

CAPÍTULO 3

DESCRIPCIÓN DEL LA UNIDAD DE EXTRUSIÓN, DISEÑO DEL CABEZAL DE EXTRUSIÓN Y CORTADOR DE PARISON.

3.1 Unidad de extrusión.

A continuación explicaremos de manera general el funcionamiento básico de la unidad de extrusión. Como ya se cuenta con esta parte de la máquina, solo se describirán las características de este sistema.

3.1.1 Descripción extrusor.

En el proceso de extrusión-soplo, el extrusor es la parte fundamental del sistema, de este depende la calidad final del producto, tanto en el aspecto técnico como en el estético. La eficiencia y el costo de producción del sistema también van muy ligados a esta parte de la máquina.

A grandes rasgos el extrusor es donde se transforma, transporta, se compacta, se fusiona, se mezcla, homogeniza, se plastifica y conforma el polímero a utilizar en el proceso de extrusión.

Básicamente esta formado por la tolva de alimentación, barril, tornillo de extrusión, cabezal de extrusión, sistema de calentamiento (resistencias), sistema de movimiento (motor, reductor) (Ver figura 3.1).

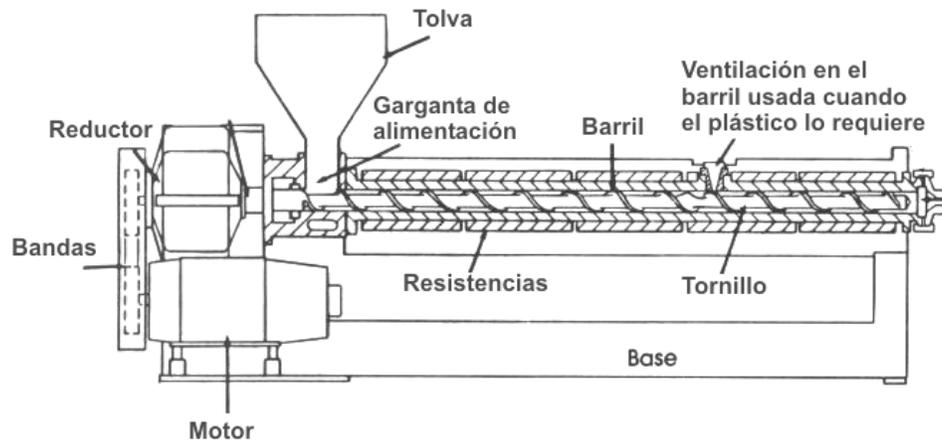


Figura 3. 1 Diagrama típico de un extrusor de tornillo simple y flujo continuo. (Blow Molding Handbook)

3.1.1.1 Tolva de alimentación

La tolva es el componente del extrusor de diseño más simple, aunque no por eso de menor importancia. En la tolva (ver Figura 3.2) se almacena el material a utilizar. El material debe ser el suficiente para que se tenga una alimentación constante al sistema y este se mantenga trabajando de manera ininterrumpida.

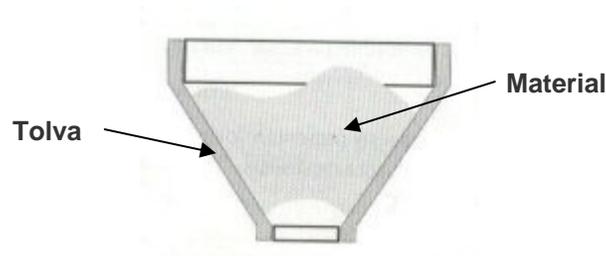


Figura 3. 2 Esquema de la tolva de alimentación. (www.venezuelaenplastico.com)

Como elemento de seguridad se coloca, por lo regular, una trampa magnética en la parte inferior, la cual evita que partículas metálicas que estén mezcladas con el material entren al sistema, pudiendo dañar el tornillo o el barril.

Para un buen funcionamiento de la tolva se toma como regla general que la garganta de alimentación debe tener un diámetro igual al diámetro nominal del husillo y un largo de 1.5 ó 2 veces el diámetro nominal del tornillo. La altura total de la tolva depende de la cantidad de material que se quiera almacenar y a que intervalos se quiera estar llenando nuevamente; en ocasiones se pueden adicionar sistemas de alimentación de material automáticos, que aunque este sistema es más práctico, solo se utiliza con producciones muy elevadas para que el costo sea justificado.

3.1.1.2 Barril de extrusión.

El barril básicamente es un cilindro hueco de gran espesor, para que pueda soportar las presiones generadas en su interior por el husillo y el plástico. Se encarga de transmitir el calor de las resistencias al polímero, que en este caso es polietileno.

El barril debe tener una ranura para la alimentación de material o en ciertas ocasiones se le puede agregar una pieza que se acopla al barril y sirve como entrada de material; en algunos casos se le agrega una ranura de ventilación (ver Figura 3.3), la cual permite el escape de vapores que se generan cuando se procesan plásticos hidrocópicos, es decir, que contienen agua, aunque en la actualidad es más utilizado un sistema externo de secado, lo cual resulta más factible.

En el caso del polietileno de alta densidad (HDPE) no se necesita de esta ranura, ya que este no conserva humedad y por lo tanto no genera vapores al momento de ser procesado.

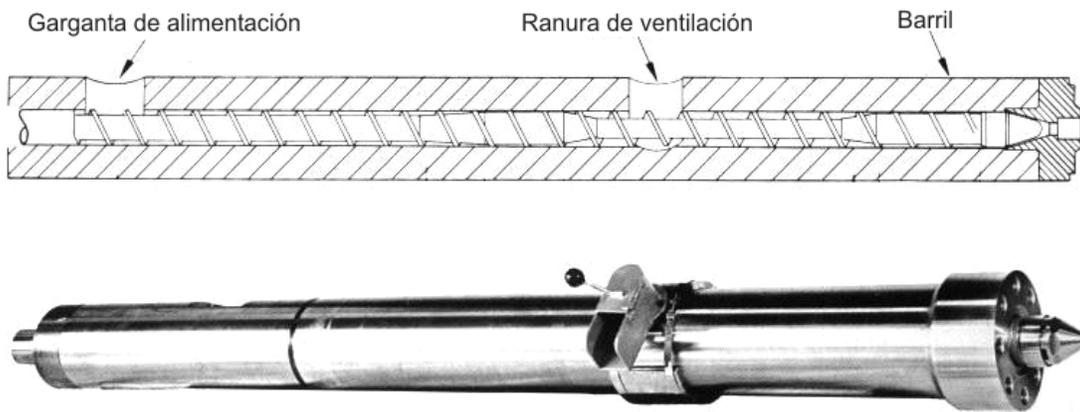


Figura 3. 3 Ejemplo de barril ventilado y tornillo que puede ser utilizados para procesar plástico hidrocópico como ABS, nylon, acrílico y otros. (Blow Molding Handbook).

3.1.1.3 Husillo de Extrusión

Se puede decir que una parte esencial dentro del sistema de extrusión, es el tornillo de extrusión. Básicamente, el husillo esta dividido en tres zonas, como se puede ver en la Figura 3.4, aunque esto puede variar de acuerdo a la aplicación para la cual se utilizará el husillo. Las zonas son: zona de transporte, zona de transición o compresión y la zona de dosificación, también se le puede agregar un dispositivo de mezclado para un mejor funcionamiento.

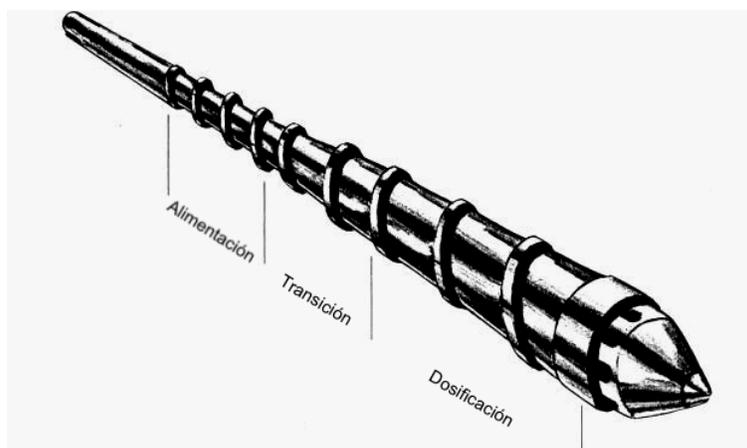


Figura 3. 4 Zonas básicas en un husillo de extrusión. (Blow Molding Handbook)

Cada sección tiene una función:

Zona de alimentación: En esta zona el polímero entra en forma de pellets al canal, mientras que el tornillo gira. Como el husillo tiene una forma de hélice, esto hace que el material se mueva hacia el frente y pueda avanzar a las zonas siguientes.

