

**DISEÑO DE UNA MAQUINA EXTRUSORA
PARA LA EMPRESA PLASTIK DE OCCIDENTE**

ROOSEVELTH CIFUENTES C



**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE MATERIALES
PROGRAMA DE INGENIERIA DE MATERIALES
SANTIAGO DE CALI
2011**

**DISEÑO DE UNA MAQUINA EXTRUSORA
PARA LA EMPRESA PLASTIK DE OCCIDENTE**

ROOSEVELTH CIFUENTES C

**Proyecto de grado para optar al título de
Ingeniero de Materiales**

**Director del proyecto de grado
FRED ALBAN ACHINTE
Ingeniero Químico**



**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE MATERIALES
PROGRAMA DE INGENIERIA DE MATERIALES
SANTIAGO DE CALI
2011**

Nota de aceptación:

Firma Presidente Jurado

Firma Jurado

Firma Jurado

Santiago de Cali, 13 de mayo de 2011

DEDICATORIA

A Dios

A mis padres Pedro y Elizabeth por el amor, sacrificio, dedicación y entrega incondicional para hacer de mí una persona de bien, e incentivar el amor al estudio. A mis hermanos Giradu, Rossy y Dayany por su apoyo continuo y recordatorio día a día de cuán importante es tener un hermano. A mi esposa Mónica por su amor, paciencia e incondicional apoyo, a mis hijos que son la luz de motivación.

A mis Maestros por su abnegado trabajo, paciencia y dedicación, a sus enseñanzas que tanto me han servido en la vida laboral.

Roosevelth

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer especialmente al director de tesis, el profesor Fred Alban Achinte por su paciencia, y magnifico apoyo para el desarrollo de este documento.

Igualmente agradezco a Reynaldo Amaya gerente de la empresa Plastik de Occidente, por su colaboración, asesoría y apoyo para la culminación de este proyecto, sin su ayuda no hubiera sido posible culminar este trabajo.

Agradezco también a todas aquellas personas que de una u otra manera contribuyeron a que este documento culminara de manera exitosa.

RESUMEN

En el presente documento se especifica el diseño de una maquina extrusora orientada a la producción de insumos plásticos, para la empresa PLASTIK de OCCIDENTE, quien a través de su gerente el señor Reynaldo Amaya, financio y facilito todos los recursos posibles para que se culminara el proyecto y se construyera una maquina versátil que permita ser utilizada para la producción de diferentes productos en polipropileno.

El proyecto se inicia con la solicitud de la empresa, para realizar un diseño que cumpla con las necesidades en cuanto a los productos que desean producir y comercializar a nivel nacional, para el caso el palito plástico para el bon bon bum, y en un futuro la malla para las flores, así mismo una máquina de fácil manejo, con un diseño simple y eficiente, económica, que permita la fabricación de variados productos.

Partiendo de lo anterior, se hará una búsqueda de información técnica referente al diseño y construcción de una maquina extrusora, para continuar con el diseño teórico de la máquina, generación de planos y la posterior fabricación con ayuda de la empresa.

El proyecto tiene como finalidad poner a disposición de la empresa un proyecto de diseño simple y eficiente de una maquina extrusora, que permita la extrusión de termoplásticos, para este caso en particular el polipropileno, polietileno y PVC, El trabajo por tanto debe concluir cuando se tenga la información teórica, los planos tecnológicos y la lista de elementos para la construcción de la máquina.

INTRODUCCIÓN

Para la industria plástica nacional, la consecución de maquinaria que se adecue a las características especiales de su proceso y materiales específicos, ha sido un inconveniente para su desarrollo, la falta de recursos, la dificultad para acceder a créditos, el alto costo de los equipos, y las dificultades que genera la importación de los mismos; ha permitido que los empresarios opten con recursos propios, por el desarrollo y construcción de maquinaria, de alta tecnología que pueda suplir sus necesidades.

Para la empresa Plastik de Occidente, que está en la búsqueda de nuevos mercados y desarrollos, es de vital importancia contar con una máquina que le permita manufacturar el palito de bon bon bum, del cual se tiene un estudio de mercado que brinda amplias perspectivas de negocio. En este estudio se busca llevar a cabo la planeación del programa de producción, apoyado en una máquina de extrusión de altas capacidades tecnológicas, con la cual se pueda procesar polipropileno, poliestireno y PVC; y en un futuro a partir de esta, poder diversificar su portafolio de productos, con los beneficios que le pueda brindar la misma. La meta del desarrollo quedara, en lograr los mejores rendimientos en:

- Capacidad de producción.
- Calidad del producto
- Diversidad en el procesamiento de diferentes tipos de polímeros.
- Estabilidad en la producción – accesibilidad, mantenimiento.
- Consumo de energía.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	vi
INTRODUCCIÓN.....	vii
TABLA DE CONTENIDO	viii
1 OBJETIVOS	1
1.1 GENERAL.....	1
1.2 ESPECÍFICOS.....	1
2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
2.1 IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES	2
3 MARCO TEORICO.....	3
3.1 CONSTRUCCIÓN Y FUNCIÓN DE UNA EXTRUSORA DE	
UN TORNILLO	4
3.2 CRITERIOS DE SELECCIÓN.....	5
3.3 CONSTRUCCIÓN	5
3.3.1 Chasis	6
3.3.2 Motores	6
3.4 ENGRANAJES REDUCTORES	7
3.5 CASQUILLO GUÍA DEL TORNILLO.....	7
3.6 UNIDAD PLASTIFICADORA	8
3.6.1 ALIMENTACIÓN DE LA TOLVA	8
3.6.2 TORNILLOS.....	10

3.6.3	Cilindro	12
3.7	ELEMENTOS DE REGULACIÓN - CAMBIO DE FILTRO MEZCLADOR ESTÁTICO	14
3.8	INSTRUMENTOS, CONTROL DEL PROCESO	16
3.9	CONSTRUCCIONES ESPECIALES	17
3.10	CÁLCULOS BÁSICOS.....	18
3.11	RUTINA DE MANTENIMIENTO	24
4	CALCULOS DE DISEÑO	25
4.1	DISEÑO DE LA TOLVA DE ALIMENTACIÓN	40
4.2	DISEÑO DE LA GARGANTA DE ALIMENTACIÓN.....	42
4.3	DISEÑO DEL PLATO ROMPEDOR	43
4.4	DISEÑO Y SELECCION DE LOS CALENTADORES.....	44
4.5	CÁLCULO DE TRANSFERENCIA DE CALOR	46
4.6	SELECCIÓN DE LAS TERMOCUPLAS	50
4.7	CONTROL DEL CALENTAMIENTO.....	52
4.8	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE LA MAQUINA	52
5	FICHA TECNICA Y ESPECIFICACIONES DE LA MAQUINA EXTRUSURA 50:25.....	54
6	COSTOS DE LA EXTRUSORA DESARROLLADA.....	55
7	CONCLUSIONES.....	56
8	BIBLIOGRAFIA	57
9	ANEXOS	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de un extrusor simple	5
Figura 2. Tipos de tolvas para alimentación de la extrusora.	8
Figura 2. Tipos de tolvas para alimentación de la extrusora (Continuación).....	9
Figura 3. Proceso de elaboración en extrusión.....	10
Figura 4. Parámetros empleados para la descripción general de la geometría de un tornillo de extrusión.....	11
Figura 5. Esquemas de refrigeración del cilindro.....	12
Figura 6. Abertura de carga en el cilindro.....	13
Figura 7. Tipos de ranuras refrigeradas para mejorar el transporte de la materia prima.....	14
Figura 8. Sistema de regulación de flujo y Plato rompedor.....	15
Figura 9. Corte transversal de la extrusora en la zona de transición.....	18
Figura 10. Curva de fluidez de masas termoplásticas.....	19
Figura 11. Rendimiento en relación a la geometría de la zona de carga del cilindro.....	20
Figura 12. Efecto de la presión a lo largo del eje del husillo.....	20
Figura 13. Interrelación entre la masa y el transporte en la zona de carga.....	21
Figura 14. Pautas para el cálculo de la transmisión.....	22
Figura 15. Diagramas para determinar relaciones de fuerza.....	23
Figura 16. Tipos de mezcladores.....	24
Figura 17. Volumen de la tolva	41

Figura 18. Plano de la tolva.	41
Figura 19. Plano de la garganta de alimentación.....	42
Figura 20. Plano del plato rompedor.....	43
Figura 21. Esquema de modelo de Resistencia tipo abrazadera que se puede utilizar.	49
Figura 22. Plano propuesto para la estructura de la maquina extrusora.....	53

LISTA DE FOTOS

FOTO 1. EXTRUSORA ARMADA	58
FOTO 2. ENSAMBLE DEL REDUCTOR Y DEL MOTOR	58
FOTO 3. REDUCTOR Y CADENA DE TRANSMISIÓN.....	59
FOTO 4. BLOWERS DE AIRE.....	59
FOTO 5. RESISTENCIAS.....	60
FOTO 6. TABLERO DE CONTROL.....	60

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. FOTOS	58
----------------------	----

1 OBJETIVOS

1.1 GENERAL

Diseñar una maquina extrusora para la empresa PLASTIK de OCCIDENTE para la producción del palito plástico para el BON BON BUM, en polipropileno.

1.2 ESPECÍFICOS

- Realizar a partir de cálculos, el diseño mecánico de una maquina extrusora.
- Realizar el diseño de un tornillo extrusor que cumpla con las necesidades de la máquina.
- generar los planos a partir de los cálculos realizados de la maquina
- Diseñar un equipo capaz de procesar 14 Kg/hr de polímero, de acuerdo con el estudio de mercado realizado por la empresa Plastik de occidente.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se requiere de una maquina con la capacidad de producir el palito plástico para el Bon Bum, con la posibilidad dentro del portafolio de productos, a mediano plazo, de desarrollar, entre otros productos, eyectores para uso odontológico, la malla plástica para las flores de exportación, el Core para papel de fax, y el palito para helado. Por tal motivo debe estar en la capacidad de procesar, poliestireno, polipropileno y PVC.

2.1 IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES

La necesidad se identificó a través de la empresa Plastik de Occidente, la cual requiere, para aumentar su portafolio de productos, de una maquina con las características adecuadas para que supla las necesidades de la empresa a un bajo costo, que posea un diseño simple, de fácil mantenimiento, y cómoda operación.

3 MARCO TEORICO

Las extrusoras son construidas actualmente solo bajo el aspecto de la conveniencia; el usuario final ha dependido del proveedor de equipos y/o del fabricante de tornillos para la consecución del diseño adecuado del tornillo para su proceso y material específico. La forma de construcción antigua unificada, ha pasado al sistema abierto de construcción en partes individuales.

Por medio de mejores conocimientos de los datos necesarios, se ha logrado para la extrusión de un termoplástico a un determinado producto, un rendimiento económico adaptando la extrusora en forma óptima a las exigencias de producción.

Para la tipificación de la extrusora se da el diámetro y el largo del tornillo en una relación L/D que representa la longitud y diámetro que tendrá el tornillo. Adicionalmente es muy conveniente la indicación del momento de torsión instalado para el tornillo, porque a través de esto se permite una afirmación más exacta sobre el rendimiento de la extrusora.

La exigencia de mayores rendimientos por motivos económicos, condujo en los últimos años a que bajo diámetros dados del tornillo aumentaran las revoluciones de los mismos. Esta realidad y la frecuente extrusión de termoplásticos con cargas, que motivaban fuertes desgastes hicieron necesario el equipamiento de

las paredes internas del cilindro y de los filetes del tornillo con aleaciones especiales altamente duras. Estas aleaciones están previstas tanto contra un desgaste corrosivo como también abrasivo.

3.1 CONSTRUCCIÓN Y FUNCIÓN DE UNA EXTRUSORA DE UN TORNILLO

La extrusora de un tornillo es el extruder que más a menudo se usa para la extrusión ya que se puede aplicar para la extrusión de todos los termoplásticos. Se establece que de acuerdo a la tipificación del diámetro y largo del tornillo, las extrusoras más comunes son aquellas con un tornillo de un diámetro de 25 – 250 mm y de un largo hasta 40 por el diámetro. Para tener datos sobre la eficiencia de una extrusora se recomienda incluir el momento de torsión más eficaz en la tipificación.

Con respecto a la construcción o al concepto hay que establecer que van siendo adaptados en forma más óptima a las necesidades de procesos en extrusión de los diferentes termoplásticos para los distintos productos. Esto ha sido posible en la extrusión, debido a que los datos históricos tomados en producción, obtenidos hasta el momento con las características específicas de los termoplásticos y las variables de construcción de la extrusora, han sido analizados sistemáticamente y evaluados en forma estadística. Por tal motivo hoy en día domina un sistema de construcción a través de elementos individuales.

