin perder de vista la facilidad de movimiento de los perfiles. Para el diseño del carro de arrastre propuesto, se utilizó una matriz de decisión donde utilizando una escala del 5 al 10 en donde la menor calificación posible es 5 y la mayor calificación es 10, en la matriz se evaluaron las particularidad relevante de cada prototipo ver tabla 1, respecto a velocidad de arrastre, acoplamiento, dimensiones y perfil a jalar.

Características / Alternativas	Número de motores		Perfil a tirar: Rígido		Perfil a tirar: Flexible		Dimensiones		Velocidad tangencial de tiro		Zonas de contacto		Acoplable a otras máquinas		Total
	10%		15%		15%		10%		20%		20%		10%		
Calificación	C	%C	C	%C	C	%C	C	%C	C	%C	C	%C	C	%C	
A	7	0.7	10	1.5	10	1.5	10	1	9	1.8	6	1.2	10	1	8.70
B	7	0.7	8	1.2	7	1.05	6	0.6	7	1.4	7	1.4	10	1	7.35
C	10	1	5	0.75	10	1.5	8	0.8	5	1	8	1.6	6	0.6	7.25
D	10	1	10	1.5	10	1.5	8	0.8	10	2	8	1.6	10	1	9.40

Tabla 1 Matriz de selección de los prototipos evaluados

De acuerdo a la evaluación se determinó la opción que más se adecua a las necesidades planteadas es la alternativa D, el jalador tipo oruga. Profundizando en cada uno de los sistemas que lo componen, el dispositivo a diseñar se divide en cuatro partes para su conformación, (figura 4).

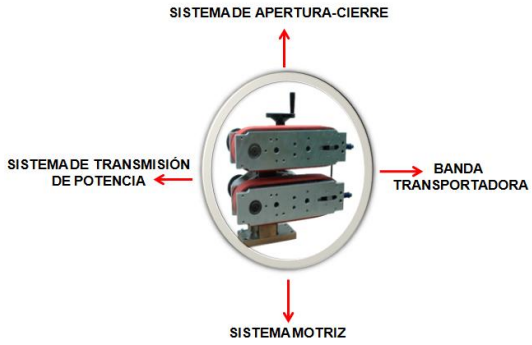


Figura 4- Sistemas elementales de la máquina

Haciendo uso de análisis comparativos y utilizando matrices de decisiones, cada parte fue planteada a modo de obtener las partes que conformarán el diseño del jalador propuesto. Según la figura 4, el jalador esta dividido en: sistema de apertura y cierre, sistema de transmisión de potencia, banda transportadora y sistema motriz.

SISTEMA APERTURA Y CIERRE

En la (figura 5) se proponen los prototipos que pueden satisfacer la apertura y cierre del sistema.

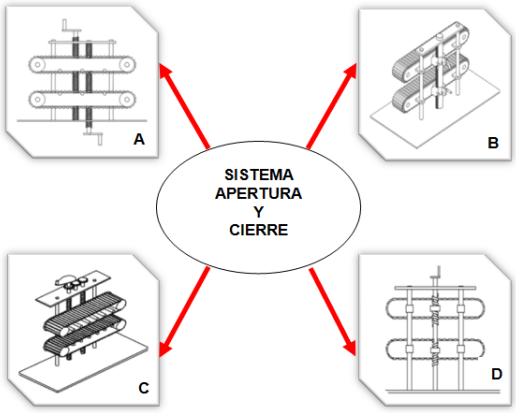


Figura 5- Propuestas para controlar el sistema apertura

Alternativas

- A: Doble sinfín: Inferior - Superior
- B: Piñón – Cremallera
- C: Doble sinfín superior
- D:Sinfín doble cuerda

Derechos Reservados © 2012, SOMIM

Características / Alternativas	Tipo de ajuste				Efecto de gravedad en el perfil		Fácil ajuste De oruga		Montado de equipo		Tamaño del equipo		Número de Componentes		Total
	Independiente		Conjunto												
	20%		20%		15%		15%		10%		10%		10%		
Calificación	C	%C	C	%C	C	%C	C	%C	C	%C	C	%C	C	%C	
A	10	2	5	1	10	1.5	7	1.05	8	0.8	9	0.9	8	0.8	8.05
B	10	2	5	1	10	1.5	6	0.9	7	0.7	9	0.9	7	0.7	7.70
C	10	2	7	1.4	6	0.9	10	1.5	6	0.6	6	0.6	6	0.6	7.00
D	5	1	10	2	10	1.5	9	1.35	7	0.7	9	0.9	10	1	8.45

Tabla 2 Matriz de selección de los prototipos evaluados apertura y cierre

Con la tabla 2 se realiza la diferencia entre los prototipos obteniendo como la mejor opción la propuesta **D,** sinfín de doble cuerda.