Zona de transición o compresión: Esta zona el canal empieza a reducirse, en otras palabras, el diámetro interior del husillo se incrementa. Mientras pasa por esta zona, la resina se comprime y se calienta hasta su punto de fusión.

Zona de dosificación: En esta zona la profundidad de el canal es mínima, aquí se logra calentar de manera homogénea el material. Mediante la reducción de área se hace el efecto de una bomba, con lo que el material es obligado a salir de manera constante y sin turbulencia. Aquí también se busca realizar una buena mezcla del material.

Dispositivo de mezclado: Durante el funcionamiento de un husillo normal, en la zona de dosificación se tiene un flujo laminar, esto provoca que a veces no se haga una buena mezcla y puedan quedar pellets en un estado sólido. Esto da como resultado que el plástico no sea uniforme, las propiedades no sean las deseadas y en caso de utilizar un color, este no sea homogéneo en todo el producto. Como solución a este problema, se le agrega un dispositivo mezclador al husillo, lo que hará que el flujo se vuelva turbulento y se haga una mezcla homogénea. Existen diferentes tipos de mezcladores, creados por los diferentes fabricantes de husillos, pero los más comunes son:

- a. Mezclador tipo Dulmage (Fig. 3.5). Este tipo de mezclador fue desarrollado por Fred Dulmage de *Dow Chemical Co.* Consiste en una serie de cortes semicirculares que forman una hélice, en la misma dirección que los filetes del husillo. Por lo regular tiene 3 o más secciones interrumpidas por pequeños cortes cilíndricos lo que interrumpe el flujo laminar y provoca una buena mezcla.

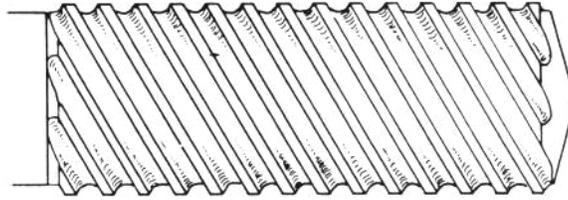


Figura 3. 5 Mezclador tipo Dulmage (Blow Molding Handbook).

- b. Pines mezcladores (Fig. 3.6). Como se puede ver en la figura, los pines se colocan comúnmente de manera radial en el husillo, pero pueden ser colocados con un acomodo y forma diferente. Los pines evitan el flujo laminar y mejoran la mezcla. En comparación con otros dispositivos de mezclado, los pines son fáciles de colocar, de hecho pueden ser colocados después de haber usado el husillo y notar que necesita mezclar más; aunque hay que tomar en cuenta que deben de estar templados y bien ajustados para evitar que se desprendan.

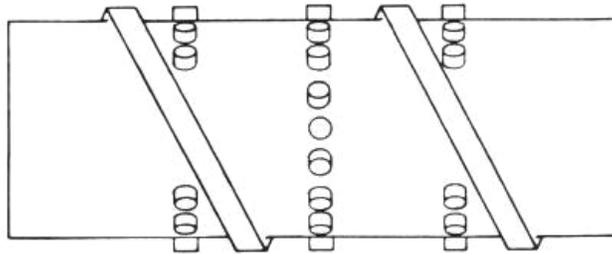


Figura 3. 6 Pines mezcladores (Blow Molding Handbook).

- c. Mezclador tipo Maddock (Figura 3.7). Este mezclador fue desarrollado por Bruce Maddock de *Union Carbide*. Consiste en una serie de ranuras circulares opuestas que van alineadas con el eje del husillo. Como se puede ver en la figura 3.7, este dispositivo tiene dos tipos de ranuras, una que esta abierta hacia la entrada de plástico, la otra esta abierta hacia la salida. También existen dos tipos de separaciones, que van alternadas, el separador de arrastre empuja el material hacia

la separación de mezclado; la separación de mezclado que como su nombre lo dice realiza la función de mezclar y desaparecer el material sin fundir. Este mezclador es colocado al final de husillo. Es ampliamente usado para procesar polipropileno y polietileno.

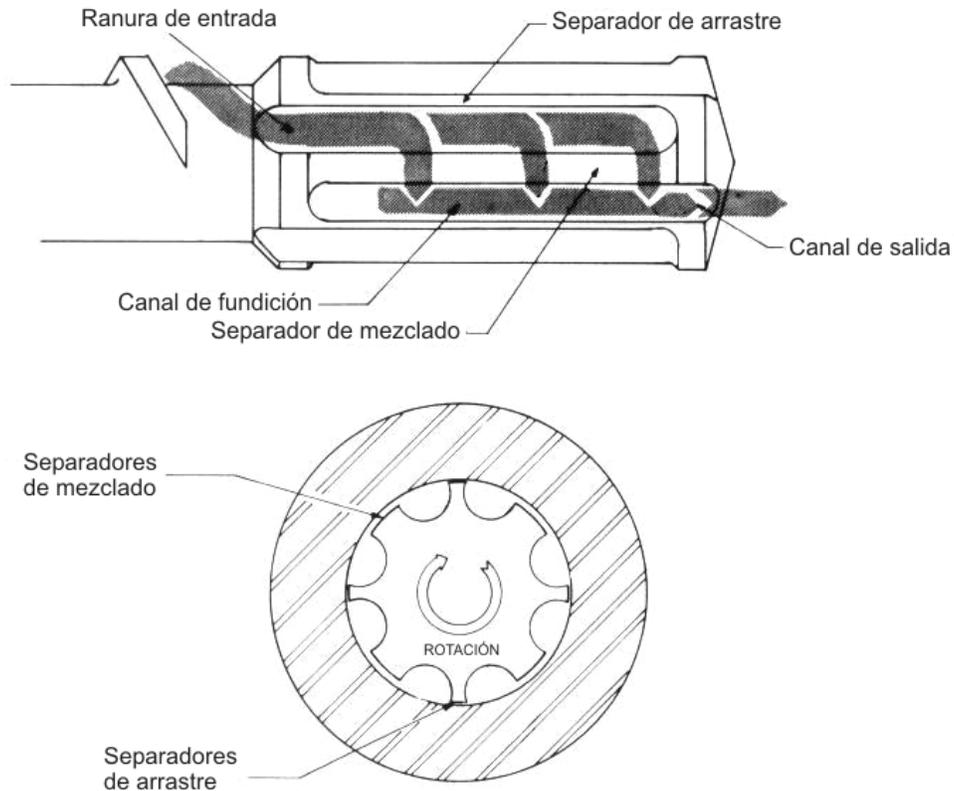


Figura 3. 7 Mezclador tipo Maddock (Blow Molding Handbook).

- d. Mezclador tipo Pulsante (Figura 3.8). En este mezclador, la sección de dosificación esta dividida en secciones con cambios constantes. Estas secciones son más profundas y más elevadas que el promedio de la zona de dosificación. Cada vez que el plástico cambia de una sección a otra, se hace una especie de masaje, lo cual evita el flujo turbulento, hace una mezcla, distribución y fundición uniforme.

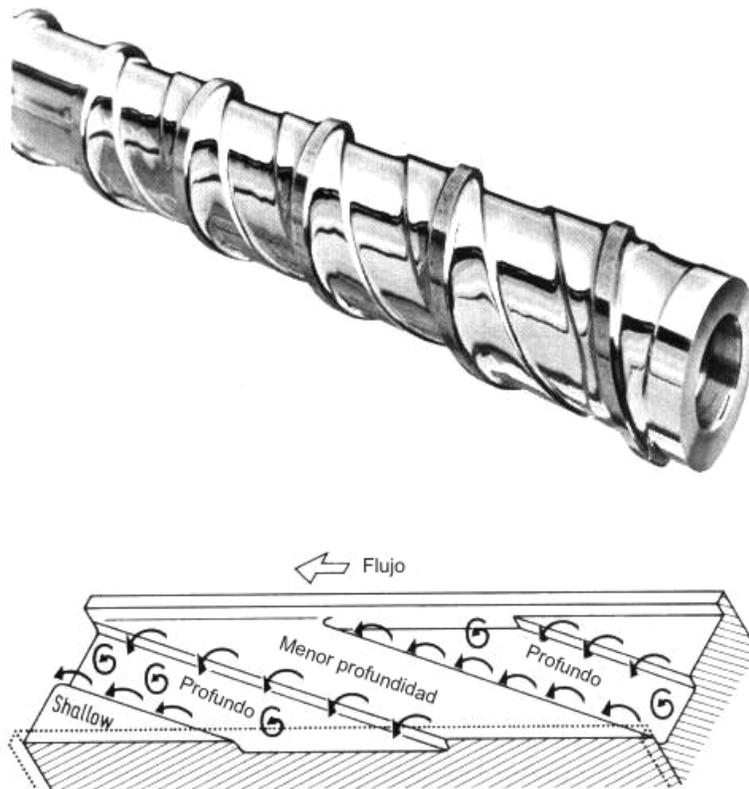


Figura 3. 8 Mezclador tipo Pulsante (Blow Molding Handbook).