3.2 CRITERIOS DE SELECCIÓN

La elección del tamaño del extruder se realiza de acuerdo al rendimiento necesario para la producción, al termoplástico a extruir y al producto a producir. El rendimiento y el termoplástico son para el concepto de la extrusora de vital importancia con respecto al momento de torsión instalado en el tornillo y a la geometría del tornillo y del cilindro.

3.3 CONSTRUCCIÓN

En la **Figura 1**. Se presenta de forma esquemática la configuración de una extrusora de un tornillo, con base en el principio de elementos individuales, comúnmente utilizada hoy día. Los diferentes elementos de construcción se describen a continuación:

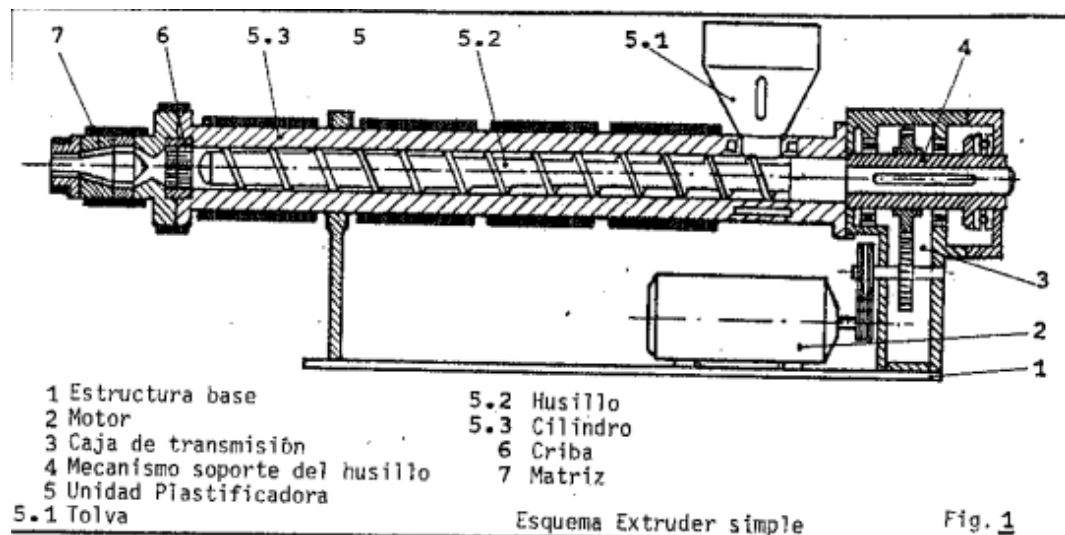


Fig. 1

Figura 1. Esquema de un extrusor simple

3.3.1 Chasis

Consiste normalmente de una construcción soldada con soporte de acero y placas metálicas para la sustentación del motor impulsor, del engranaje y del apoyo del cilindro. También se construyen en el chasis dispositivos de ayuda y suspensión.

Los chasis son adaptados para las llamadas construcciones a ras de suelo o suspendidas. A través de estas se alcanzan diferentes alturas para la extrusión desde 600 hasta 1100 mm. Para poder adaptarse a los siguientes equipos de la línea de extrusión.

3.3.2 Motores

La elección del motor se efectúa de acuerdo al ancho establecido de la extrusora (materia prima, producto, capacidad). A esto viene la exigencia de un tornillo cuyo número de revoluciones esté libre de cargas, para así poder lograr un transporte constante del material. Velocidades fijas o número de revoluciones variables no son viables. Según, lo mencionado anteriormente, se utiliza:

- a)** Motores eléctricos con revoluciones constantes en combinación con engranajes mecánicos de velocidad regulable o turbinas hidráulicas. Para aumentar en la zona el número de revoluciones se puede colocar un electromotor con colector ajustable o correas cambiables. La escala de regulación de estas concepciones es hasta cerca de 1:40.

- b) Motores eléctricos regulables a corriente continua o motores a corriente trifásica. La escala de regulación consta de 1:10 o sino 1:3,7 o 1:6. Las correas intercambiables pueden adaptarse también a la escala del número de revoluciones en forma óptima para la extrusión.

3.4 ENGRANAJES REDUCTORES

Engranajes con dentados en forma de flecha o dentado oblicuo son preferidos para las uniones de hasta tres escalas. El concepto para la elección se efectúa según el tamaño de la extrusora, de las exigencias especiales, la vida útil, para mejorar el ruido y el mantenimiento. También se pueden usar, cadenas dentadas y engranajes de reducción, pero debido a los problemas de mantenimiento y sobre todo con respecto a las exigencias especiales en el tipo de construcción son poco usados.

Para aplicaciones especiales se usan en lo posible extrusoras sin engranajes de reducción. Consistiendo la unidad impulsadora de un motor eléctrico regulable con una correa trapezoidal directa al tornillo. Las ventajas de esta construcción son la reducción de costos, el movimiento sin ruido y el mantenimiento sin problemas.

3.5 CASQUILLO GUÍA DEL TORNILLO

Este casquillo es utilizado para adherir al tornillo la transmisión del momento de torsión. Esta guiado por dos rodamientos radiales o un cojinete de bola cilíndrico. De esta manera las fuerzas axiales del tornillo, que se producen del material plastificado en el cabezal, son absorbidas por cojinetes cónicos axiales o cojinetes

cilíndricos. En la mayoría de los casos debido a la accesibilidad y al mantenimiento se construye el casquillo guía del tornillo en la parte exterior del engranaje.

3.6 UNIDAD PLASTIFICADORA

Esta consiste en un tornillo cilindro y de la tolva para la materia prima. La unidad plastificadora está integrada, por motivos de construcción en base a elementos individuales por lo general en forma libre.

3.6.1 ALIMENTACIÓN DE LA TOLVA

En el caso normal se instalan tolvas cuadradas o en forma cónica con ventana para materia prima que posean buenas propiedades deslizantes para poder controlar el llenado (ver **Figura 2**). Actualmente en la producción no se puede dejar de pensar en un llenado automático de la tolva. Para las materias primas que no se deslizan fácilmente y tienden a formar los llamados puentes, han sido desarrollados agitadores para asegurar la alimentación del tornillo.

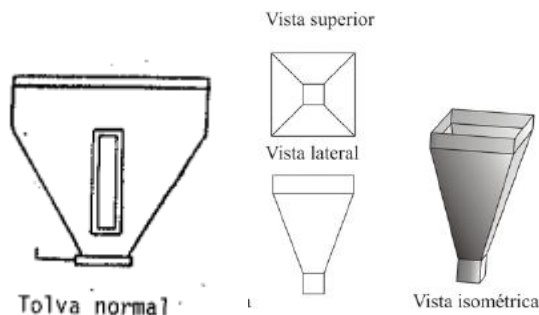


Figura 2. Tipos de tolvas para alimentación de la extrusora.

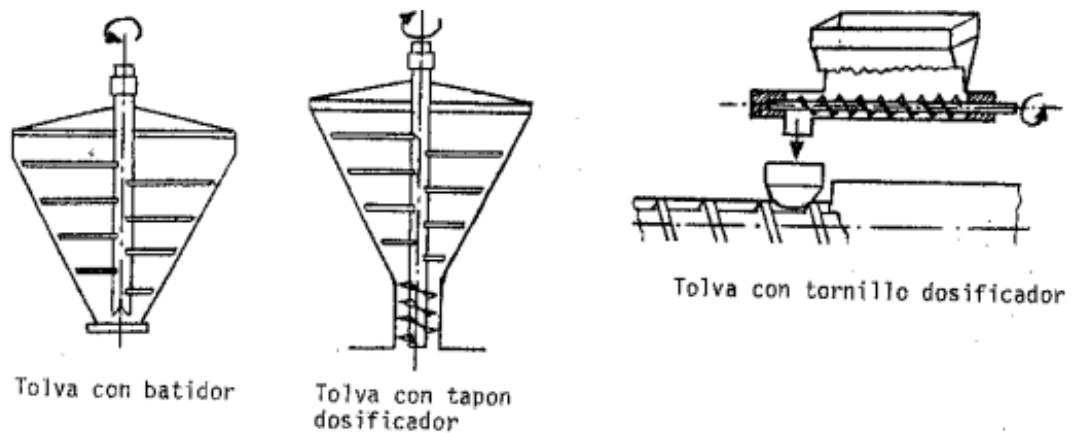


Figura 2. Tipos de tolvas para alimentación de la extrusora (Continuación).

Las materias primas con una densidad aparentemente baja y malas propiedades deslizantes, como por ejemplo restos de láminas molidas con mezclas de polvo, son transportadas a través de tolvas equiparadas para un transporte integrado. Así se logra un transporte casi obligado, por lo cual el tornillo obtiene una alimentación suficiente de material.

Para materias primas, cuya alta humedad no permite un proceso de extrusión óptimo o por ejemplo en mezclas de polvo que poseen un alto porcentaje de aire, se instalan tolvas por vacío. Con esto se consigue mantener el material de la alimentación bajo el efecto de un vacío leve, que separa el aire y elimina la humedad.

Para pre-calentar o secar la materia prima y eliminar la humedad de la superficie se instalan especialmente para grandes extrusoras tolvas secadoras, para así poder asegurar una buena calidad del producto.

Para separar impurezas metálicas en la materia prima, se instalan separadores de mátales a la salida de la tolva.

3.6.2 TORNILLOS

Para la extrusión de los diferentes termoplásticos, han sido desarrollados hoy diferentes geometrías de tornillo. La construcción del tornillo se rige en principio, de acuerdo con las etapas de la extrusión o según los pasos necesarios del procesamiento de la extrusión (ver **Figura 3**) Termoplástico – producto -capacidad de producción, son los criterios dominantes para la geometría de un tornillo. Para mejorar el aumento de la homogeneidad de la masa plastificada se desarrollaron elementos de mezclas especiales. Los tornillos son generalmente de un paso, y el paso es igual al diámetro. Los datos de identificación del tornillo están indicados en la **Figura 4**.

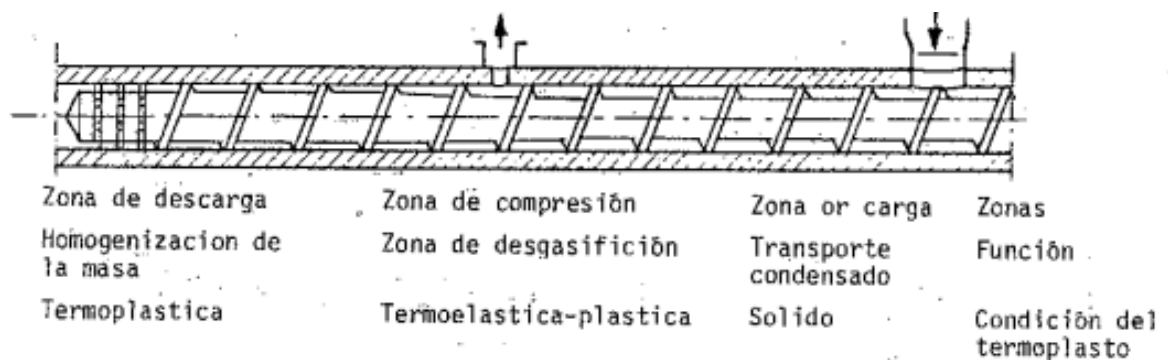


Figura 3. Proceso de elaboración en extrusión.

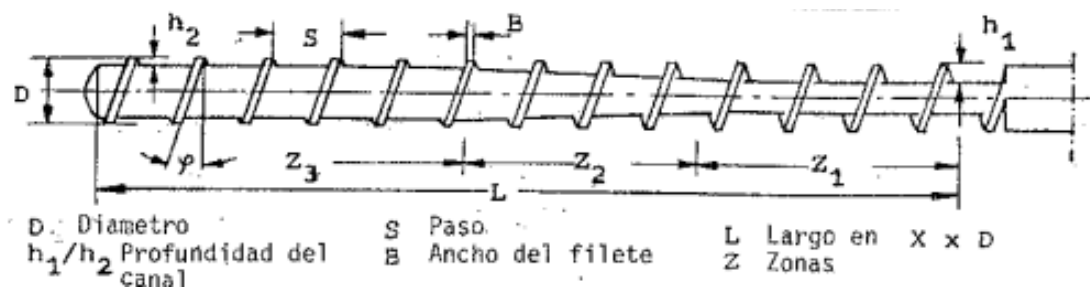


Figura 4. Parámetros empleados para la descripción general de la geometría de un tornillo de extrusión.