SISTEMA TRANSMISIÓN DE POTENCIA

En la transmisión de potencia (figura 6), existen varios factores para decidir entre una opción u otra, pero uno muy importante es la eficiencia, sin olvidar los costos generados. La determinación de la potencia requerida en la periferia de la oruga se basa en las características específicas del producto a jalar.

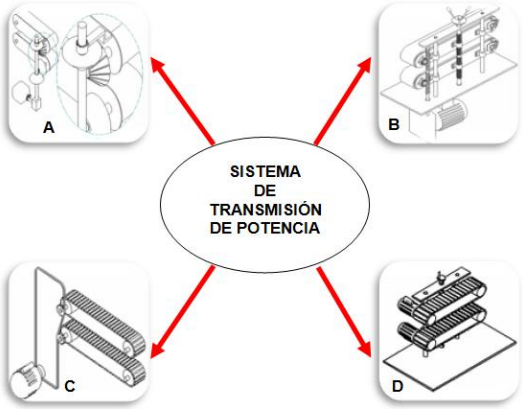


Figura 6- Propuestas para lograr la transmisión de potencia

Alternativas

- A: Engranes cónicos – helicoidales
- B: Sinfín doble cuerda – engranes rectos
- C: Transmisión flexible
- D: Dos motores

Capacidad / Alternativas	Número de motores		Ajuste de Sistema con la máquina operando		Eficiencia		Montado de equipo		Recursos		TOTAL
	20%		30%		25%		15%		10%		
	C	% C	C	% C	C	% C	C	% C	C	% C	
A	10	2	10	3	10	2.5	6	0.9	7	0.7	9.10
B	10	2	10	3	9	2.25	9	1.35	9	0.9	9.75
C	10	2	5	1.5	8	2.0	7	1.05	8	0.8	7.35
D	5	1	10	3	10	2.5	8	1.20	9	0.9	8.60

Tabla 3 Matriz de selección de los prototipos evaluado (Transmisión de potencia)

En esta tabla se buscaron la discrepancias de las alternativas basadas en los puntos antes tratados donde se visualiza que la mejor opción es la **B,** Sinfín doble cuerda – engranes rectos.

SISTEMA MOTRIZ

Para un óptimo funcionamiento de la sección motriz del dispositivo, es necesaria la adecuada selección del corazón de la máquina: el motor, sin perder de vista los requerimientos que de éste necesitamos; potencia, torque, par, tipo de alimentación y control. Ahora se busca la mejor opción de motor de entre los de corriente directa, corriente alterna o servomotores (figura 7).

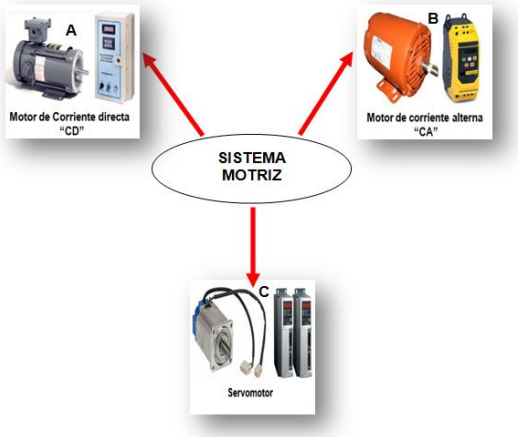


Figura 7- Propuestas para control de velocidad

Alternativas

- A: Motor DC excitación en serie
- B: Motor CA trifásico síncrono rotor jaula de ardilla
- C: Servomotor

Capacidad / Alternativas	Par de arranque		Control de velocidad		Componentes del control de velocidad		Costo		TOTAL
	30%		30%		20%		20%		
	C	% C	C	% C	C	% C	C	% C	
A	10	3	8	2.4	6	1.2	6	1.2	7.8
B	8	2.4	9	2.7	10	2.0	10	2.0	9.1
C	10	3	10	3	6	1.2	6	1.2	8.4

Tabla 4 Matriz de selección de los prototipos evaluado (Sistema motriz)

En la tabla 4, se detecta que la mejor opción del sistema motriz es la determinada como **B**, motor CA trifásico síncrono rotor jaula de ardilla, ya que tiene un componente de control compacto, económico y de fácil manejo (con variador de frecuencia).