Como características estándar un tornillo para polietileno, según datos obtenidos del “*Blow Molding Handbook*”, deben de tener las siguientes características:

1. Un largo de 20 a 30 veces el diámetro del tornillo (L/D 20-30:1).
2. La relación de compresión debe ser de 2 á 4:1.
3. Una distancia constante entre los filetes e igual al diámetro (paso cuadrado).
4. Un dispositivo de mezclado al final de la zona de dosificación para hacer una mezcla homogénea.

3.1.1.4 Sistema de calentamiento

Hay dos fuentes de calor en el barril para poder llevar el plástico a una temperatura deseada. Primero esta el calor que se transmite por medio del barril y que por lo regular es

generado por resistencias eléctricas, el otro es generado mediante la fricción causada por el tornillo y el material.

Durante los primeros ciclos de la máquina, la mayor cantidad de calor proviene de las resistencias; una vez que ya se está corriendo el ciclo de forma constante, la fricción del tornillo genera una buena parte del calor, aunque las resistencias se deben mantener funcionando para tener un control preciso de la temperatura en el proceso.

Las resistencias eléctricas tienen forma de banda y se colocan alrededor del barril. Existen diferentes tipos de resistencias, entre las más comunes están la de núcleo de silicatos, núcleo cerámico y núcleo de fundición de aluminio. Su nombre lo reciben por el aislamiento que utilizan, siendo las de núcleo cerámico las que tienen un mejor funcionamiento.

El control de estas resistencias se realiza por medio de termopares, los cuales están hechos de un material sensible a la temperatura, son colocados en el interior del barril para tener una medición real de la temperatura en el metal. Los termopares son conectados a sistemas de medición de temperatura conocido como pirómetros, este sistema tiene como función monitorear la temperatura y realizar diferentes acciones, ya sea para aumentar o reducir el calor generado por la resistencia.

3.1.2 Descripción Unidad de Extrusión Seleccionada

De acuerdo con los requerimientos que se mencionaron anteriormente, la selección del tornillo se inició tomando en cuenta la relación L/D. Esta relación define el diámetro y la longitud que el husillo y el barril tendrán. Para seleccionar el tamaño del husillo se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones que se mencionan en el “*Blow Molding Handbook*”:

Ventajas de una relación L/D corta:

1. Menor tiempo de permanencia en el barril, manteniendo los materiales sensibles al calor a una temperatura de fusión por menor tiempo, lo que reduce las posibilidades de degradación.
2. Ocupa menos espacio.
3. Requiere menos torque por la resistencia del husillo y la cantidad de HP no es tan importante.
4. Menor costo de inversión inicial y para el reemplazo de las partes.

Ventajas de una relación L/D larga:

1. Permite realizar un diseño de husillo para una mejor salida o recuperación, siempre y cuando se aplique el torque suficiente.
2. El husillo puede ser diseñado para un flujo más uniforme y un mejor mezclado.
3. El husillo puede ser diseñado para bombear a elevadas presiones.
4. El husillo puede ser diseñado para una mejor fusión con menos esfuerzo cortante y una mayor cantidad de temperatura conducida por el barril.

Como el HDPE es un material, que se podría decir, que no es sensible a la temperatura, es decir no se degrada, el largo del husillo no es tan importante en este aspecto. Pero tomando en cuenta que el husillo no debe ser muy grande, por el espacio, también se trata de usar la menor cantidad de energía y por la experiencia con otros equipos, se decidió escoger un husillo con un diámetro de 50 mm. La longitud se calcula despejando L de la ecuación 3.1, tomando en cuenta una relación 20:1, la cual es la recomendada.

$$\text{Relación } L/D = \frac{L}{D} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Se despeja y sustituye:

$$L = (20)(50\text{mm}) = 1000\text{mm} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Tomando como referencia que una botella de un litro terminada pesa aproximadamente 50 gramos, más el sobre material que lleva, se tiene un peso neto de 55 gramos. Se le agregan 5 gramos más por seguridad, tenemos que tenemos que producir 60 gramos en un ciclo.

El ciclo planeado es de 12 segundos, pero para los cálculos se tomo un tiempo de 10 segundos, esto para optimizar el ciclo. Por lo que el número de ciclos en una hora es de 360 ciclos/hora. Con este dato se calcula la cantidad de material/hora que el extrusor debe de procesar:

$$\text{Material/hora} = (60\text{gr})(360\text{h}^{-1}) = 21600 \frac{\text{gr}}{\text{h}} = 21.6 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \quad \text{Ecuación 3.3}$$

Con esto se tienen los requerimientos del sistema de extrusión, que se muestran en la tabla 3.1:

Tabla 3.1 Requerimientos del husillo

Material/hora	21.6 kg/hr
Diámetro del husillo	50 mm
Relación	20:1
Longitud	1000 mm

Una vez obtenidos estos datos, se tomó la decisión de recurrir a un proveedor especializado en la fabricación de este equipo, debido a que el barril y el husillo son partes esenciales en el funcionamiento de la maquina. El proveedor seleccionado fue “*Advanced Technologies Worldwide*”, especialistas en fabricación de equipo para extrusión.

Una de las ventajas es que el equipo es de calidad, otra también fue que el vendedor fabricó el equipo con las características necesarias para la aplicación que se requiere y lo garantizó en cuanto a su funcionamiento.

El equipo está diseñado para trabajar con polietileno de alta densidad (HDPE). Las características del husillo se muestran en la tabla 3.2 y se pueden ver en la figura 3.9:

Tabla 3. 2 Características del husillo de extrusión a utilizar

Diámetro externo	50 mm
Relación	20:1
Largo total	1210 mm
Zona de alimentación	250 mm
Zona de compresión	350 mm
Zona de dosificación	390 mm
Mezcladora	Maddock
Material base	4140 HT
Tratamiento raíces	Cromo

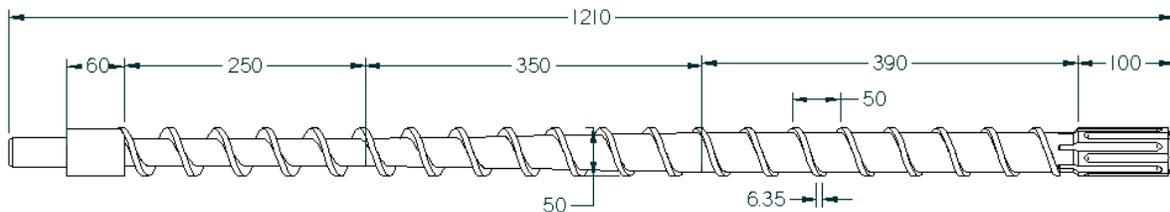


Figura 3. 9 Diagrama general del husillo

Cabe mencionar que aunque el diámetro nominal del husillo es 50 mm, por funcionamiento y ajuste el diámetro real es menor. La longitud efectiva solo toma en cuenta las zonas con filete, la longitud del dispositivo mezclador y se le resta la ranura de entrada de material. Como no hay una regla general para la longitud de las diferentes zonas, estas fueron propuestas por el proveedor de acuerdo a la experiencia que ha tenido en cuanto al funcionamiento óptimo del husillo.

El husillo lleva el mezclador para un mejor funcionamiento del sistema y también por que la máquina en ocasiones utilizará pigmentos para darle diferentes colores al producto. Fue seleccionado de tipo Maddock (ver Figura 3.10), por que de acuerdo con el proveedor y la literatura, es el que da mejores resultados para obtener una mezcla homogénea en el parison y al momento de mezclar los pigmentos con el polietileno.