Las variantes de la construcción solo tienen una justificación en casos específicos. Esto es aplicable para el calentamiento del tornillo, para poder influir en la homogeneidad de la masa plástica. En materias primas, que captan humedad, es hoy en día de vital importancia un diseño especial del tornillo con la posibilidad de una desgasificación de la masa plástica.

El aumento de las revoluciones del tornillo y las diferentes cargas utilizadas, como fibra de vidrio carbonato de calcio, talco que actúan en forma abrasiva y corrosiva, hacen necesario el empleo de materiales altamente resistentes al desgaste. Además del endurecimiento común del filete del tornillo en el proceso-Nitrier; se ha alcanzado un notable mejoramiento en el desgaste a través de soldaduras de aleaciones de aceros especiales.

Para un recorrido favorable del flujo de la masa plástica desde el tornillo, se emplean puntas en formas cónicas o redondas.

3.6.3 Cilindro

De acuerdo con las etapas de extrusión se provee el cilindro de zonas de calefacción y de refrigeración. Para calentar se emplean principalmente resistencias eléctricas. También es aplicada la calefacción por inducción, pero donde las necesidades son de un calentamiento rápido y la necesidad de alcanzar altas temperaturas no puedan ser utilizados de manera económica. Para las piezas que están protegidas contra explosiones se ha previsto de una calefacción a vapor.

El control de la energía de calentamiento se produce a través de un regulador electrónico. A través de un palpador térmico, que está ubicado en el cilindro, el cual controla la temperatura y la mantiene a través del regulador que también controla la refrigeración. La cual se efectúa ya sea a través de aire o por agua. Ambos sistemas son igualmente adecuados para responder a las exigencias de un calentamiento constante de las zonas del cilindro. Para una refrigeración por agua es necesario en todo caso un sistema de circulación, en el cual el agua sea preparada en un medio en contra de la corrosión y precipitaciones de cal. Una síntesis esquemática de ambos sistemas se puede ver en la **Figura 5**.

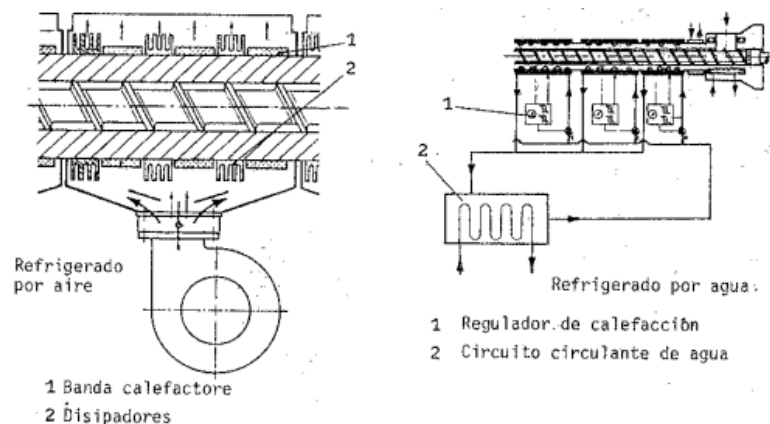


Figura 5. Esquemas de refrigeración del cilindro.

La apertura bajo la tolva es generalmente rectangular. El largo es más o menos 1,3 - 1,5 el diámetro del tornillo y el ancho igual al diámetro del tornillo ó 0,7 veces el diámetro, y suele estar desplazada del eje del tornillo para facilitar la caída del material a la maquina (ver **Figura 6**). Con esta construcción se logra un llenado suficiente del paso del tornillo.

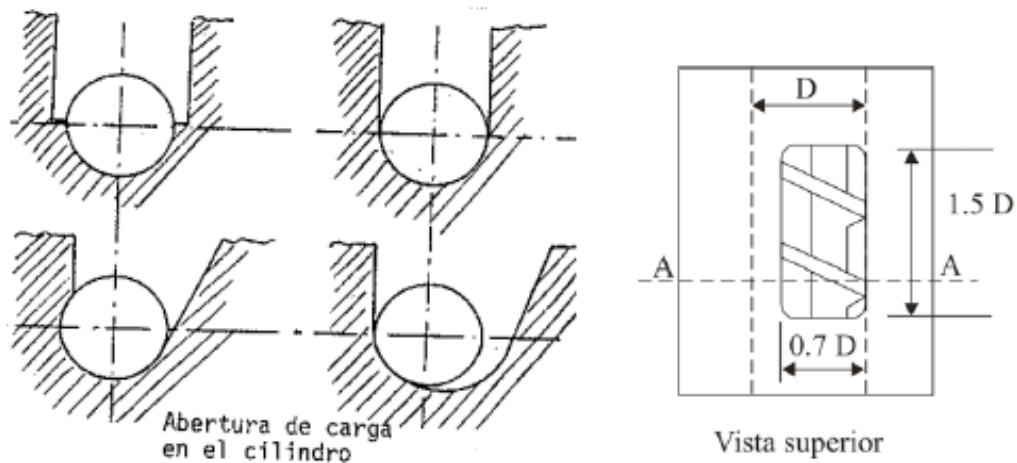


Figura 6. Abertura de carga en el cilindro.

De vital importancia es la zona de alimentación del cilindro con respecto al transporte de la materia prima (ver **Figura 7**). La efectividad del transporte puede ser notablemente elevada a través de la introducción de una muesca que es refrigerada externamente en su zona, de tal manera que el transporte es independiente del valor del rozamiento del material entre la pared del cilindro y el núcleo del tornillo. A través de una forma especial de muesca se logra el llamado husillo de rosca/efecto de tuerca. La forma y el largo de la muesca se aconsejan de acuerdo a la profundidad del filete, según la forma y dureza de la materia prima, si acaso hay material granulado o polvo o si se trata de un polietileno de alta presión u poliamida. El concepto de la zona de alimentación muescada es para el diseño de flujo en una extrusora decisivo.

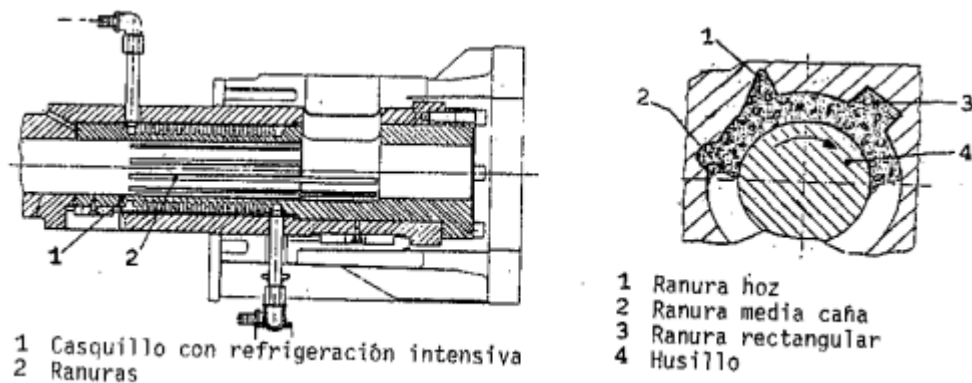


Figura 7. Tipos de ranuras refrigeradas para mejorar el transporte de la materia prima

Para la desgasificación de la masa plástica está prevista una abertura en el cilindro para la conexión de bombas de vacío (ver **Figura 5**). La bomba de vacío esta generalmente integrada en el chasis de la extrusora. Para aumentar el tiempo de vida del tornillo contra el desgaste tiene valides, en forma análoga al tornillo que se logre el llamado reforzamiento de la pared del cilindro con aleaciones de aceros resistentes.

3.7 ELEMENTOS DE REGULACIÓN - CAMBIO DE FILTRO MEZCLADOR ESTÁTICO

Los elementos de regulación sirven para aumentar la presión en la masa plástica, logrando una mejor homogeneidad, contrarrestando variaciones en el transporte (pulsaciones), en especial en el tornillo por vacío. Esto se logra a través de filtros intercambiables, casquillos con diferentes diámetros internos o por elementos ajustables, como válvulas (ver **Figura 8**). Desarrollos costosos para un desplazamiento axial del tornillo o anillos para el ajuste de una abertura en forma cónica no se han impuesto. El aumento de la presión no es aconsejable en varios termoplásticos, ya que esto significa al mismo tiempo un aumento de la

temperatura en la masa plástica, lo que por el otro lado puede tener desventajas para la transformación.

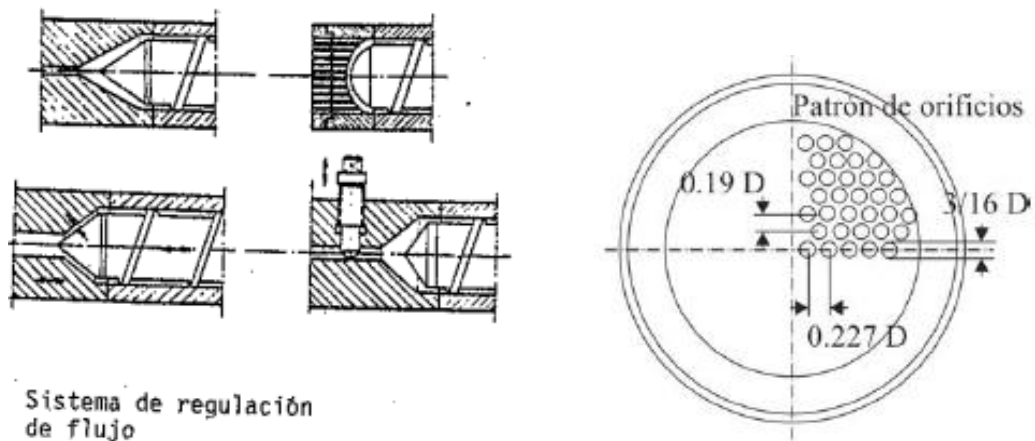


Figura 8. Sistema de regulación de flujo y Plato rompedor.

Para la filtración de partículas sucias y cuerpos extraños en la masa plástica, se usan filtros de alambre de aceros resistentes, los cuales están ubicados en una placa perforada (El plato rompedor), el cual se encuentra al final del cilindro. Se trata de un disco delgado de metal con agujeros, como se muestra en la **Figura 8**. El propósito del plato es servir de soporte al paquete de filtros, cuyo fin principal es atrapar los contaminantes para que no salgan con el producto extruido. Los filtros además mejoran el mezclado y homogenizan el fundido. Estas Piezas planas cilíndricas se usan además para aumentar la superficie de filtración, sin la necesidad de evitar una interrupción de la producción, en esta etapa se pueden instalar sistemas automáticos para cambiar los elementos, que dividen la corriente de la masa plástica en varias capas.

Así se logra una mejor tolerancia de la temperatura en la masa plástica, que en parte tiene una influencia importante para la producción de las piezas extruidas. Mezcladores estáticos son favorables, cuando por ejemplo dos extrusoras que alimentan un cabezal se conectan para mezclar los flujos de dos masas plásticas en forma homogénea.

3.8 INSTRUMENTOS, CONTROL DEL PROCESO

Todos los instrumentos para la regulación y el manejo de la temperatura del cilindro deben estar ubicados en forma óptima, en un llamado armario de distribución. Este debería estar ubicado al lado de la extrusora en forma visible o si no integrado a la extrusora.

El control de la temperatura y de la presión de la masa plástica debería estar ubicado en cada extrusora al lado de la temperatura del cilindro, de las revoluciones del tornillo y de los amperes del motor impulsor, debido a que estos corresponden a los datos más importantes, para el control del proceso y para alcanzar un desarrollo óptimo de la producción es necesario, equipar la extrusora con instrumentos de medición y regulación, los cuales originan una función exacta sobre las mediciones de valores extremos. Aquí pertenecen por ejemplo:

- a)** Cierre de conexión del motor por medio de la lubricación forzada del engranaje.
- b)** Desconexión del motor impulsador cuando falla la lubricación forzada.
- c)** Desconexión del motor cuando se sobre pasa el movimiento de torsión nominal del tornillo o la corriente nominal del motor impulsador.

- d)** Control de la presión de la masa plástica antes de la punta del tornillo con contacto de seguridad para la desconexión del motor cuando se sobrepasa la misma.
- e)** Control de la presión de la masa plástica antes del filtro para la determinación del cambio necesario del filtro.
- f)** Control de la temperatura de la masa plástica antes de la punta del tornillo.
- g)** equipo para controlar la alimentación y la altura de llenado.