Derechos Reservados © 2012, SOMIM

BANDA TRANSPORTADORA

Por último se selecciona la banda transportadora, la cual debe de ser capaz de lograr la sujeción del perfil a jalar a una elevada temperatura (70 a 120°C), en la (figura 8) se muestran dos tipos de bandas fabricadas con materiales comerciales.

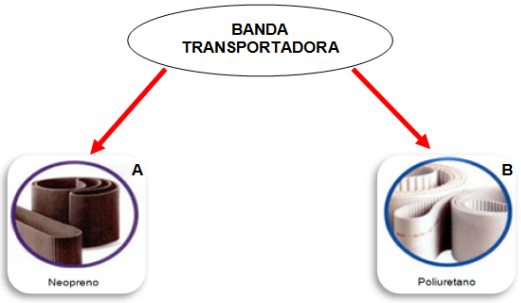


Figura 8- Propuestas para la sujeción del perfil

Capacidad / Alternativas	Resistencia a temperaturas mayor a 40°		Resistencia a agentes químicos		Resistencia a la degradación causa del clima		Resistencia a daños por tornillo y fricción		Costos		TOTAL
	25%		25%		15%		15%		20 %		
	C	% C	C	% C	C	% C	C	% C	C	%C	
a	10	2.5	10	2.5	10	1.5	10	1.5	9	1.8	9.8
b	9	2.25	10	2.5	10	1.5	10	1.5	8	1.6	9.35

Tabla 5 Matriz de selección de los prototipos evaluado (Bandas)

Con base en la tabla 5 la banda transportadora que cumple con las características y requerimientos establecidos es la alternativa **A**, neopreno.

Al finalizar las alternativas de selección se conjunta lo seleccionado (figura 9) dando como resultado el prototipo final a construir, sin embargo, el dimensionamiento y la funcionalidad deben ir acoplados a las características de la máquina de extrusión, para ello se utilizan las ecuaciones de flujo dadas por el extrusor en sus condiciones de frontera.

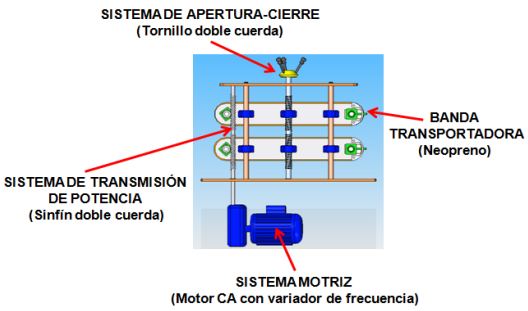


Figura 9- prototipo final de diseño, acoplando todos los componentes seleccionados con anterioridad

CÁLCULOS DE DIMENSIONES

Comenzando a justificar dimensiones de la máquina, se analiza las condiciones de frontera de la extrusora utilizando las ecuaciones de la (figura 10).

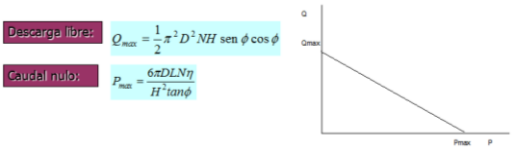


Figura 10- Análisis reológico del proceso de extrusión obteniendo el gasto y la presión máxima en dicho proceso(8)(,9),(20)

En la (figura 11) se ilustra las partes de husillo cuyos datos serán necesarios para conocer el punto de partida del análisis entre la extrusora y la unidad de tiro.

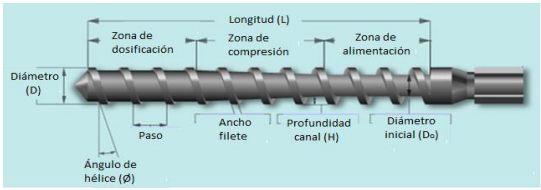


Figura 11- Características principales de un husillo

Flujo volumétrico que puede entregar el equipo

Datos de la extrusora marca NIETO

H=7.85 mm D=51 mm $\emptyset = 17°$

N=39.1 RPM L=1067 mm

η =88.46 poises (viscosidad del PEAD a 210°C)