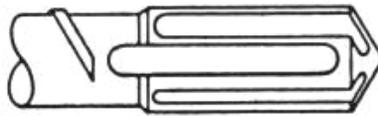


Figura 3. 10 Mezclador tipo Maddock

Las características del barril se muestran en la tabla 3.3 y se pueden ver en la figura 3.11:

Tabla 3. 3 Características del barril a utilizar

Diámetro interno	50 mm
Diámetro externo	87 mm
Relación	20:1
Camisa bimetálica	WBC 60
Largo total	950 mm

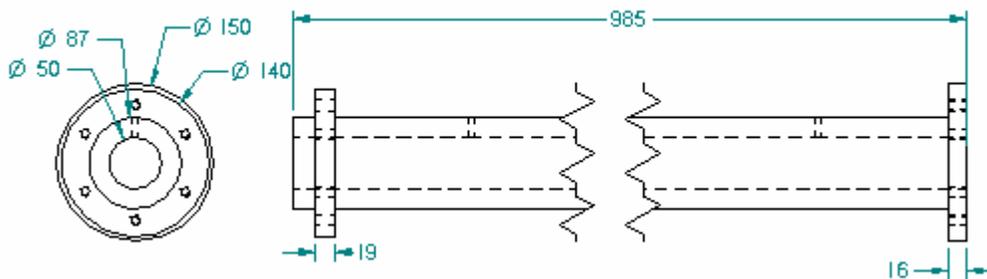


Figura 3. 11 Diagrama general del barril

Con todos los datos del husillo y del barril, se calcula la relación de compresión para saber si el sistema será capaz de comprimir el plástico y evitar que tenga burbujas de aire. Este se calcula de la división de la profundidad del canal de alimentación entre la profundidad del canal de dosificación.

$$RC = \frac{h_1}{h_2} = \frac{11mm}{4.6mm} = 2.4 \quad \text{Ecuación 3.4}$$

Este valor se encuentra dentro del estándar para husillos utilizados para procesar HDPE, esto de acuerdo con la tabla 3.4, obtenida del libro “*Extruder Principles and Operation*”:

Tabla 3.4 Ejemplo de tipos de husillos

Examples of Screw Types									
Purpose	Polymer	Depth (mm)			Length (diameters)				Compression ratio ^a
		Feed	Transition	Meter	Feed	Trans	Meter	Total	
High output compounding	LDPE	15	15-6.5 T ^b	6.5	6	12	6	24	2.1:1
General purpose	LDPE	15	15-5.5 T	5.5	4	10	6	20	2.4:1
	HDPE								
	PS								
Film	LDPE	15	15-3.0 S	3.0	10	1	9	20	4.3:1
High output compounding	PP powder	—	15-7.9 T	7.9	—	18	2	20	1.8:1
General purpose	PP	—	15-6.0 T	6.0	—	16	—	16	2.2:1
General purpose	PP	—	12.7-5.6 T	5.6	—	10.9	9.1	20	2.1:1
General purpose	POM	15	15-5.0 T	5.0	4	12	4	20	2.7:1
General purpose	PMMA	15	15-4.0 S	4.0	14	1	5	20	3.3:1
Compounding	Nylon 66	—	11.1-9.6 T/S	2.8	—	12+ $\frac{1}{2}$	7.5	20	3.6:1
Film	PET	15	15-3.0 S	3.0	14	1	9	24	4.3:1
Film	UPVC	15	15-7.0 T	7.0	4	12	4	20	1.9:1
Low output compounding	UPVC	15	15-9.0 T	9.0	4	7	4	15	1.5:1

^a Cross-section basis

^b T = tapered; S = stepped

Para la entrada de material, se diseñó la tolva (ver Figura 3.12), la cual no tiene mayor complicación, debido a que su función es de contener el material, aunque se tomó en

cuenta que el diámetro de la garganta de alimentación debe ser igual al diámetro del husillo. Se decidió hacer un diseño redondo, ya que tiene mejor vista y es más fácil de manufacturar. Se agregó una ranura a un costado para poder ver el nivel de material y saber cuando se tiene que volver a llenar.

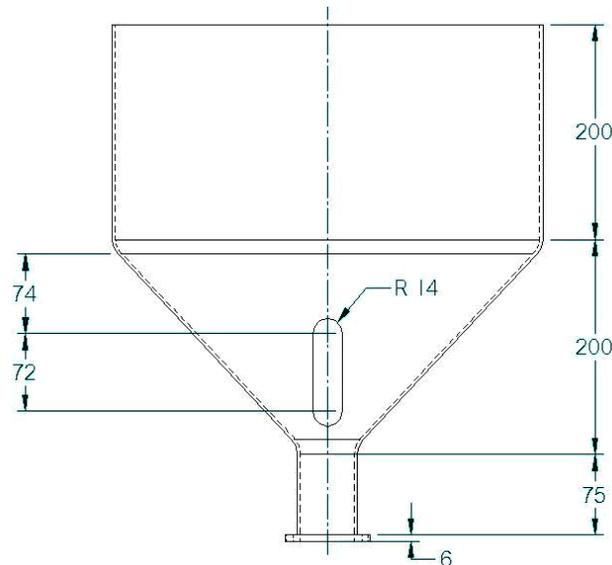


Figura 3. 12 Diseño de la tolva de alimentación

La tolva se ensambla a la entrada de material (ver figura 3.13), la cual, como se mencionó anteriormente, es una pieza que será acoplada al barril; también se unirá al motor mediante una brida.

La entrada de material lleva un sistema de enfriamiento para que no exista exceso de calor en esta zona, ya que aquí no se requieren altas temperaturas y no se desea, por que al tener una temperatura elevada el plástico se empieza a fundir y en ese estado es más difícil llevar acabo el proceso de alimentación.

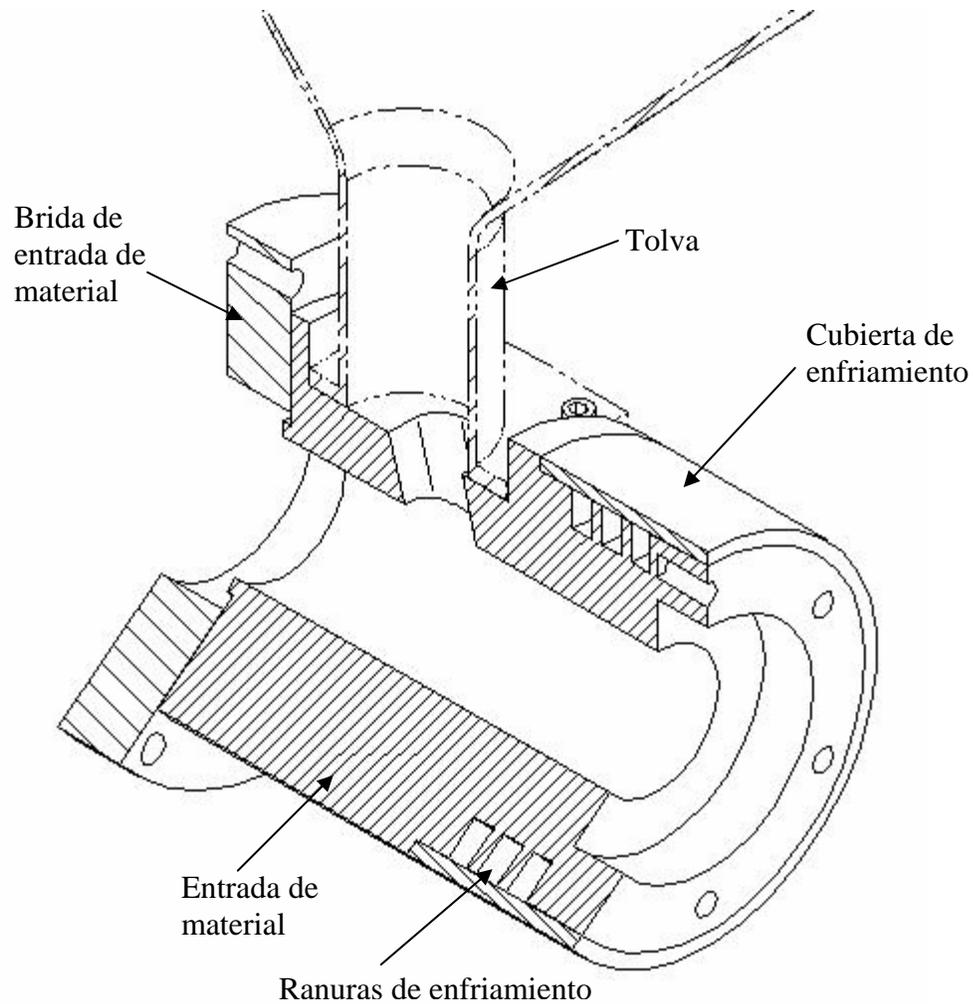


Figura 3. 13 Ensamble de la entrada de material.