El control de los datos mencionados no solo se debería realizar a través de aparatos indicadores, si no que por medio de instrumentos automáticos que registran continuamente los datos. Al alcanzar los valores límites es recomendable una conexión óptima o un indicador sonoro, para dar la posibilidad al personal de mantenimiento que intervenga en el proceso.

3.9 CONSTRUCCIONES ESPECIALES

La separación de las etapas de la extrusión o pasos del procesamiento, condujo a la construcción de los llamados extruder de cascada. La función principal consiste en facilitar la desgasificación de la masa plástica sin problema y alcanzar un alto rendimiento, independiente de la presión contraria y sin variaciones de presión, esto significa mejores posibilidades de ajuste a las exigencias de la extrusión.

Es importante también la ubicación del conjunto, cuando por motivos técnicos de producción o proceso trabajan dos extrusoras sobre un cabezal.

3.10 CÁLCULOS BÁSICOS

Para una mejor comprensión de las etapas de extrusión, han sido investigadas en principio las propiedades reológicas de la zona de plastificación en el canal del tornillo. Esta etapa mostrada en la **Figura 9**. En el canal del tornillo. Fue calculada matemáticamente tomando como base variables constantes a determinadas condiciones, para obtener una ecuación sobre el cálculo del rendimiento. Fue definitivo, las viscosidades de estructura de los termoplásticos en dependencia con la temperatura y con la velocidad de amasamiento (diferentes velocidades en las capas de la masa que se encuentran en el canal del tornillo) fueron examinadas y las relaciones fueron expuestas en las llamadas curvas de flujo mostradas en la **Figura 10**.

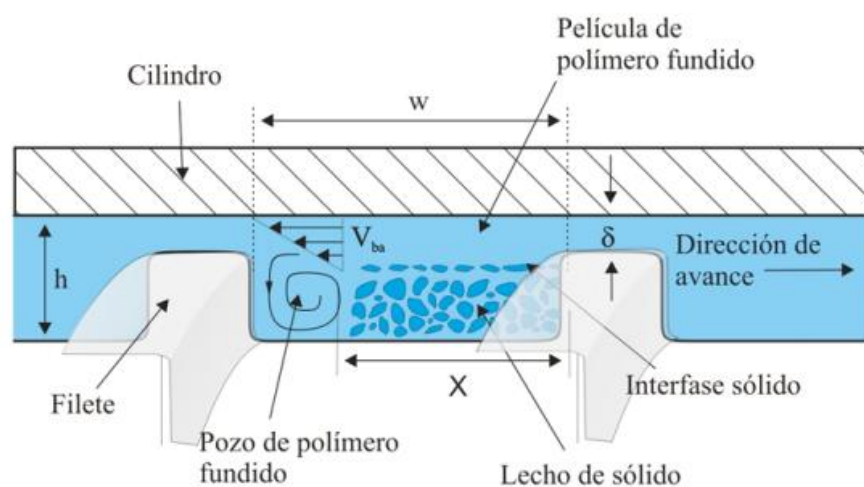


Figura 3. Corte transversal de la extrusora en la zona de transición.

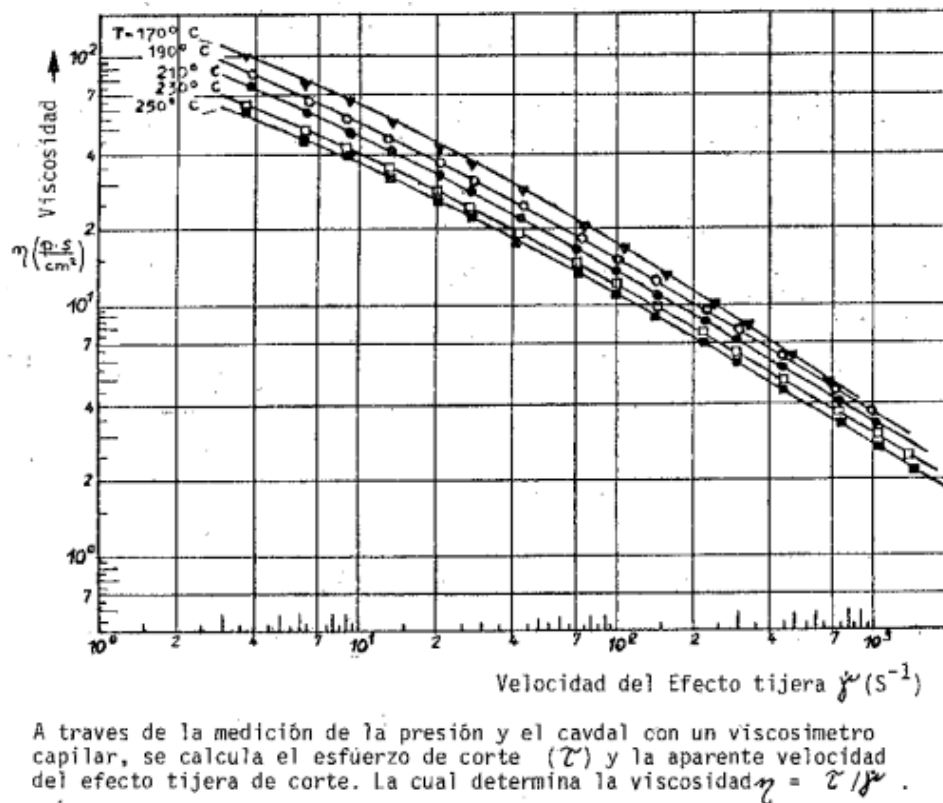


Figura 10. Curva de fluidez de masas termoplásticas.

El rendimiento depende mucho de la resistencia del cabezal. A finales de 1960 el desarrollo se dirigió en forma intensiva a un concepto, donde se reconoció, que el rendimiento es estipulado por la zona de alimentación y no por la zona de expulsión del tornillo. Una comparación práctica de los rendimientos alcanzables con diferentes zonas de alimentación se muestra en la **Figura 11**.

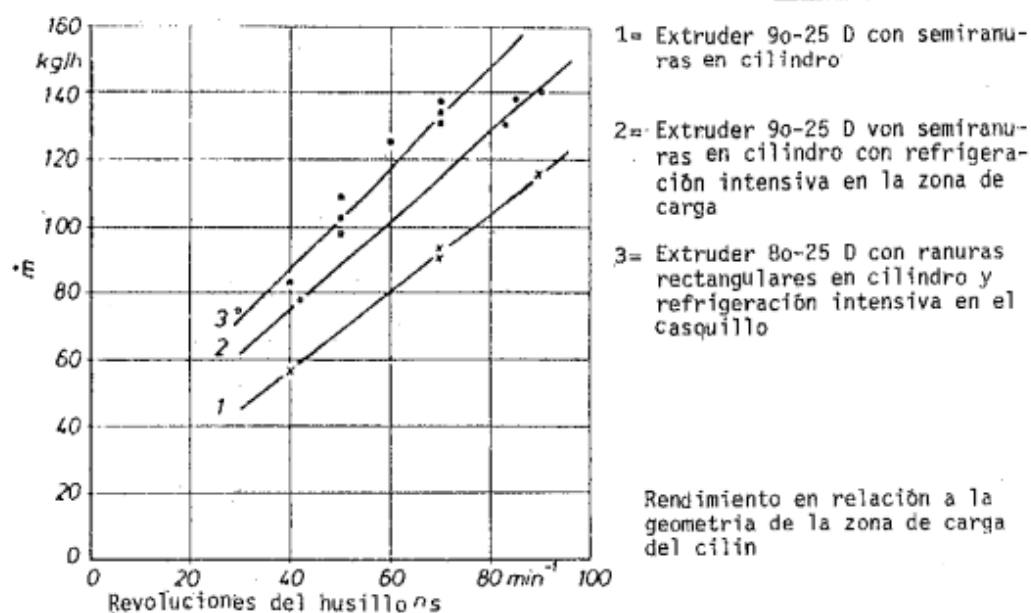


Figura 11. Rendimiento en relación a la geometría de la zona de carga del cilindro.

Decisiva fue la determinación, que a través del injerto de muescas en la zona de alimentación del cilindro y bajo una simultánea e intensiva refrigeración de esta zona con respecto al sistema convencional se logró un intervalo totalmente diferente de la presión en los filetes del tornillo a lo largo del eje del cilindro (ver **Figura 12**).

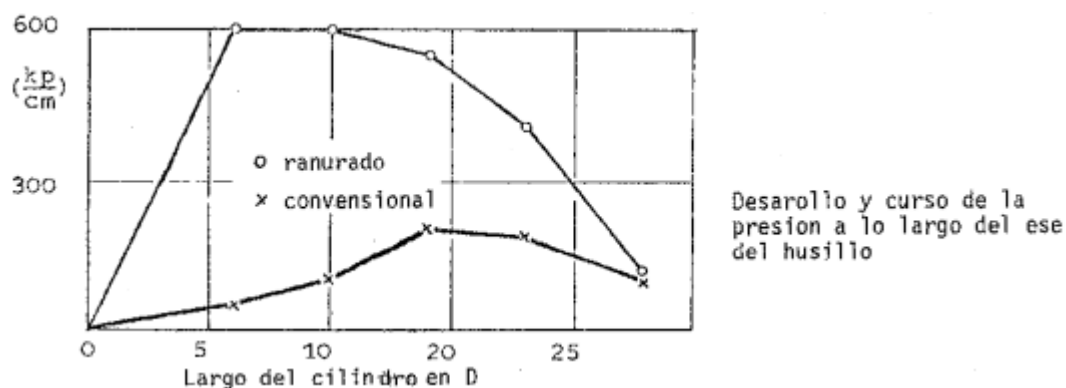


Figura 12. Efecto de la presión a lo largo del eje del husillo.

La presión que se iba produciendo poco a poco de filete a filete en una extrusora convencional fue limitada a la zona de alimentación. Una velocidad contraria independiente de la presión antes de la punta del tornillo, fue posible debido al comportamiento de la zona de transporte con muesca llamada zona de transporte sólida. La capacidad de transporte de esta zona fue examinada matemáticamente y se hicieron reglamentos matemáticos

Importante fue el análisis del valor de fricción de la materia prima que influye en forma decisiva en el transporte, que represento los gránulos por un lado y por el otro lado de la pared del cilindro o del tornillo. Estas interrelaciones están expuestas en la **Figura 13**.

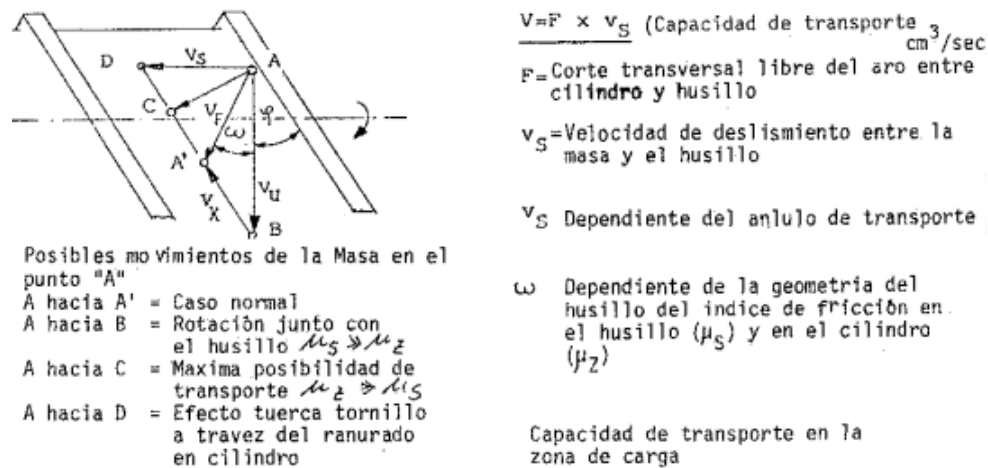


Figura 13. Interrelación entre la masa y el transporte en la zona de carga.

En forma paralela a este método de cálculo para el rendimiento de la extrusora se han hecho modelos reglamentarios, que permiten, construir extrusoras partiendo de parámetros de procedimientos existentes. En la **Figura 14**, están contenidos los parámetros de transmisión más importantes.