Haciendo uso de las ecuaciones (figura 10) obtenemos:

$$Q_{max} = Q_d = \frac{1}{2}\pi^2 D^2 NH sen\emptyset cos\emptyset$$

$$Q_d = \frac{1}{2}\pi^2 (0.051)^2 \left(\frac{391}{300}\pi\right)(0.00785) sen17° cos17°$$

$$= 1.153x\,10^{-4} \left(\frac{m^3}{s}\right)$$

Ahora la presión máxima se obtiene

$$P_{max} = \frac{6\pi DLN\eta}{H^2 \tan\emptyset}$$

$$\Delta P = P_{max} = \frac{6\pi(0.051)(1.067)(39.1)\left(\frac{2\pi}{60}\right)(88.46)}{(0.00785)^2 \tan 17°}$$

$$= 19.7 \text{ (MPa)}$$

Pérdidas del flujo volumétrico debido a la presión permisible y viscosidad del material

$$Q_p = \frac{\pi D H^3 sen^2\phi \Delta P}{12L\eta}$$

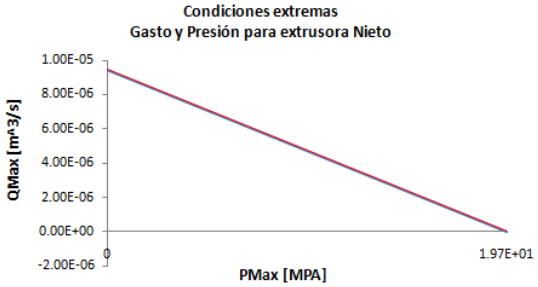
Derechos Reservados © 2012, SOMIM

$$Q_p = \frac{\pi(0.051)(0.00785)^3 \text{sen}^2 17}{12(1.067)}\left(\frac{18.1\text{x}10^6}{88.46}\right)$$
$$= 1.0589\text{x}10^{-4}\left(\frac{m^3}{s}\right)$$

Flujo volumétrico total a la salida del extrusor en una descarga libre considerando pérdidas

$$Q = \frac{1}{2}\pi^2 D^2 NH\text{sen}\emptyset\cos\emptyset - \frac{\pi DH^3 \text{sen}^2\phi\Delta P}{12L\eta}$$
$$Q = 1.153\text{x}\,10^{-4} - 1.0589\text{x}10^{-4}$$
$$= 9.41\text{x}10^{-6}\left(\frac{m^3}{s}\right)$$

Utilizando los resultados obtenidos de presión y caudal en descarga libre con el efecto que causa el polietileno de alta densidad (PEAD) en cada una de ellas, se obtiene la curva característica del extrusor (gráfica 1).



Gráfica 1- Condiciones extremas del extrusor utilizando 39.1 RPM en el husillo

Ya que se conocen los límites de la máquina de extrusión, emplearemos el dado anular para conocer el gasto que nos entrega la extrusora al ocupar este complemento.

PERFIL	K_B	VARIABLES
Circular	$\frac{\pi R^4}{8L}$	R: radio L: longitud
Anular	$\frac{\pi R_0^4}{8L}[1 - R^4 - \frac{(1-R^2)^2}{\ln(\frac{1}{R})}]$	R_0: radio exterior R_i: radio interior $R = R_i / R_0$
Rectangular	$\frac{(1-0.65H/W)WH^3}{12L}$	W: anchura H: altura
Troncocónica	$\frac{\pi r_0^4 3(\frac{R_0}{r_0}-1)}{(8L)(1-(\frac{r_0}{R_0})^3}$	R_0:radio de entrada r_0: radio salida

Figura 12- Comportamiento del flujo másico atreves de diferentes secciones transversales [4]

Conociendo que el gasto otorgado por un dado esta en función de su geometría, diferencia de presión y viscosidad podemos analizar de la siguiente manera

$$Q_{dado} = K_B\left(\frac{\Delta P}{\eta}\right) \qquad (1)$$

Donde K_B es característica de la geometría del dado (figura 12) podemos calcular el gasto de un dado anular.

Calculando el flujo volumétrico en la salida del dado anular usando ecuación 1.

$$K_B = \frac{\pi R_0^4}{8L}\left[1 - R^4 - \frac{(1-R^2)^2}{ln\left(\frac{1}{R}\right)}\right]$$

Dónde:

$$R = \frac{R_i}{R_0}$$

R_i=radio anular interior R_0=radio anular exterior
L=longitud de la boquilla

$R = \frac{0.00275\,m}{0.00325\,m} = 0.84615$ R_i=0.00275 m

R_0=0.00325 m L=0.00418 m

$$K_B = \frac{\pi(0.00325)^4}{8(0.00418)}\left[1 - (0.84615)^4 - \frac{(1-(0.84615)^2)^2}{\ln\left(\frac{1}{0.84615}\right)}\right]$$
$$= 4.67\text{x}10^{-11}(m^3)$$

Finalmente el flujo volumétrico

$$Q_{\text{dado anular}} = 4.67\text{x}10^{-11}\left(\frac{19.7\text{x}10^6}{88.46}\right)$$
$$= 4.96\text{x}10^{-6}\left(\frac{m^3}{s}\right)$$

Conociendo las limitantes con respecto al área frontal de un dado, se continúa con el cálculo de las velocidades a la entrada de la unidad de tiro con base al flujo de operación para este dado.