En la figura anterior se observan los cortes, por los cuales pasa el agua para el sistema de enfriamiento. El agua entra por la parte inferior y circula entre los canales mediante unas pequeñas ranuras que los conectan. Lleva una cubierta, la cual sella los canales para que no tengan fuga. Cabe resaltar que la ranura de admisión del material, se hizo inclinada para que esto facilite la alimentación del polietileno al sistema de extrusión.

Para saber la velocidad a la cual debe de girar el husillo para que produzca la cantidad deseada de material emplearemos la siguiente ecuación:

$$R = 2.3 D^2 h g N \quad \text{Ecuación 3.5}$$

Donde R es la cantidad de material en libras por hora, D es el diámetro de husillo en pulgadas, h es la profundidad en la sección de dosificación en pulgadas, g es la gravedad específica y N son las rpm del husillo.

Despejamos para encontrar N y obtenemos que:

$$N = \frac{R}{2.3 \cdot D^2 \cdot h \cdot g} = \frac{47.62 \text{ lb/hr}}{(2.3)(1.968 \text{ in})^2 (0.18 \text{ in})(0.97)} = 30.6 \text{ rpm} \quad \text{Ecuación 3.6}$$

Como el husillo va acoplado a un reductor de relación 15:1, tenemos que las revoluciones requeridas son:

$$N_F = (30.6 \text{ rpm})(15) = 459 \text{ rpm} \quad \text{Ecuación 3.7}$$

Como velocidad estándar un motor gira a 1725 rpm, con lo que se puede obtener la relación de velocidad:

$$V.R. = \frac{1725 \text{ rpm}}{459 \text{ rpm}} = 3.75 \approx 3 \quad \text{Ecuación 3.8}$$

Se redondea a 3 para que se tenga un valor cerrado y para que la velocidad sea mayor, y de esta manera se pueda regular mediante el motor; también por si se requiere producir mayor cantidad de material por hora.

Se propone una polea de 100 mm como estándar y se calcula el diámetro requerido de la otra para poder tener la velocidad necesaria.

$$D_1 = D_2 \cdot VR = (100 \text{ mm})(3) = 300 \text{ mm} \quad \text{Ecuación 3.9}$$

Para darle movimiento al sistema se empleará un motor de 7.5 HP. Se decidió el usar este motor por exigencia del fabricante del tornillo y barril. Como se mencionó

anteriormente, el motor va acoplado a un reductor, el cual es el que transmite la potencia al sistema de extrusión (ver Figura 3.14).

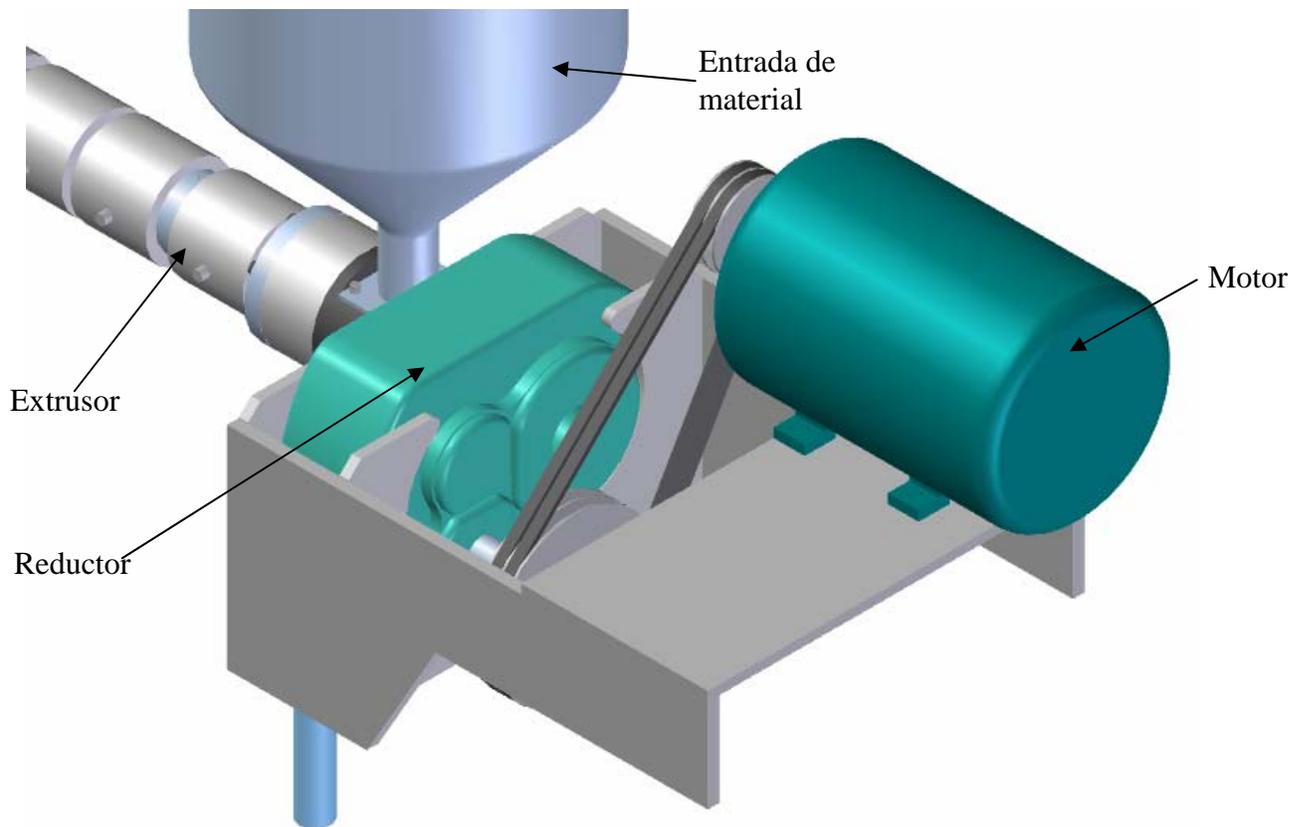


Figura 3. 14 Esquema de transmisión de potencia

Para asegurar que la recomendación del proveedor es la indicada, se realizaron los cálculos correspondientes de potencia para el husillo seleccionado.

Del husillo tenemos los datos de la siguiente tabla:

Tabla 3. 5 Datos necesarios para el cálculo de la potencial requerida por del husillo

Diámetro	D	50 mm
Profundidad del canal	h	5 mm
Paso	p	50 mm
Ancho del filete	t	6.35 mm
Velocidad	N	0.51 rps
Apertura del filete	δ	0.108 mm
Angulo de la hélice	ϕ	17.66 °

Con los datos iniciales podemos hacer los cálculos necesarios para calcular la potencia que requiere el husillo para su funcionamiento.

En la siguiente tabla se enlistan las formulas necesarias para los cálculos.

Tabla 3. 6 Formulas para el cálculo de la potencia requerida por el husillo

<i>Nombre</i>	<i>Formula</i>	<i>Titulo</i>
Ancho del canal	$b = (p - t) \cos \phi$	Ecuación 3. 10
Largo de la hélice	$dz = \frac{p \cdot \pi}{\cos \phi}$	Ecuación 3. 11
Velocidad longitudinal	$W = \pi \cdot D \cdot N \cdot \cos \phi$	Ecuación 3. 12
Flujo de arrastre	$Q_d = \frac{W}{2} \cdot b \cdot h$	Ecuación 3. 13
Razón de la cortante del flujo de arrastre	$\gamma_D = \frac{W}{h}$	Ecuación 3. 14
Ancho normal del filete	$t_N = t \cdot \cos \phi$	Ecuación 3. 15
Ancho tangencial del filete	$t_T = \frac{t}{\tan \phi}$	Ecuación 3. 16
Circunferencia	$C = \pi \cdot D$	Ecuación 3. 17
Velocidad tangencial	$v_T = \pi \cdot D \cdot N$	Ecuación 3. 18
Razón de la cortante del filete	$\gamma_{fl} = \frac{v_T}{\delta}$	Ecuación 3. 19
Potencial del canal	$E_{canal} = \frac{\eta \cdot W^2 \cdot b \cdot dz}{h} \left[4 \cdot (1 + \tan^2 \phi) - \frac{6 \cdot Q_D}{W \cdot b \cdot h} \right]$	Ecuación 3. 20
Potencia del filete	$E_{filete} = \frac{\eta \cdot W^2 \cdot t \cdot dz}{\delta \cdot \cos \phi}$	Ecuación 3. 21