L	$\sim D^1$	$\sim D^1$
h_1, h_2	$\sim D^{0,7}$	$\sim D^{0,7}$
$\dot{m}/n_s$	$\sim D^{2,7}$	$\sim D^3$
$n_s \cdot \max$	$\sim D^{-0,6}$	$\sim D^{-1,4}$
$\dot{m}_{\max}$	$\sim D^{2,1}$	$\sim D^{1,6}$
$P_s \cdot \max$	$\sim D^{2,1}$	$\sim D^{1,6}$
M_{d_s}	$\sim D^{2,7}$	$\sim D^3$
e_s	$\sim D^0$	$\sim D^0$
$\frac{M_{d_s}}{\dot{m}/n_s}$	$\sim D^0$ 1)	$\sim D^0$ 2)

1) Convencional 2) Casquillo muescado
Medidas Principales: (Ranurado)

h = Profundidad del canal L = Largo del husillo

$\dot{m}/n_s$ = Rendimiento específico

$n_{s \max}$ = Max Numero de vueltas del husillo

M_d = Momento de torsión

e_s = Rendimiento específico del husillo

Modelo orientativo

Figura 14. Pautas para el cálculo de la transmisión.

Un ejemplo práctico para la construcción de una extrusora esta explicada en la **Figura 15.**

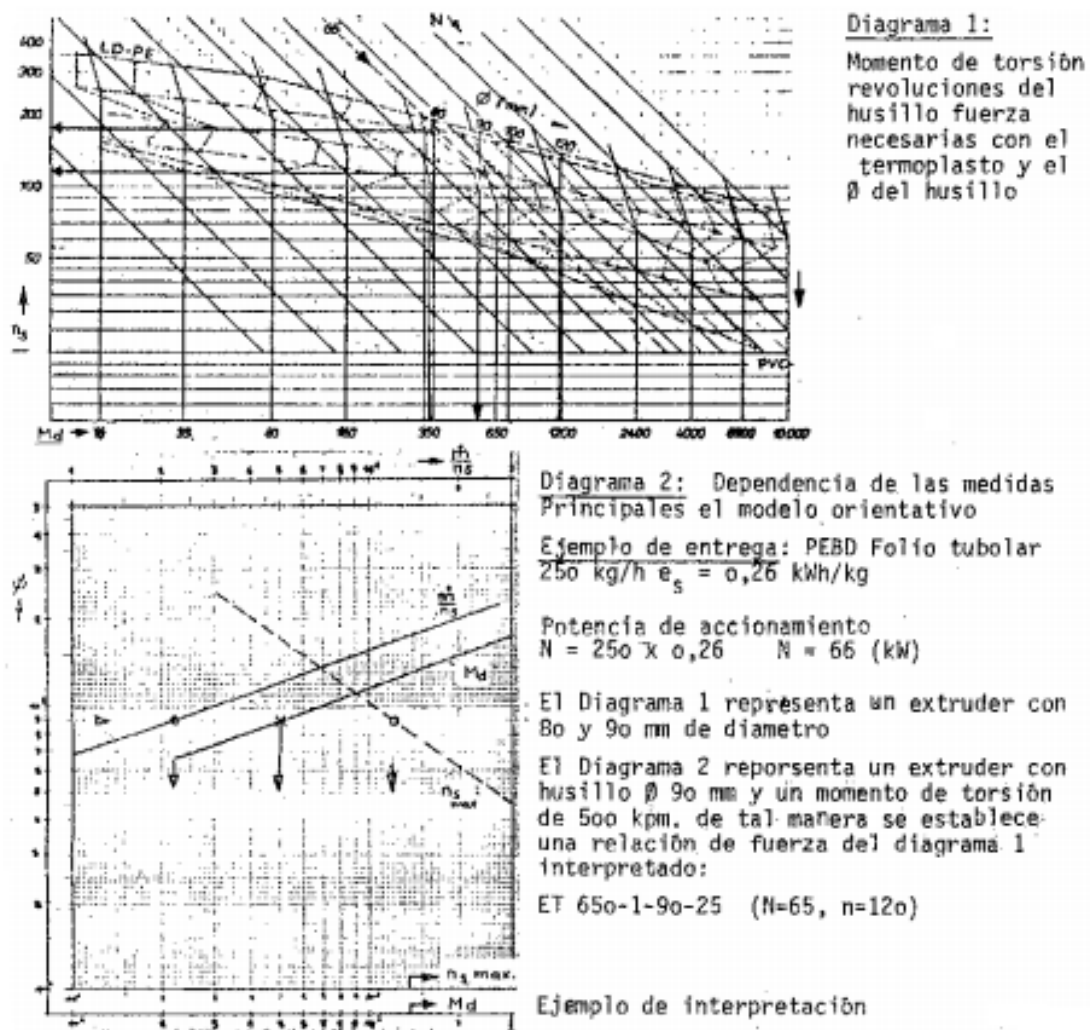


Figura 15. Diagramas para determinar relaciones de fuerza.

Es Importante que las curvas en el diagrama sigan el trayecto según el modelo fijado y principalmente para los datos.

- Rendimiento específico: m/s
- Revoluciones máximas del tornillo: $n_s - \text{Max}$
- Necesidad específica de energía del motor: W específica – kwh/kg

El desarrollo mencionado condujo a que de acuerdo al rendimiento de transporte específico por revolución del tornillo, fueran desarrollados elementos mezcladores y amasadores especiales, para garantizar una homogeneidad de la masa plástica suficiente. De las extensas variantes de construcción hay dos diseños; expuestos en la **Figura 16**.

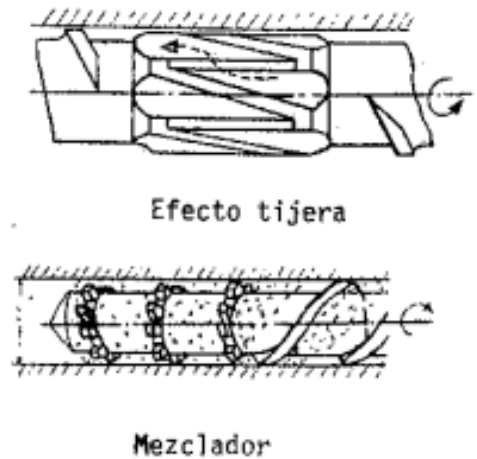


Figura 16. Tipos de mezcladores.

3.11 RUTINA DE MANTENIMIENTO

Para el mantenimiento hay que tener en cuenta esencialmente las indicaciones de los diferentes constructores de extrusoras. En referencia al desarme del tornillo. En general el personal de servicio debe estar informado acerca de las etapas del proceso de transformación, para lograr que los problemas y dificultades puedan ser eliminados rápidamente. El manejo de la extrusora es más fácil cuando hay más datos de funcionamiento registrados, ya que así se puede seguir rápidamente la trazabilidad de los valores de producción.

El control continuo de los datos de producción debe ser igualmente evidente, para así tener la posibilidad de ubicar fallas en el producto, que ocurren después de cierto tiempo, cuyo posible motivo se encuentre dentro de la extrusora. Aparte de esto, es muy importante la evaluación de los datos para la determinación de datos históricos y para la formación del personal. En todo caso se debe incluir el control y verificación de los datos más importantes de las materias primas o de los termoplásticos en general.

4 CALCULOS DE DISEÑO

Descripción de los cálculos para la unidad de extrusión seleccionada, con lo mencionado anteriormente, la selección del tornillo se inició tomando en cuenta la relación L/D. esta longitud 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 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.

$$\frac{L}{D} = R \text{ (Relación de Compresión)} \quad \text{(Formula 1)}$$

$$L = R * D$$

$$L = (25) * (50)$$

$$L = 1250 \text{ mm}$$

$$h = 0,15 * D$$

$$h = 0,15 * 50 \text{ mm}$$

$$h = 7,5$$

De la **Formula 1**. Resulta el número de filetes del husillo debido a que L= 1250 mm y D = 50 mm. El cual seria 25 Filetes.

Conociendo el Paso (*II*) que es igual a 50 mm; surge el Angulo Ø del extrusor, despejando de la **Formula 2**.

$$\Pi = \pi D \tan \phi \quad (\text{Formula 2})$$

$$50 \text{ mm} = \pi * 50 \text{ mm} * \tan \phi$$

$$\frac{50 \text{ mm}}{50 \text{ mm} * \pi} = \tan \phi$$

$$\phi = 17,65^\circ \cong 17,7^\circ$$

Se tomo como Angulo $17,7^\circ$ debido a que es un Angulo estándar que permite trabajar el extrusor con otros materiales como PVC y Polietileno.

Partiendo de estos datos, Para el palito plástico de Bon Bon Bum se requiere una producción de 800.000 unidades x día, por tal motivo se aplica como margen de sobre diseño 2.98 %, quedando la cantidad en:

298,920 unid en 8 horas.

Si el palito plástico pesa 0,4 grs. Se calcula la producción en el extrusor por hora partiendo de:

$$\frac{298920 \text{ und}}{8 \text{ hr}} = 37365 \frac{\text{und}}{\text{hr}}$$

El volumen de salida en el extrusor por hora será de:

$$\frac{0,4 \text{ gr}}{1 \text{ und}} * 37635 \frac{\text{und}}{\text{hr}} = 14946 \frac{\text{gr}}{\text{hr}}$$

$$\frac{14946 \text{ gr}}{1 \text{ hr}} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}} = 14,946 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

$$14,946 \frac{\text{kg}}{\text{hr}} * \frac{1 \text{ lb}}{0,5 \text{ kg}} = 29,892 \frac{\text{lb}}{\text{hr}}$$

$$\text{Volumen de Salida} = 29,892 \frac{\text{lb}}{\text{hr}}$$

Requerimientos del Husillo.

$$\text{Material / hora} = 14,946 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

$$\text{Diámetro del husillo} = 50 \text{ mm}$$

$$\text{Relación} = 25:1$$

$$\text{Longitud} = 1250 \text{ mm}$$

Para hallar las revoluciones por minuto (RPM) del husillo.

$$N = \frac{R}{2,3 D^2 h G} \quad \text{(Formula 3)}$$

R = Cantidad de material en libras por hora.

D = Diámetro del Husillo en Pulgadas.

h = Profundidad sección de dosificación en pulgadas.

G= Gravedad Específica.

N = RPM del husillo.

Material / hora en libras por hora =

$$29,892 \frac{lb}{hr}$$

Diámetro del husillo en pulgadas =

$$D = 50 \text{ mm} * \frac{1 \text{ pulg}}{25.4 \text{ mm}} = 1,96 \text{ pulg}$$

$$D = 1,96 \text{ pulg}$$

Profundidad sección de dosificación

$$h = 0,15 * D \quad \text{(Formula 4)}$$

$$h = 0,15 * 50 \text{ mm}$$

$$h = 7,5 \text{ mm}$$

De este resultado se hace la conversión a pulgadas, para cálculos posteriores.

$$h = 7,5 \text{ mm} * \frac{1 \text{ pulg}}{25.4 \text{ mm}} = 0,295 \text{ pulg}$$

$$h = 0,295 \text{ pulg}$$

Con estos datos reemplazando en la **Formula 3** se tiene.

$$N = \frac{29,892}{2,3 * 1,96^2 * 0,295 * 0,97} = 11,82 \text{ RPM}$$

$$N = 11,82 \text{ RPM}$$

$$N = 11,82 \text{ RPM} * \frac{1 \text{ minuto}}{60 \text{ seg.}}$$

$$N = 0,197 \text{ RPS}$$

El husillo va acoplado a un reductor de relación 15:1 por tal motivo las revoluciones requeridas son:

$$N_F = N * R \quad \text{(Formula 5)}$$

$$N_F = (11,82) * (15) = 177,3 \text{ RPM}$$

Entendiendo que la velocidad estándar de un motor gira a 1725 RPM, se obtiene la relación de velocidad (V.R).

$$V.R = \frac{N_{MOTOR}}{N_F} \quad \text{(Formula 6)}$$

$$V.R = \frac{1725 \text{ RPM}}{177,3 \text{ RPM}} = 9,72 \approx 10$$

$$V.R = 10$$

Se redondea a 10 para que tenga un valor cerrado y la velocidad sea mayor, de esa manera se pueda regular mediante el motor, también por si se requiere producir mayor cantidad de material por hora.

Se utiliza una polea de 100 mm como estándar y se calcula el diámetro de la otra para obtener la velocidad necesaria.

$$D_1 = D_2 * V.R \quad \text{(Formula 7)}$$

$$D_1 = (100 \text{ mm}) * (10) = 1000 \text{ mm}$$

$$D_1 = 1000 \text{ mm}$$

Para darle movimiento al sistema se emplea un motor de 15 HP; se utiliza este motor debido a que la empresa Plastik posee un motor con esta capacidad y desean utilizarlo en este proyecto.

Para asegurar que los requerimientos del proceso sean los necesarios, se realizaron los siguientes cálculos de potencia para el husillo que se calculó.