De la siguiente ecuación se calcula la velocidad lineal a la salida de cada dado.

$$Q = AV \qquad (2)$$

Despejando la velocidad de la ecuación 2.

$$V = \frac{Q}{A}$$

Considerando que el área del dado corresponde a un dado anular se tiene:

$$V = \frac{Q}{\pi(R_0^2 - R_i^2)}$$
$$V = \frac{4.96\text{x}10^{-6}}{\pi(0.00325^2 - 0.00275^2)} = 0.5259\left(\frac{m}{s}\right)$$

Fuerza del perfil

Derechos Reservados © 2012, SOMIM

$$P = \frac{F}{A} \qquad (3)$$

Conociendo la presión de operación y el área del perfil se despeja la fuerza en la ecuación 3, tal que:

$$F = PA$$

Por tanto la fuerza que se necesita para jalar el perfil es:

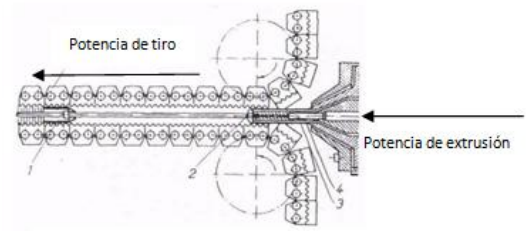
$$F = (P)\left(\pi(R_0^2 - R_i^2)\right)$$
$$= (9.39x10^6)\left(\pi(0.00325^2 - 0.00275^2)\right)$$
$$= 88.5\ N$$

Cálculo de potencia del motor

Dependiendo de la potencia entregada por la extrusora, se calcula la potencia a la entrada del carro de arrastre con la ecuación 4:

$$Pot = FV \qquad (4)$$

$$Pot_{ideal} = (88.5\ )(0.5259) = \mathbf{46.55}\ [\mathbf{W}]$$



$$Pot_{ext} = Pot_{tiro} = 46.55\ [W]$$

Figura 13- Equivalencia entre potencia del extrusor con respecto a la potencia de arrastre

Siendo esta la potencia ideal del dispositivo, así que es necesario considerar la potencia pérdida por los elementos que componen la transmisión.

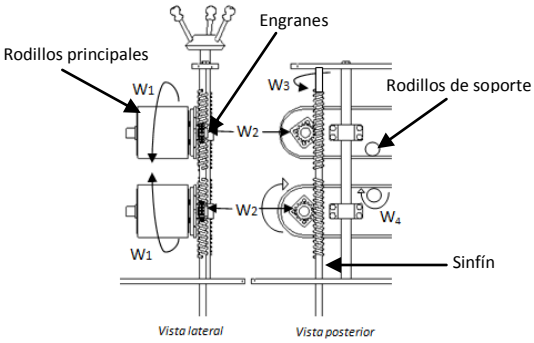


Figura 14- Sentido de giro de los elementos rotativos del carro de arrastre

$V_1 = 0.5259\ \frac{m}{s}$ $\qquad \emptyset_1 = 0.1\ m$ $\qquad \emptyset_3 = 0.02m$

Engranes: $\quad Z = 15 \qquad \emptyset_2 = 0.038\ m$
$\emptyset_4 = 0.030\ m$

Dado que 1 y 2 están en el mismo eje:

$$W_1 = W_2$$

$$W_1 = \frac{V_1}{r_1} = \frac{0.5259\frac{m}{s}}{0.05m} = 10.51\frac{rad}{s}$$

Luego:

$$W_1 = W_2 = \frac{V_2}{r_2} \qquad V_2 = W_2 * r_2$$

$$V_2 = 0.1997\frac{m}{s}$$

Para W_4 tenemos:

$$W_4 = \frac{V_4}{r_4} = \frac{V_1}{r_4}$$

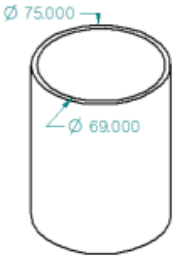
$$W_4 = \frac{V_1}{r_4} = \frac{0.5259\frac{m}{s}}{0.015\ m} \qquad W_4 = 35.06\ \frac{rad}{s}$$

Para el cálculo de potencia por componente se puede calcular de la siguiente manera:

$$Pot_{rot} = Tw = \frac{1}{2}\ I\ w^3 \qquad (5)$$

Usando a ecuación 5 procederemos a calcular la potencia necesaria para vencer la inercia de los siguientes elementos.