Los datos iniciales se van sustituyendo en las formulas y los valores que se obtienen son los siguientes:

Tabla 3. 7 Resultados de los cálculos de la potencia del motor

Nombre	Símbolo	Resultado
<i>Ancho del canal</i>	b	0.0416 m
<i>Largo de la hélice</i>	dz	0.16484542 m
<i>Velocidad longitudinal</i>	W	0.0763 m/s
<i>Flujo de material</i>	Qd	7.9378E-06 m ³ /s
<i>Razón de cortante del flujo</i>	γd	15.2673286 s ⁻¹
<i>Ancho normal del filo</i>	t_N	0.00605085 m
<i>Ancho tangencial del filete</i>	t_T	0.01994911 m
<i>Circunferencia</i>	C	0.15707963 m
<i>Velocidad tangencial</i>	v_T	0.08011061 m/s
<i>Razón de la constante del filete</i>	γ_{fl}	741.764932 s ⁻¹
<i>Potencia del canal (150°C)</i>	E_{canal}	24.70 W/vuelta
<i>Potencial del canal a 30 rev</i>	$E_{canal(30)}$	741.15 W
<i>Potencia del filete</i>	E_{filete}	130.40 W/vuelta
<i>Potencia del filete a 30 rev</i>	$E_{filete(30)}$	3911.95 W
<i>Potencia total requerida</i>	E_{Total}	4653.10 W

Con los resultados anteriores comprábamos que la potencia recomendada por el fabricante es la indicada ya que el sistema requiere 6.2 hp (4653.10 W) y el fabricante recomienda 7 hp con lo que se le da un factor de seguridad de 1.13, esto aparte de los factores que ya se había tomado en cuenta es mas que suficiente para un funcionamiento correcto.

3.2.3 Análisis térmico de la unidad de extrusión.

Sabemos que cuando un metal y en general todos los materiales se dilatan al ser sometidos a un incremento de temperatura. En este caso, para verificar el buen funcionamiento del barril y del husillo se hará el cálculo del cambio de longitud basándonos en los coeficientes de expansión térmica de cada material.

Se sabe que el coeficiente de expansión térmica del husillo es 11.5×10^{-6} K y la del material del barril es de 11.38×10^{-6} K. de estos valores se sustituyen en la siguiente ecuación.

$$\alpha = \frac{L_f - L_o}{L_o(\Delta T)}$$

Ecuación 3. 22

Despejamos para saber el cambio de longitud que habría.

$$\Delta L = \alpha \cdot L_o \cdot \Delta T$$

Ecuación 3. 23

Cabe mencionar que se parte de una temperatura de 25°C a una de 200°C que a la que normalmente se trabaja. Para el caso del husillo obtenemos lo siguiente:

$$\Delta L = (11.5 \times 10^{-6} \text{ K})(1.210 \text{ m})(175 \text{ K}) = 0.0024 \text{ m}$$

Ecuación 3. 24

Para el barril se obtiene lo siguiente:

$$\Delta L = (11.3 \times 10^{-6})(0.95 \text{ m})(175 \text{ K}) = 0.0018 \text{ m}$$

Ecuación 3. 25

Con esto se observa que los cambios de longitud son muy similares y la pequeña diferencia se compensa con el ajuste en el diseño de la unidad de extrusión. Este ajuste ya viene dado por el fabricante para que no exista ningún problema durante el funcionamiento.

3.2 Cabezal de extrusión

El cabezal de extrusión tiene como función el generar la forma final del parison, la cual es un tubo hueco con las medidas requeridas para el tipo de envase a producir. También sirve para cambiar la dirección del plástico, es decir cuando sale del extrusor, el plástico viaja de manera horizontal, al pasar por el cabezal, la dirección cambia y se mueve de manera vertical (ver Figura 3.15). Está formado por el plato rompedor y el ensamble del paquete de pantalla, así como el mandril el cual incluye un sistema de control de espesor.

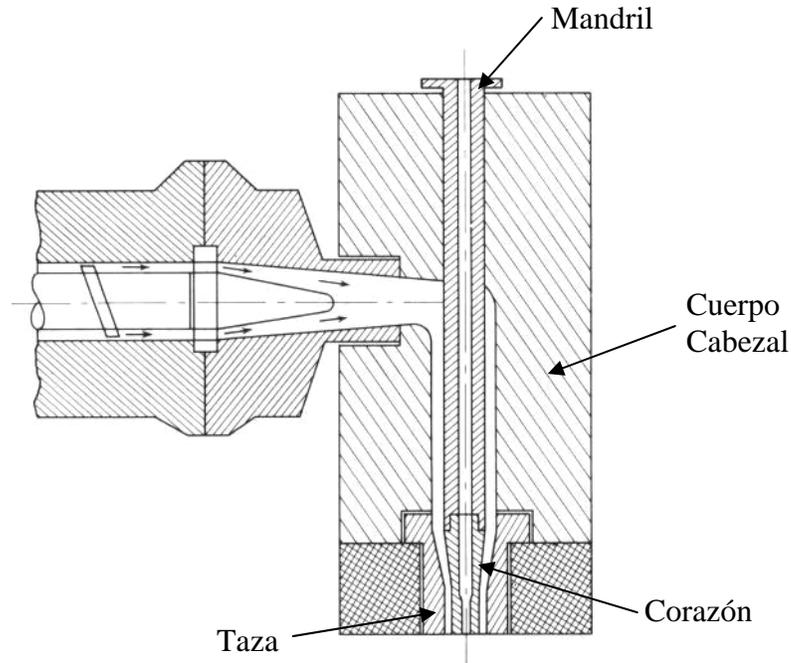


Figura 3. 15 Cabezal de extrusión con canales de entrada en ángulos rectos para la entrega de parison (Blow Molding of Plastics).

La cabeza de extrusión tiene mucha influencia en la calidad del parison, por lo que el diseño y la manufactura de los componentes se deben realizar de manera cuidadosa. Al igual que el husillo, existen diferentes tipos de cabezales de extrusión, el diseño cambia de acuerdo al material a utilizar y la forma del parison requerida para que se puedan hacer las botellas con la mejor calidad y sin tanto desperdicio de material.

Existen básicamente dos tipos de diseño de cabezal para el proceso de extrusión continua, los cuales son:

- a) Cabezal tipo araña o de flujo axial (Figura 3.16). Este tipo de cabezal se caracteriza por que tiene colocado un torpedo en la ruta del flujo del material caliente. El torpedo es soportado en la mayoría de las veces por dos patas de araña. Este tipo de cabezal es usado principalmente para procesar poli cloruro de

vinilo (PVC). En ocasiones es utilizado con polietileno, pero necesita mayor número de patas de araña para que el material salga de manera suave y uniforme.

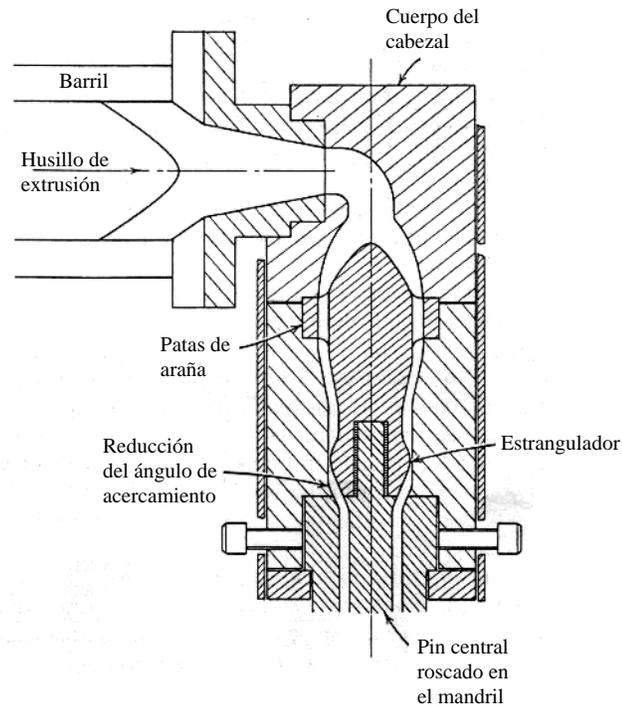


Figura 3. 16 Cabezal tipo araña o de flujo axial (Blow Molding Handbook).