Del husillo se tiene:

Diámetro	D:	50mm
Profundidad del canal	h:	7,5 mm
Paso	Π :	50 mm
Ancho del filete	t:	5mm
Velocidad	N:	0,197 RPS
Apertura del filete	δ :	0,108 mm
Angulo de hélice	$\emptyset$:	17,7°

Con los datos iniciales se hacen los cálculos necesarios para calcular la potencia que utiliza el husillo en su funcionamiento, reemplazando los datos en las siguientes formulas se van obteniendo los resultados.

Ancho del Canal. (b)

$$b = (\Pi - t) \cos \emptyset \quad \text{(Formula 8)}$$

$$b = (50 - 5) \cos 17,7^\circ = 43,27 \text{ mm}$$

$$b = 43,27 \text{ mm}$$

Largo de la Hélice. (d_z)

$$d_z = \frac{\Pi \cdot \pi}{\cos \emptyset} \quad \text{(Formula 9)}$$

$$d_z = \frac{50 \cdot \pi}{\cos 17,7^\circ} = 163,35 \text{ mm}$$

Se realiza la conversión a metros (m) para facilitar cálculos posteriores.

$$d_z = 163,35 \text{ mm} \approx 0,16335 \text{ m}$$

$$d_z = 0,16335 \frac{m}{seg}$$

Velocidad Longitudinal. (W)

$$W = \pi * D * N * \cos \phi \quad (\text{Formula 10})$$

$$W = \pi * 50 \text{ mm} * 0,197 \text{ RPS} * \cos 17,7^\circ = 29,75 \frac{\text{mm}}{\text{seg}}$$

Se realiza la conversión a $\frac{m}{seg}$ para facilitar cálculos posteriores.

$$W = 29,75 \frac{\text{mm}}{\text{seg}} \approx 0,02975 \frac{m}{\text{seg}}$$

$$W = 0,02975 \frac{m}{\text{seg}}$$

Flujo de Arrastre. (Q_d)

$$(Q_d) = \frac{W}{2} * b * h \quad (\text{Formula 11})$$

$$(Q_d) = \frac{29,75 \text{ mm/seg}}{2} * 43,27 \text{ mm} * 7,5 \text{ mm} = 4827,30 \frac{\text{mm}}{\text{seg}}$$

$$(Q_d) = 4827,30 * 10^{-6} \frac{m^3}{\text{seg}}$$

Razón de la cortante del flujo de arrastre. (γ_D)

$$(\gamma_D) = \frac{w}{h} \quad \text{(Formula 12)}$$

$$(\gamma_D) = \frac{29,75 \text{ mm/seg}}{7,5 \text{ mm}} = 3,96 \text{ s}^{-1}$$

$$(\gamma_D) = 3,96 \text{ s}^{-1}$$

Ancho normal del filete. (t_n)

$$t_n = t * \cos \emptyset \quad \text{(Formula 13)}$$

$$t_n = 5 \text{ mm} * \cos 17,7^\circ = 4,80 \text{ mm}$$

$$t_n = 4,80 \text{ mm}$$

Ancho tangencial del filete. (t_T)

$$(t_T) = \frac{t}{\tan \emptyset} \quad \text{(Formula 14)}$$

$$(t_T) = \frac{5 \text{ mm}}{\tan 17,7^\circ} = 17,51 \text{ mm}$$

$$(t_T) = 17,51 \text{ mm} \approx 0,01751 \text{ m}$$

$$(t_T) = 0,01751 \text{ m}$$

Circunferencia. (C)

$$(C) = \pi * D \quad \text{(Formula 15)}$$

$$(C) = \pi * 50 \text{ mm} = 157,07 \text{ mm}$$

$$(C) = 157,07 \text{ mm} \approx 0,15707 \text{ m}$$

$$(C) = 0,15707 \text{ m}$$

Velocidad Tangencial. (V_T)

$$(V_T) = \pi * D * N \quad \text{(Formula 16)}$$

$$(V_T) = \pi * 50 \text{ mm} * 0,197 = 30,94 \frac{\text{mm}}{\text{seg}}$$

$$(V_T) = 30,94 \frac{\text{mm}}{\text{seg}} \approx 0,03094 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

$$(V_T) = 0,03094 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

Razón de la cortante del filete. (γ_n)

$$(\gamma_n) = \frac{v_T}{\delta} \quad \text{(Formula 17)}$$

$$(\gamma_n) = \frac{30,94 \frac{\text{mm}}{\text{seg}}}{0,108 \text{ mm}} = 286,45 \text{ s}^{-1}$$

$$(\gamma_n) = 286,45 \text{ s}^{-1}$$

Potencial del canal. (E_{Canal})

$$(E_{Canal}) = \frac{n * W^2 * b * d_z}{h} * \left[4 * (1 + \tan^2 \emptyset) - \frac{6 * Q_D}{W * b * h} \right] \quad (\text{Formula 18})$$

$$(E_{Canal}) = \frac{1,05 * 29,75^2 * 43,27 * 163,35}{7,5} * \left[4 * (1 + \tan^2 17,7^\circ) - \frac{6 * 4827,30}{29,75 * 43,27 * 7,5} \right] =$$

$$(E_{Canal}) = \frac{1,05 * 29,75^2 * 43,27 * 163,35}{7,5} * \left[4 * (1 + \tan^2 17,7^\circ) - \frac{6 * 4827,30}{29,75 * 43,27 * 7,5} \right] =$$

$$(E_{Canal}) = 875806,19 * [4,32 - 2,99] = 1164822,2$$

$$(E_{Canal}) = 11,64 \frac{w}{Vuelta}$$

Potencial del filete. (E_{Filete})

$$(E_{Filete}) = \frac{n * W^2 * t * d_z}{\delta * \cos \emptyset} \quad (\text{Formula 19})$$

$$(E_{Filete}) = \frac{1,05 * 29,75^2 * 5 * 163,35}{0,108 * \cos 17,7} = 7308616,9$$

$$(E_{Filete}) = 73,08 \frac{w}{Vuelta}$$

Potencial del Canal a 11,82 RPM. $(E_{Canal \text{ a } 11,82 \text{ RPM}})$

$$(E_{Canal \text{ a } 11,82 \text{ RPM}}) * 11,82 \text{ RPM} = \quad \text{(Formula 20)}$$

$$(E_{Canal \text{ a } 11,82 \text{ RPM}}) = \left(11,64 \frac{w}{Vuelta}\right) * 11,82 \text{ RPM} = 137,58 w$$

$$(E_{Canal \text{ a } 11,82 \text{ RPM}}) = 137,58 w$$

Potencial del Filete a 11,82 RPM. $(E_{Filete \text{ a } 11,82 \text{ RPM}})$

$$(E_{Filete \text{ a } 11,82 \text{ RPM}}) * 11,82 \text{ RPM} = \quad \text{(Formula 21)}$$

$$(E_{Filete \text{ a } 11,82 \text{ RPM}}) = \left(73,08 \frac{w}{Vuelta}\right) * 11,82 \text{ RPM} = 863,80 w$$

$$(E_{Filete \text{ a } 11,82 \text{ RPM}}) = 863,80 w$$

Para la potencia total requerida. (E_{Total})

$$(E_{Total}) = (E_{Canal \text{ a } 11,82 \text{ RPM}}) + (E_{Filete \text{ a } 11,82 \text{ RPM}}) \quad \text{(Formula 22)}$$

$$(E_{Total}) = (137,58 w) + (863,80 w) = 1001,38 w$$

$$(E_{Total}) = 1001,38 w$$

Conociendo que 1 HP es igual a 750 w , se hace el cálculo.

Requerimiento del sistema. ($R_{sistema}$)

$$R_{sistema} = \frac{1 \text{ HP}}{750 \text{ w}} * 1001,38 \text{ w} = 1,33 \text{ HP}$$

$$R_{sistema} = 1,33 \text{ HP}$$

El sistema requiere de 1,33 HP y se cuenta con un motor de 15 HP, con lo que se da un factor de seguridad de 13,67 HP, esto permite un funcionamiento más que suficiente para un trabajo correcto.

A continuación se hará el análisis térmico de la unidad de extrusión para verificar el buen funcionamiento del barril y del husillo. Se calculó el cambio de longitud basándose en los coeficientes de expansión térmica de cada material que componen la unidad.

Coeficiente de expansión térmica del husillo.

$$11,50 * 10^{-6} \text{ K}$$

Coeficiente de expansión térmica del barril.

$$11,38 * 10^{-6} \text{ K}$$

Sustituyendo en la **Formula 23**.

$$\alpha = \frac{L_f - L_0}{L_0 (\Delta T)} \quad \text{(Formula 23)}$$

Se despeja de la **Formula 23** para saber el cambio de longitud que hay para el husillo y el barril.

$$\Delta L = \alpha * L_0 * \Delta T$$

Se parte del conocimiento de que la temperatura inicial es de $T = 25^\circ\text{C}$, a una de 200°C , a la cual normalmente se trabaja.

Para el husillo obtenemos. ($\Delta L_{\text{husillo}}$)

$$\Delta L_{\text{husillo}} = 11,50 * 10^{-6} K * (1,250 m) * (200^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) = 0,0025 m$$

$$\Delta L_{\text{husillo}} = 0,0025 m$$

Para el barril. (ΔL_{barril})

$$\Delta L_{\text{Barril}} = 11,30 * 10^{-6} K * (1 m) * (200^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) = 0,0019 m$$

$$\Delta L_{\text{Barril}} = 0,0019 m$$

Característica del barril utilizado

Diámetro interno:	$D_i = 50 \text{ mm}$
Diámetro Externo:	$D_e = 87 \text{ mm}$
Relación:	$R = 25:1$
Camisa bimetálica:	WBC 60
Largo Total:	1000 mm

4.1 DISEÑO DE LA TOLVA DE ALIMENTACIÓN

La Tolva de alimentación se calculó para que pueda contener aproximadamente 0.33 m^3 , el cual es un volumen suficiente para que esta pueda mantener material necesario para una (1) hora de operación; además que se tiene una lámina de la cual se puede fabricar la tolva, estéticamente se vea bien y pueda albergar material suficiente para mantener el proceso en funcionamiento, por tal motivo se decidió escoger el modelo de tolva tipo polígono trapezoidal

Datos.

Capacidad de La tolva 1 hora de operación: 14.946 Kg.

El material de la tolva se encuentra aglutinado con una densidad aparente de 0.45 gr/cm^3

$$V_{Tolva} = \left(\frac{m}{D_{aparente}} \right) = \left(\frac{14.946 \text{ Kg}}{4.5 \text{ E} - 4 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^3}} \right) = 33213.3 \text{ cm}^3 = 0.0332 \text{ m}^3$$

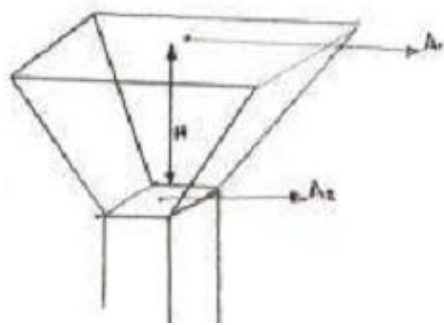


Figura 17. Volumen de la tolva

$$V = \left(\frac{H}{3}\right) * \left(A_1 + A_2 + (A_1 * A_2)^{\frac{1}{2}}\right) \quad \text{(Formula 24)}$$

De la Formula 24, volumen de un polígono trapezoidal.

$$V = \left(\frac{H}{3}\right) * \left(A_1 + A_2 + (A_1 * A_2)^{\frac{1}{2}}\right) = 0.33 \text{ m}^3$$

$$V = \left(\frac{63}{3}\right) * \left(38.5 + 6.6 + (38.5 * 6.6)^{\frac{1}{2}}\right) = 0.3615 \text{ m}^3$$

Partiendo de estos datos se puede obtener el plano de la tolva, como se muestra en la **Figura 18**.

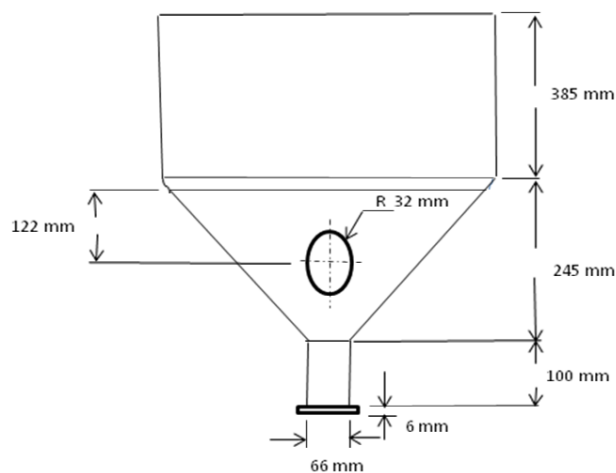


Figura 18. Plano de la tolva.