RODILLOS PRINCIPALES



$$I = \frac{1}{2}(1.2)(0.0375^2 + 0.0345^2)$$
$$= 1.558\ x\ 10^{-3}\ [Kg\ m^2]$$

$$T = \frac{1}{2}\ (1.558\ x\ 10^{-3}[Kg\ m^2])\ \left(10.519\left[\frac{rad}{s}\right]\right)^2$$
$$= 0.0862\ [Nm]$$

$T = 0.0862\ [Nm]$

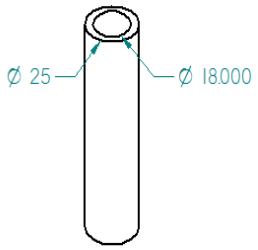
Se tienen 4 rodillos principales, por lo tanto

$T_{4\ rodillos} = 0.0862 * 4 = 0.3448\ [Nm]$

$$Pot_{rot} = (0.3448\ [Nm])\left(10.5192\left[\frac{rad}{s}\right]\right)$$
$$= \mathbf{3.6268}\ [\mathbf{W}]$$

RODILLOS DE SOPORTE

Derechos Reservados © 2012, SOMIM

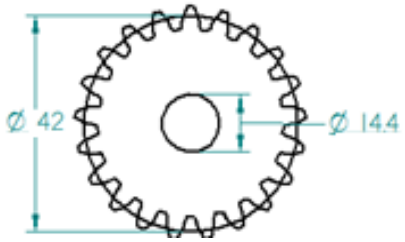


$$I = \frac{1}{2}(0.2)(0.0125^2 + 0.009^2)$$
$$= 2.37\ x\ 10^{-5}\ [Kg\ m^2]$$
$$T = \frac{1}{2}\ (2.37\ x\ 10^{-5}[Kg\ m^2])\ \left(35.06\left[\frac{rad}{s}\right]\right)^2$$
$$= 0.0145\ [Nm]$$
$$T_{rodillo\ soporte} = 0.0145\ [Nm]$$

Se tienen 6 rodillos como soporte a lo largo de la banda, por lo tanto:

$$T_{6\ \text{rodillos}} = 0.0145 * 6 = 0.0875\ [\text{Nm}]$$
$$P = (0.0875[Nm])\left(35.06\left[\frac{rad}{s}\right]\right)$$
$$= \mathbf{3.067}[\boldsymbol{W}]$$

ENGRANES



$$I = \frac{1}{2}(0.2)(0.021^2 + 0.0072^2)$$
$$= 4.9223x10^{-5}[Kg\ m^2]$$
$$T = \frac{1}{2}(4.9223x10^{-5}[Kg\ m^2])\left(10.51\left[\frac{rad}{s}\right]\right)^2$$
$$T_{engrane} = 2.726x10^{-3}[Nm]$$

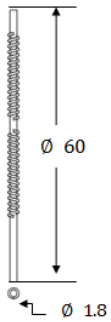
Se tienen 2 engranes acoplados entre ellos, por lo que la energía necesaria para moverlos es:

$$T_{2\ engranes} = 2.726x10^{-3} * 2$$
$$= 5.452x10^{-3}\ [Nm]$$

Sustituyendo los valores obtenidos obtenemos la potencia necesaria para mover dichos elementos

$$P = (\ 5.452x10^{-3}[Nm])\left(10.51\left[\frac{rad}{s}\right]\right)$$
$$= \mathbf{0.057}\ [\boldsymbol{W}]$$

SINFÍN



Para determinar el momento de inercia del sinfín se recurre a la ecuación:

$$I = \frac{1}{2}(2.7)(0.018/2)^2 =$$
$$1.09x10^{-4}[Kg\ m^2]$$
$$\text{T} = \frac{1}{2}(1.09\text{x}10^{-4}[\text{Kg m}^2])\left(157.79\left[\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right]\right)^2$$
$$T_{sinfín} = 1.357[Nm]$$