- b) Cabezal de alimentación lateral o flujo radial (Figura 3.17). Este diseño es el mejor para utilizarlo con el polietileno. Como se puede ver en la figura, el material entra de manera lateral a el cabezal, el flujo se divide y rodea al mandril; posteriormente el flujo entra a una zona de alta presión para que el material se homogenice. La única desventaja de este diseño es cuando hay cambio de color de material, debido a que este toma mayor tiempo en tomar el color requerido.

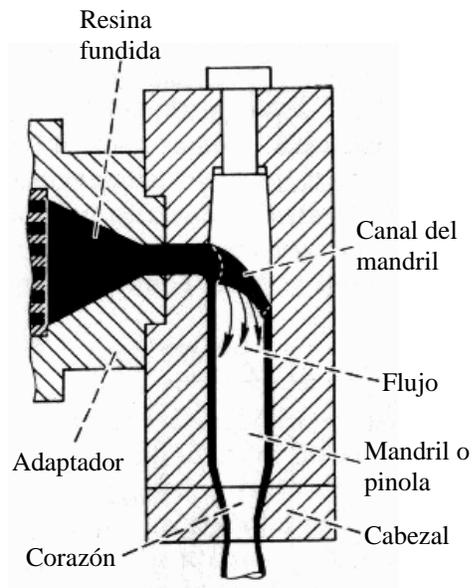


Figura 3.17 Cabezal de alimentación lateral o flujo radial (Blow Holding Handbook)

El cuerpo del cabezal sirve para alojar todos los elementos que conforman este sistema, este debe ser lo suficientemente rígido para poder soportar las presiones que se generan en el interior del mismo. Este puede tener forma cilíndrica o cúbica, el diseño cambia de acuerdo a los requerimientos.

La taza y el corazón tienen la función de dar la forma y el espesor necesario al parison. También estos pueden tener diferente forma de acuerdo al producto a elaborar. En la figura 3.18 se pueden observar los dos principales tipos de combinación de taza-corazón.

El primero se utiliza para botellas donde la diferencia entre las dimensiones del cuello y de la botella no es mucho. En este el parison queda dentro del molde y en la parte superior no deja sobre material.

El diseño tipo campana se utiliza para botellas donde el tamaño del cuello es mucho menor que el tamaño del cuerpo. Este tipo de diseño permite que exista una mejor distribución de material en toda la botella. Aquí si se deja sobre material en la parte superior.

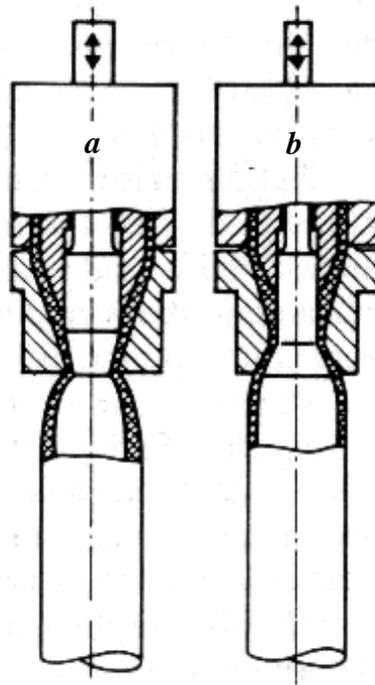


Figura 3. 18 Tipos de taza-corazón. (a) Tipo cónico, (b) Tipo campana. (Blow Molding Handbook)

El mandril, es la flecha que se encuentra al centro en la figura 3.15, este debe de mantenerse rígido debido a que este sujeta a la taza. Aunque es difícil mantener rígido el mandril, o también conocido como pinola, se puede compensar estas deflexiones mediante el movimiento de la taza, a lo cual se le conoce como la calibración del parison. Para poder cambiar el espesor del parison, el corazón se mueve hacia arriba para aumentar el espesor o hacia abajo para reducirlo, esto da como resultado el aumento o disminución del peso del producto terminado.

3.2.1 Diseño cabezal de extrusión

El diseño del cabezal tuvo como base los diseños que encontramos en la literatura, pero se le aplicaron modificaciones para mejorarlo y poderlo usar de manera eficiente en la máquina sopladora.

A continuación se muestra la matriz morfológica que se hizo para poder iniciar con el proceso de diseño. En esta matriz, la ponderación es de 2 para la mejor opción y de 1 para la opción siguiente. Los valores se dan de acuerdo a las recomendaciones del “*Blow Molding Handbook*”.

Tabla 3. 8 Matriz morfológica para el diseño del cabezal de extrusión

	Cabezal tipo araña	Cabezal de alimentación lateral
<i>Mejor funcionamiento con HDPE</i>	1	2
<i>Menor complejidad del diseño</i>	1	2
<i>Rapidez en el cambio de color</i>	2	1
<i>Menor costo de manufactura</i>	1	2
<i>Facilidad de calibración</i>	1	2
Total	6	9

En la tabla anterior podemos ver que es mejor el cabezal con alimentación lateral para nuestro proceso. Con la idea básica del diseño, primero se inició con lo que es el cuerpo del cabezal extrusor (ver Figura 3.19), el cual va a soportar todo.

Se decidió hacerlo totalmente cuadrado por fuera para que se más fácil de manufacturar. El interior necesariamente por requerimientos del proceso debe de ir en forma cilíndrica.

Como el diámetro del tornillo es de 50 mm, el diámetro interior del cabezal debe tener el mismo diámetro.

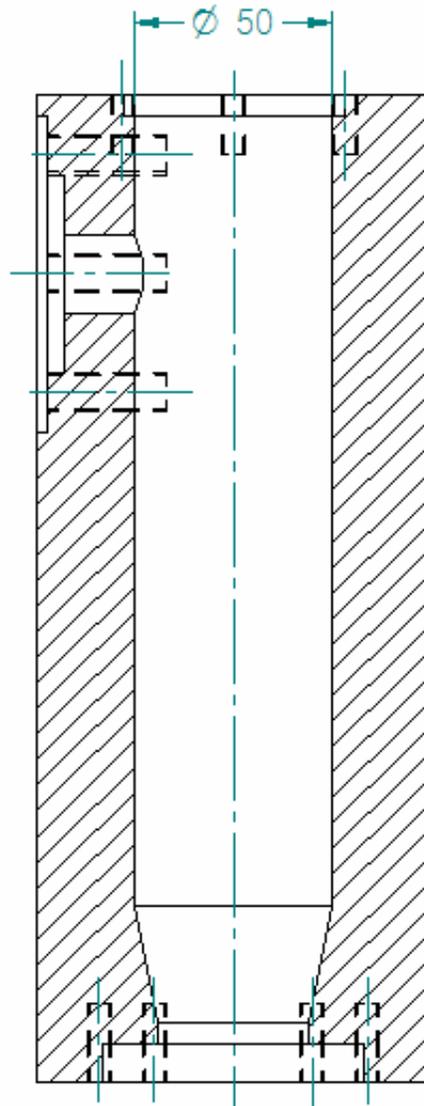


Figura 3. 19 Cuerpo del cabezal de extrusión.

De acuerdo con la teoría, el mandril se diseño con mayor diámetro en la parte superior, esto para que logre una dispersión uniforme del polietileno a su alrededor como se logra ver en la figura 3.20.

Como el diseño es de alimentación lateral, requiere de una ranura, para que el polietileno pueda rodear fácilmente el mandril y tenga una buena distribución.