4.2 DISEÑO DE LA GARGANTA DE ALIMENTACIÓN

De acuerdo con la **Figura 6**, se realiza el cálculo para el diseño de la garganta de alimentación en el cilindro.

Se toma en consideración que la abertura tenga el diámetro del tornillo de 50 mm de ancho, y 66 mm de longitud, que hace referencia a 1.3 veces el diámetro del tornillo, y que concuerda perfectamente con la dimensión de la tolva de alimentación. Este diseño se realiza con la posibilidad de hacer una ranura paralela que permita desalojar el material de la tolva de alimentación, en momentos que no se esté utilizando.

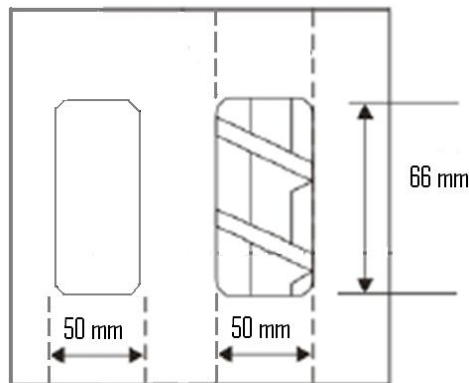
$$\text{Longitud de la abertura} = 1.3 * D \quad (\text{Formula 25})$$

$$1.3 * 50 = 65 \approx 66 \text{ mm}$$

$$\text{Longitud de la abertura} = 66 \text{ mm}$$

$$\text{Ancho} = D$$

$$\text{Ancho} = 50 \text{ mm}$$



Vista superior

Figura 19. Plano de la garganta de alimentación.

4.3 DISEÑO DEL PLATO ROMPEDOR

De acuerdo con la **Figura 8**, para el diseño del plato rompedor se tiene que

$$\text{Diametro de agujeros} = \frac{3}{16} * D \quad (\text{Formula 26})$$

$$\text{Diametro de agujeros} = \frac{3}{16} * 50 = 9.375 \text{ mm}$$

$$\text{Diametro de agujeros} = 9.375 \text{ mm}$$

$$\text{Paso vertical} = 0.19 * D \quad (\text{Formula 27})$$

$$\text{Paso vertical} = 0.19 * 50 \text{ mm} = 14.5 \text{ mm}$$

$$\text{Paso vertical} = 14.5 \text{ mm}$$

$$\text{Paso Horizontal} = 0.227 * D \quad (\text{Formula 28})$$

$$\text{Paso Horizontal} = 0.227 * 50 \text{ mm} = 11.35 \text{ mm}$$

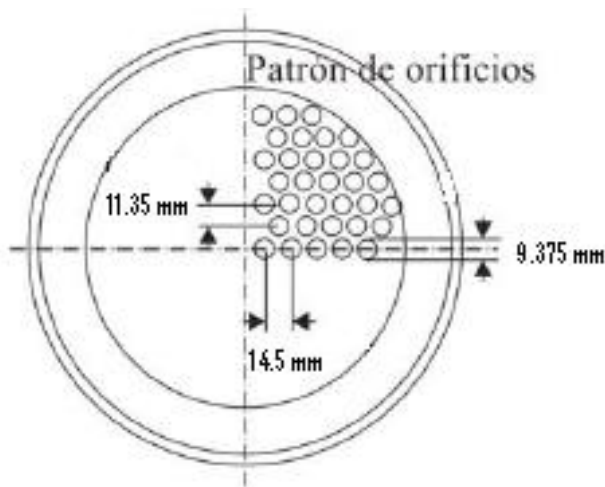


Figura 20. Plano del plato rompedor.

4.4 DISEÑO Y SELECCION DE LOS CALENTADORES

Para Iniciar el cálculo y selección de los calentadores se debe conocer el tiempo de residencia del material que es la cantidad promedio de tiempo en la cual el material se encuentra dentro del cabezal. El tiempo de residencia de una mezcla con un cabezal de longitud L puede ser expresado como

$$T = \frac{U}{L} \quad \text{(Formula 29)}$$

U = Velocidad promedio de la mezcla.

Se han determinado expresiones para secciones tubulares (**Formula 30**) y para secciones de hendiduras rectangulares (**Formula 31**).

$$T = \frac{\pi * L * R^2}{Q_{TOTAL}} \quad \text{(Formula 30)}$$

$$T = \frac{L * W * H}{Q_{TOTAL}} \quad \text{(Formula 31)}$$

Para este diseño, se tiene una sección tubular por tal motivo se seleccionará la **Formula 30**. Para la longitud del canal se usará la longitud de la camisa más la longitud del dado para dar un indicativo del tiempo de residencia total del fundido dentro de la extrusora. Se indica que en la **Formula 30**, debe reemplazarse el flujo másico como flujo volumétrico. Los valores geométricos en el tornillo serían de la **Formula 1**:

$$L = 1250 \text{ mm}$$

Para el cálculo del Q_{TOTAL} se tiene que de la fórmula de Timothy Womer de Xaloy Inc. La cual está basada, en la constante del ángulo de la hélice en 17.66° , quien asumió condiciones típicas de presión y viscosidad para poliolefinas. La relación se muestra en la **Formula 32**:

$$Q_{TOTAL} = Q = 2.3 * D^2 * H * \rho * N \quad \text{(Formula 32)}$$

$$D = 1.96 \text{ pulg}; H = 0.295 \text{ pulg}; N = 11.82 \text{ RPM}; \rho = 0.95 \text{ g /cm}^3$$

$$Q_{TOTAL} = 2.3 * 1.96^2 * 0.295 * 0.95 * 11.82$$

$$Q_{TOTAL} = 29.26 \frac{\text{lb}}{\text{hr}} = 14.63 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$

Que sería el valor teórico del flujo generado por el tornillo, sin tener en cuenta el mezclador y el dado de extrusión. Se espera así, un flujo de 15% a 20% menor al valor teórico, que además sería un valor muy similar al volumen de salida esperado para cumplir con el plan de producción propuesto.

Con respecto al flujo volumétrico, lo obtenemos al multiplicar el flujo másico por la densidad del material a procesarse; en nuestro caso se trabajara con Polipropileno por ser el material escogido:

$$Q = 14.63 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}} * \frac{\text{m}^3}{950 \text{ kg}} = 0.0154 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$$

Se toma un radio de canal mayor en la zona de:

$$R = 50\text{mm}$$

Con lo cual queda la **Formula 30**, como:

$$T = \frac{\pi * 1250 * 0.0325^2}{0.0154} = 0.06987 \text{ hr} : 4.19 \text{ min}$$

Que sería el valor del tiempo de residencia promedio en proceso continuo.

4.5 CÁLCULO DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Para iniciar el análisis de transporte de calor a través de las resistencias eléctricas que posteriormente se seleccionarán, se define el problema como conducción de calor a través de un cilindro infinito; esta suposición puede ser tomada en vista que el cilindro cumple con la relación:

$$\frac{L}{D} \geq 10$$
$$\frac{1250}{50} = 25 > 10$$

Para simplificar la solución se considera que el sólido pueda variar su temperatura, pero que todo su interior se encuentra a la misma temperatura, debido a que su resistencia interna es nula o despreciable por ser un cilindro conteniendo un líquido con convección que homogenice su temperatura, entonces se supone que el flujo de calor transmitido por su superficie es aportado por el calor acumulado.

Para comprobar que la resistencia interior es despreciable se recurre a un coeficiente adimensional denominado número de Biot Bi, que relaciona la resistencia superficial con la resistencia interna, y cuyo valor debe ser muy inferior a la unidad. En este caso se conoce que si $Bi < 0,1$ el error será menor del 5% aunque es deseable que biot sea lo menor posible.

$$Bi = \frac{h * L_c}{k} \quad \text{(Formula 33)}$$

Como recomendación en la bibliografía, se puede encontrar que los coeficientes de convección libre están entre 5 y 25 para sistemas gaseosos; para el análisis se escoge el valor mayor, para de cierta manera compensar las pérdidas de calor al medio ambiente.

Se tienen los siguientes datos:

$$k = 22 \frac{W}{m \text{ K}}$$

$$L_c = R_e - R_i = 25 \text{ mm}$$

$$h = 68 \frac{W}{m^2 \text{ K}}$$

El número de Biot quedaría:

$$Bi = \frac{h * L_c}{k} = \frac{68 * 0.025}{22} = 0.077$$

De manera que la aproximación por el método de la resistencia despreciable es válida para el caso en mención.

A partir de este momento se asume que los gradientes de temperatura del cilindro son despreciables, calculando el flujo de calor necesario que deben suministrar las resistencias a fin de elevar la temperatura del cilindro, mediante la **Formula 34**:

$$Q_r = \rho V c \theta_1 \left[1 - \exp \left(- \frac{t * h A_s}{\rho V c} \right) \right] \quad \text{(Formula 34)}$$

Reemplazando los siguientes datos:

$$\rho = 920 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$V = L * \pi(R_e^2 - R_i^2) = 1.6 * \pi(0.050^2 - 0.025^2) = 9.42 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$c = 1800 \frac{\text{J}}{\text{kg} * \text{K}}$$

$$\theta = \theta_i - \theta_{\infty} = 298 - 473 \text{ } ^\circ\text{K} = -175 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$A_s = \pi * D * L = \pi * 0.050 * 1.6 = 0.2513 \text{ m}^2$$

Introduciendo los valores el calor quedaría:

$$Q_r = 920 * 9.42 \times 10^{-3} * 1800 * 175 \left[1 - \exp\left(-\frac{1200 * 25 * 0.2513}{920 * 9.42 \times 10^{-3} * 1800}\right) \right]$$

De donde se obtiene:

$$Q_r = 1696343.80 \text{ J}$$

Teniendo en cuenta esa transferencia total de energía, se colocarán 5 resistencias a lo largo de la camisa y el calentamiento se dará en un tiempo de 1800 seg. La potencia calorífica por resistencia eléctrica será:

$$Q_{\text{Resistencia}} = \frac{Q_r}{5 * 1800} = \frac{1696343.80}{9000} = 188 \frac{\text{w}}{\text{Resistencia}}$$

Para tener en cuenta en el requerimiento de las resistencias y considerar el valor de la unión entre la resistencia y el barril, que no fue tomado en cuenta se considera aumentar en un factor de sobredimensionamiento de 1.2, y de 1.4 por el tiempo de envejecimiento de los mismos, el valor de la potencia que se debe seleccionar por resistencia debe ser de acuerdo con la **Formula 35** de:

$$Q_{RS} = Q_R * 1.2 = 188 * 1.2 * 1.4 = 315.8 \text{ W} \quad (\text{Formula 35})$$

Revisando los catálogos se encontró que existen resistencias tipo abrazadera; modelos que se fabrican a medida y con diferentes acabados, obteniendo una conexión por cables o espigas, así como diferentes modelos de sujeción, las configuraciones de cierre presentan diferentes soluciones, como bandas de apriete, tornillos allen, etc.

En la **Figura 21**, se aprecia las medidas y la forma de la resistencia que se puede utilizar, se propone utilizar la de 315 W, que generaría un calentamiento adecuado sobre el barril.

Standard models:

Ø Int. x ancho mm <i>Inside Ø x wide</i>	W - 230V
40 x 30	200
40 x 35	235
40 x 40	250
45 x 25	150
45 x 30	200
50 x 30	225
50 x 40	300
50 x 50	315
55 x 30	250
60 x 30	270

Figura 21. Esquema de modelo de Resistencia tipo abrazadera que se puede utilizar.