Sustituyendo los valores obtenidos obtenemos la potencia necesaria para mover el elemento en cuestión:

$$P = (1.357[Nm])\left(157.79\left[\frac{rad}{s}\right]\right)$$
$$= \mathbf{214.1}[\boldsymbol{W}]$$

$$\text{P}_{\text{máquina}} = \text{P}_{\text{ideal}} + \text{P}_{6\ \text{rodillos}} + \text{P}_{4\ \text{rodillos}} + \text{P}_{2\ \text{engranes}} + \text{P}_{\text{sinfín}} + \text{P}_{\text{pérdidas}}$$
$$\boldsymbol{P_{máquina}} = \mathbf{46.55 + 3.6268 + 3.067 + 0.057 + 214.1 + 1.122 = 218.7}\ [\boldsymbol{W}]$$
$$\boldsymbol{P_{máquina}} = \mathbf{268.523}\ [\boldsymbol{W}] \approx \mathbf{0.36}\ \boldsymbol{Hp}$$

Este dato nos representa la capacidad del motor y comercialmente el valor más próximo es de 0.5 Hp.

Operación del dispositivo y experimentación

Para la puesta en marcha de la máquina, se utilizó polietileno de alta densidad HDPE con un perfil de temperaturas dentro del husillo de: 110 °C en la zona de alimentación, 180 °C en la zona de compresión, 200 °C en la zona de dosificación y 210°C en la zona del dado.

Condiciones previas

Con el *carro de arrastre* instalado en la línea de extrusión, cuya puesta en marcha se ilustra en la (figura 15), se realizaron las primeras pruebas de tiro para un polietileno de alta densidad, PEAD.

Derechos Reservados © 2012, SOMIM

Figura 15- Puesta en marcha del carro de arrastre

Una vez conocido el modo de operar del carro de arrastre, la línea de extrusión se implementa comenzando por extrudir el material, cuando comienza a fluir a la salida del dado se procede a introducir el producto dentro de la tina de enfriamiento, el cual ayudará a solidificar el perfil y con esto lograr la acción de tiro para obtener el producto terminado (figura 16).

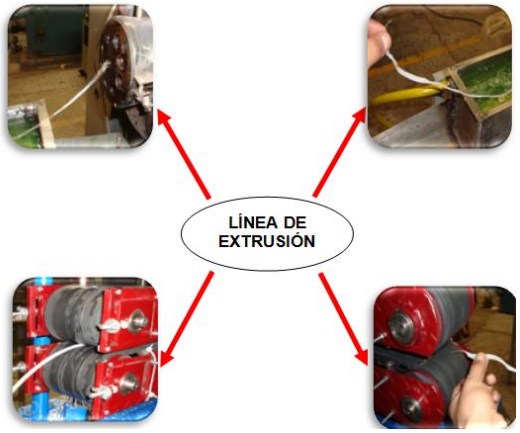


Figura 16- Línea de extrusión usando tira de enfriamiento y carro de arrastre para obtener un perfil

Cuando se alcanza la linea completa de produccion se observa el comportamiento del fluido a la salida del dado y su respuesta al momento de incrementar la velocidad del motor, la tabla 6 relaciona los parámetros de operación del carro de arrastre con la variación del perfil a la salida del dado.

RESULTADOS

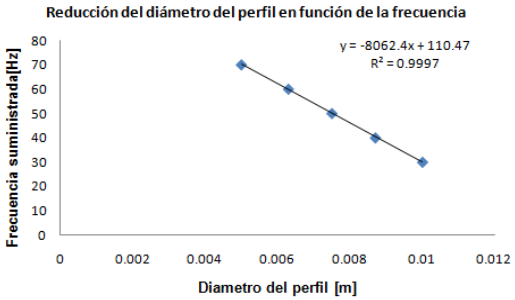
Pruebas de tiro con el carro de arrastre		
Frecuencia (Hz)	Revoluciones del motor [rpm]	Imagen
30	900	
40	1200	
50	1500	
60	1800	
70	2100	

Tabla 6 Variación del espesor del perfil con respecto a la frecuencia suministrada al motor

Otra prueba que se realizó fue a la salida de la unidad de tiro donde físicamente se midió el diámetro del perfil y de la misma manera se observa que al incrementar la velocidad de tiro disminuye el diámetro del perfil obteniendo un comportamiento casi lineal (gráfica 2)

Dimensionamiento del perfil		
Prueba	Velocidad de tiro [m/s]	Diámetro [m]
1	0.32	0.01
2	0.41	0.0087
3	0.48	0.0075
4	0.59	0.0063
5	0.72	0.0050

Tabla 7 Variación del espesor del perfil con respecto a la frecuencia suministrada al motor



Grafica 2 Razón de disminución del diámetro del perfil en función de la frecuencia suministrada al motor del carro de arrastre

Por lo tanto al final de la prueba se comprueba la funcionalidad del carro de arrastre dentro de la línea de extrusión (figura 17).