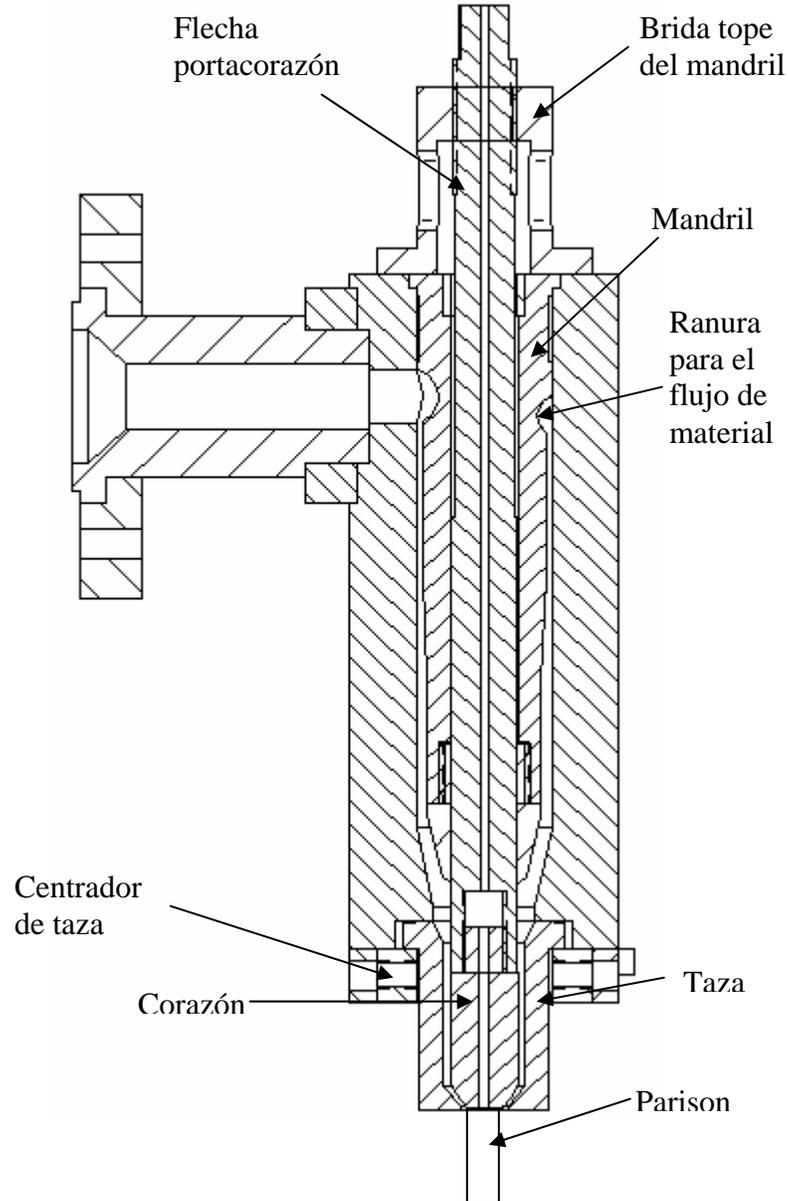


Figura 3. 20 Esquema general de cabezal de extrusión

El corazón es el que da el espesor al parison, este espesor puede cambiar haciendo girar la flecha porta corazón desde la parte superior. Esto sirve para poder elaborar productos de diferentes espesores y también controlar el peso del producto terminado. La brida tope del mandril sirve para sujetar la flecha porta corazón y esta pueda realizar su función de subir y bajar, también sirve para evitar que el mandril se mueva hacia arriba. Se

escogió este tipo de diseño tipo cónico por que no se tiene un molde para elaborar el herramental respecto a un producto, aparte que este se puede cambiar fácilmente.

La taza es la encargada de dar el diámetro requerido al parison y hacer que el espesor sea constante en toda la sección del parison. Es decir, sirve para calibrar el parison si es que el corazón se llega a mover, esto para que no tenga que estar parando constantemente la máquina. Al sistema también se le agregó un centrador de taza, el cual es el dispositivo mecánico que va a hacer que la taza se mueva, esto para evitar que el usuario tenga que introducir las manos al cabezal y se facilite el procedimiento de calibración del parison. El dispositivo básicamente consta de dos piezas movibles conocidas como reglas de centrado (ver figura 3.21); estas reglas de centrado se mueven mediante tornillos a la posición deseada.

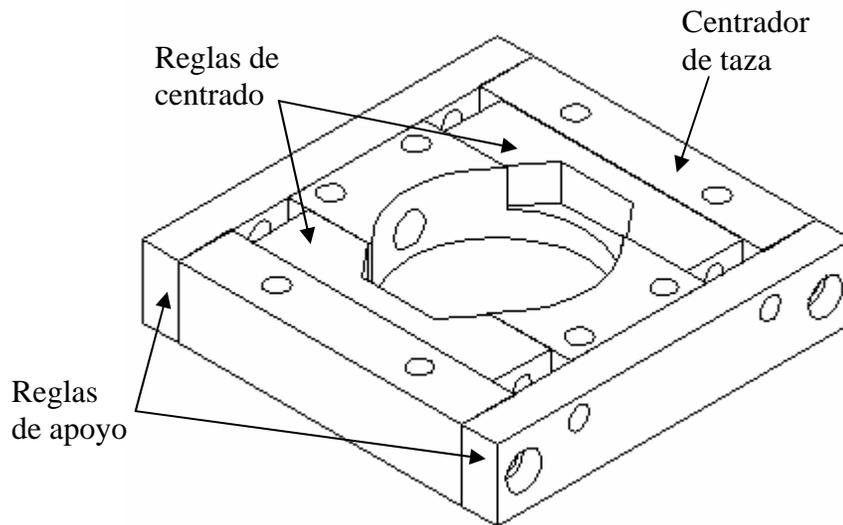


Figura 3. 21 Centrador de taza

3.3 Cortador de Parison

Este es uno de los dispositivos más sencillos de la máquina, por que solo se requiere de una cuchilla en forma de “V” con filo por ambos lados (ver figura 3.19). El movimiento

de la cuchilla se hará mediante un pistón neumático, esto por la velocidad y por que la fuerza requerida no es demasiada.

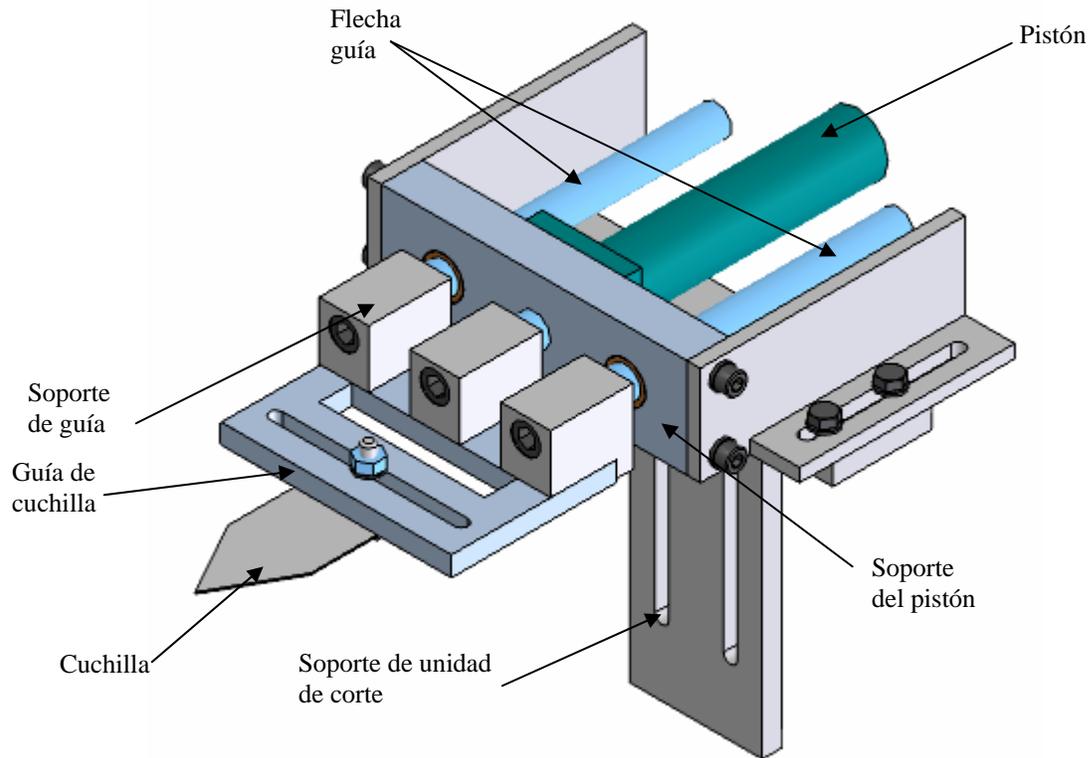


Figura 3. 22 Esquema del cortador de parison

Como se puede observar en la figura, la guía de la cuchilla, permite que la navaja se pueda mover lateralmente y así ajustarla para un corte preciso del parison. La guía de la cuchilla se desplaza sobre unas flechas guías, lo cual permite que el movimiento sea completamente recto.

El soporte de la unidad de corte permite desplazar todo el sistema de corte de arriba a abajo, para ajustar de igual manera el corte y poder compensar las diferentes longitudes de los moldes.