Derechos Reservados © 2012, SOMIM

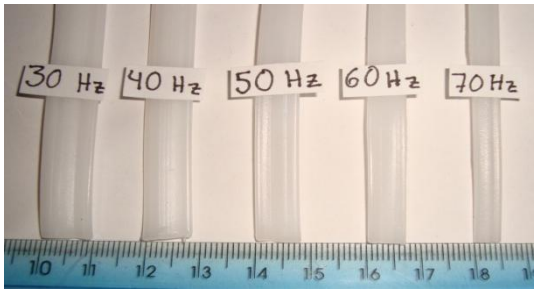


Figura 17- Comportamiento físico del perfil en función de la frecuencia suministrada al motor de la unidad de arrastre.

CONCLUSIONES

Abordando el objetivo planteado al inicio de este trabajo, se cumplió satisfactoriamente las especificaciones de diseño que eran necesarias para desarrollar el sistema de sujeción y transmisión de potencia de la máquina sin perder de vista los dispositivos existentes en el mercado. Se llevó a cabo una metodología de diseño básica pero sistemática que logró obtener una máquina funcional y compatible con la extrusora existente. Este trabajo muestra la funcionalidad de la máquina diseñada a través del trabajo conjunto entre la extrusora y el jalador usando como medio polietileno de alta densidad (PEAD).

Referencias

(1) Harris, Holton, "Extrusion control, Machine-process-product", Hanser Verlag, 2004.

(2) Fenner R.T. "*Developments in the analysis of steady screw extrusion of polymers*", Review Article Polymer, Volume 18, Issue 6, June 1977, Pages 617-635.

(3) Rubin I., "Materiales Plásticos: Propiedades y Aplicaciones", Editorial Limusa Wiley, 2004

(4) Maribel Beltrán, Antonio Mancilla, "*Apuntes Curso de Tecnología de Polímeros*", Universidad de Alicante, España, 2009

(5) Cencil Jensen, Jay D. Helsel, Dennis R. Short. *"Dibujo y Diseño en ingeniería"*, 6ª edición, Mc Graw Hill, 2004.

(6) Hibberler R. C., *"Mecánica Vectorial para Ingenieros*". Dinámica, décima edición, México 2004.

(7) Haper Charles A. *"Manual de plásticos*", 1ª edición, Mc Graw Hill, 2004.

(8) Birley Arthur W., Haworth Barry, Batchelor Jim, "*Physics of Plastics*", Hanser, 1992.

(9) Blanco Vargas R. "*Enciclopedia del plástico tomo 4*", 2ª edición, Centro empresarial del plástico, 1999/2000.

(10) Rowe, G. W., "*Principles of Industrial Metalworking Processes*", London, Edward Arnold, 1977.

(11) Mielnik, E., "*Metalworking Science and Engineering*", New York, McGraw-Hill Inc., 1991.

(12) Lange, K., "*Handbook of Metal Forming*", New York, McGraw-Hill Book Co., 1968.

(13) Hosford, W. and Caddell, R., *"Metal Forming, Mechanics and Metallurgy"*, Cambrigde University Press, Prentice Hall, 1993.

(14) Richardson, G. J., Hawkins, D. N. and Sellars, C. M., "*Worked Examples in Metal Forming"*, London, The Institute of Metals, 1985.

(15) White Call, F., *"Mecánica de Fluidos",* 5ta Edicion, New York, McGraw-Hill Inc., 2010.

(16) Incropera F., De Witt P., *"Fundamentos de Transferencia de Calor",* 4ta Edición, Pearson México, 2001.

(17) http://www.contactopyme.gob.mx/guiasempresariales/guias.asp?s=14&guia=104&giro=10&ins=985

(18) R.J. Crawford. "Plastics Engineering", 3ª edition, Butterworth Heinemann,1998.

(19) Kirk Cantor., Blown Film Extrusion "An introduction", USA, Hanser, 2006.

(20) **Centro Catalán del Plástico** www.upc.edu/ccp/, consultada el 25 de abril de 2011.

(21) http://www.whatisplastic.com/?p=47

(22) http://www.contactopyme.gob.mx/guiasempresariales/guias.asp?s=14&guia=104&giro=10&ins=985

(23) http://materias.fcyt.umss.edu.bo/tecno-II/PDF/cap-23.pdf

(24) http://www.tecnova-srl.it

(25) http://www.supplierlist.com/b2b/products/htsplmac/p-0/showroom.htm

Derechos Reservados © 2012, SOMIM