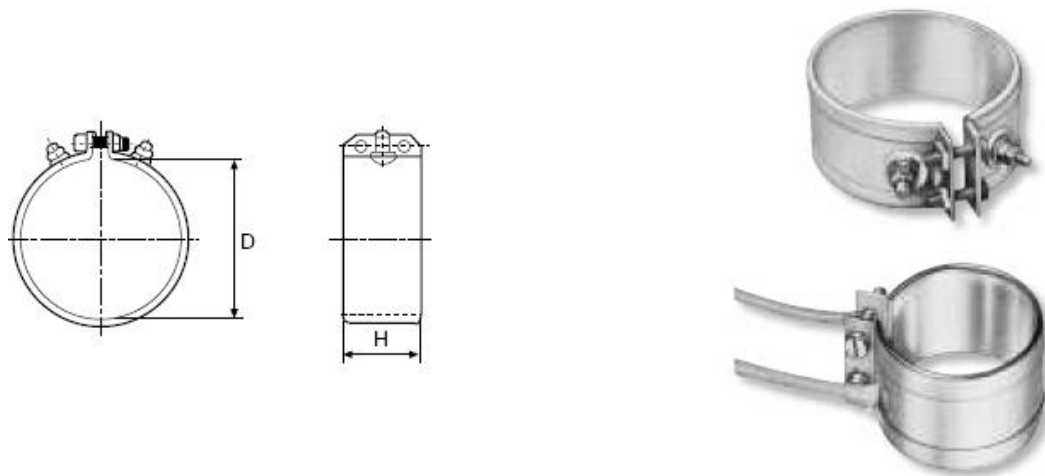


Figura 21. Esquema de modelo de Resistencia tipo abrazadera que se puede utilizar. (Continuación)

4.6 SELECCIÓN DE LAS TERMOCUPLAS

Para la selección de la termocupla se recomienda utilizar la Tipo J (Fe - CuNi) conocida como la termocupla hierro - constantán. El hierro es el conductor positivo, mientras que para el conductor negativo se recurre a una aleación de 55 % de cobre y 45 % de níquel (constantán).

Las termocuplas Tipo J resultan satisfactorias para uso continuo en atmósferas oxidantes, reductoras e inertes y en vacío hasta 760 °C. Por encima de 540 °C, el alambre de hierro se oxida rápidamente, requiriéndose entonces alambre de mayor diámetro para extender su vida en servicio. La ventaja fundamental de la termocupla Tipo J es su bajo costo.

Las siguientes limitaciones se aplican al uso de las termocuplas Tipo J, pero como se verá, ninguna aplica al proceso de extrusión:

- No se deben usar en atmósferas sulfurosas por encima de 540 °C.
- A causa de la oxidación y fragilidad potencial, no se las recomienda para temperaturas inferiores a 0 °C.
- No deben someterse a ciclos por encima de 760 °C, aún durante cortos períodos de tiempo, si en algún momento posterior llegaran a necesitarse lecturas exactas por debajo de esa temperatura.
- El constantán utilizado para termocuplas Tipo J no es intercambiable con el constantán de las termocuplas Tipo T y Tipo E, ya que el constantán es el nombre genérico de aleaciones cobre-níquel con un contenido de cobre entre 45% y 60%. Los fabricantes de las termocuplas Tipo J regulan la composición del conductor de cobre-níquel de manera que la fem de salida de la termocupla siga la curva de calibración publicada. Los elementos fabricados por las distintas empresas, con frecuencia no son intercambiables para el mismo tipo de termocupla; en la **Tabla 1**. Se puede apreciar la composición y rango de las termocuplas tipo J.

Tabla 1. Composición, rango de temperaturas, diámetros de alambre apropiado y fuerzas electromotrices (fem) correspondientes a termocuplas tipo J.

Tipo	Denominación	Composición y símbolo	Rango de temperaturas (en °C)	Diámetro del alambre apropiado	F.e.m. en mV
J	Hierro vs. constantán	Fe - CuNi	-200 700 (900)	1 mm – 3 mm	-7.89 39,130 (51,875)
			-200 600 (800)		-7.89 .33,096 (45,498)

4.7 CONTROL DEL CALENTAMIENTO.

La refrigeración es necesaria para bajar la temperatura en el barril y evitar la degradación del polímero; para realizar el control del calentamiento se recomienda utilizar, blowers de aire, que son ventiladores, que inyectan aire a las resistencias logrando un enfriamiento progresivo, y controlado; de acuerdo con los cálculos realizados para las resistencias que permiten el calentamiento, se buscó en catálogos la mejor opción y se encontró que:

Vienen con un potencial nominal de entre 250W – 1500W, para el caso de cubrir la necesidad requerida solo se necesitaría contar con tres de 250 W, equidistantes a través del barril, y soportados sobre la estructura, para que permitan un espacio de entrada del aire y poder realizar el control de la temperatura eficientemente.

4.8 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE LA MAQUINA

Para el diseño de la estructura de la máquina, se debe tener en cuenta que esta soporta todo el peso de la máquina y por tanto debe tener la rigidez adecuada.

Para este caso se define realizar la estructura sobre una base completa, la cual debe ser plana, se recomienda colocarla sobre rodachines que permitan su desplazamiento y ubicación al interior de la planta.

Se utilizara acero A-36 el cual posee propiedades mecánicas y de soldabilidad adecuadas para este tipo de estructura, tiene una densidad de 7850 kg/m^3 (0.28 lb/in^3). Un límite de fluencia mínimo de 250 MPa (36 ksi), y un límite de rotura mínimo de 410 MPa (58 ksi). Su presentación en el mercado es de láminas y perfiles.

Se plantea una estructura conjunta soldada, que de mayor rigidez, como se puede ver en la **Figura 22**, se añaden unos rodachines para permitir su desplazamiento y fácil ubicación, además se deja el centro totalmente descubierto para permitir la ventilación y evitar que el calor se concentre en esta área por ser el sitio donde están ubicados los tres blowers de aire, se coloca una cubierta que de rigidez y aislé el sistema de transmisión de potencia del motor al reductor, y del reductor al tornillo.

La parte superior debe ser plana para que soporte el barril, con un soporte de apoyo en el extremo del tornillo, y un cojinete que ayude a dar rigidez al tornillo. De acuerdo al tipo de blower que se compre se debe abrir tres agujeros sobre la base de la lámina superior para permitir la entrada de aire que ayudara a refrigerar, estos no se colocan en el plano por que se deben probar sobre la estructura para que queden precisos, además deben ir sujetos a la base

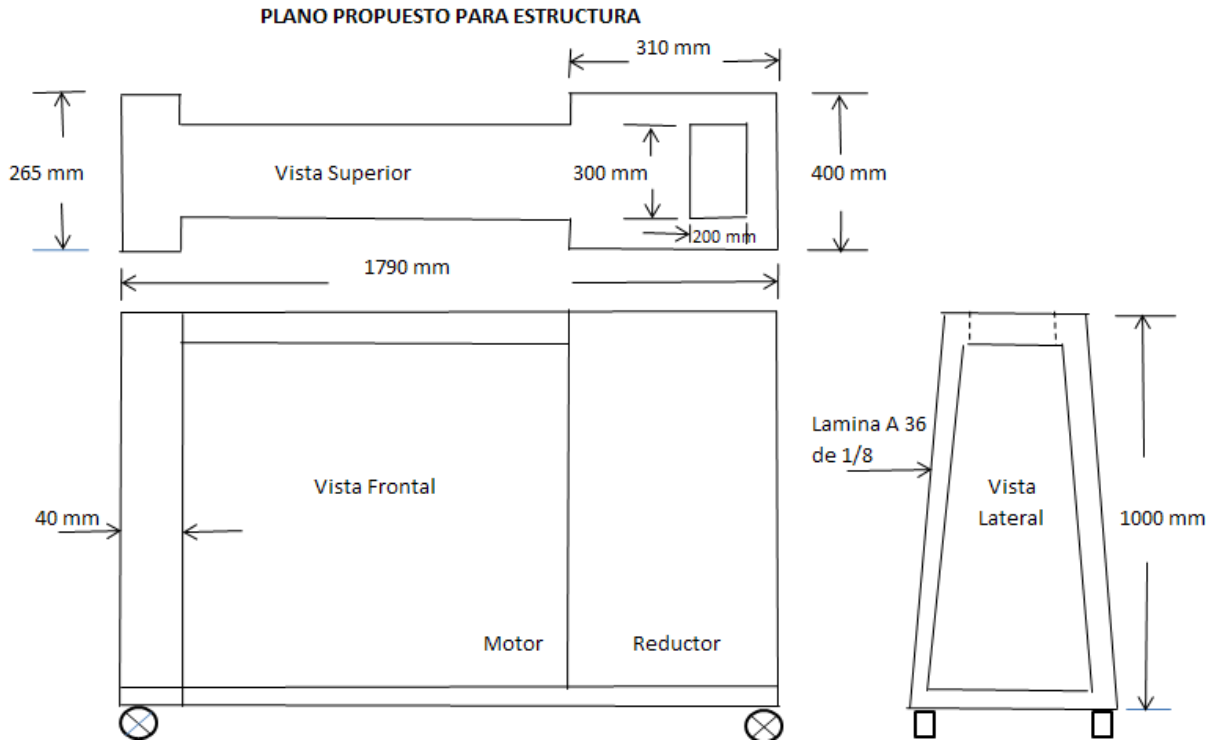


Figura 22. Plano propuesto para la estructura de la maquina extrusora.

5 FICHA TECNICA Y ESPECIFICACIONES DE LA MAQUINA EXTRUSURA

50:25

- Camisa y tornillo (4140 HT) de 50 mm.
- Relación L: D 25: 1
- Relación de Compresión 25:1
- Motor R.P.M. 15 H.P.
- Calibración por Cámara De Vacío (0 – 15 milibares)
- Zonas de Calefacción 5 (150 °C – 310 °C)
- Variadores de Velocidad marca Yaskawa con un proceso totalmente electrónico cada unidad lo tiene (4)
- Tablero de control totalmente automatizado y electrónico
- Blowers para control de temperatura (3)
- Unidad de enfriamiento de 4,8 m. de longitud en acero inoxidable
- Chiller de 5 H.P. con tanque en acero inoxidable
- Unidad de arrastre y de corte modular automatizada para diversos tipos de perfiles de corte
- Unidad de enderezado del alambre con su variador de velocidad
- Moto reductor para el Eyector Plástico.
- Cabezales en acero inoxidable diseñados para los productos
- Molde en acero especial de 32 cavidades para la tapa del eyector
- Tolva en acero inoxidable
- Bomba de vacío (0 – 15 milibares)

6 COSTOS DE LA EXTRUSORA DESARROLLADA

- Extrusora de 50 mm con todos sus implementos, tornillo, camisa, motor de 15 H.P; resistencias, caja reductora, cadena de transmisión, tolva de acero inoxidable con tapa, base en material de alta resistencia, con rodachines, blowers para control de temperaturas.

\$ 40.000.000

- Tablero de control electrónico \$ 15.000.000
- Chiller de 5 toneladas. \$ 10.000.000
- Cámara de vacío \$ 2.000.000
- Canales de enfriamiento con rodachines \$ 4.000.000
- Unidad de corte y arrastre con su base \$ 12.000.000
- Cabezal para el palito plástico \$ 6.000.000

Costo Total de la inversión para el proyecto: \$ 89'.000.000

Plastik además a partir de esta extrusora desarrollo la producción de la malla plástica, para empacar flores y frutas:

- Tanque de enfriamiento para la malla \$ 15.000.000
- Unidad de transmisión para cabezal malla \$ 10.000.000
- Boquillas para la malla (6) a \$ 1.800.000 c/u \$ 10.000.000
- Canales de enfriamiento con rodachines \$ 4.000.000
- Unidad de corte y arrastre con su base \$ 12.000.000
- Cabezal para la malla \$ 6.000.000

Costo Total de inversión para aprovechar

el diseño de la extrusora: \$ 57'.000.000

7 CONCLUSIONES

- 1.0** Los datos obtenidos, cumplen con los objetivos planteados por la empresa Plastik de occidente, la extrusora tiene una relación 50:25, y puede producir 800.000 palitos de bon bon bum al día.
- 2.0** El diseño, realizado a partir de formulas empíricas es simple, y e mucha confiabilidad.
- 3.0** Los materiales para la construcción de la extrusora se encuentran fácilmente en el mercado nacional, por lo tanto Plastik de occidente puede realizar su fabricación sin inconvenientes
- 4.0** La maquina a partir de su diseño y el ángulo utilizado para el extrusor de 17.7° permite que pueda ser utilizada con otros materiales como el polietileno, y el poliestireno, y con la posibilidad de hacer una pequeña modificación en el cabezal de la extrusora, para producir elementos como la malla de las flores.
- 5.0** Las piezas con las cuales disponía plastik, como el motor, el reductor, el material para la tolva, fueron utilizadas eficazmente en el diseño de la extrusora.
- 6.0** El diseño ha demostrado ser muy eficiente al punto que la empresa invirtió \$ 57.000.000 en la adaptación del cabezal para producir la malla para empacar flores, frutas, y esta produciendo estos productos.

8 BIBLIOGRAFIA

1. NARANJO C. Alberto et al. Extrusion processing data. Cincinnati, E.E.U.U. : Hanser, 2001. 128 p. (Plastics Pocket
2. Desarrollo en extrusión y soplado de termoplásticos. Seminario para expertos en procesos plásticos industriales. Bogotá – Colombia. 1979. Centro de información tecnología SENA – ASTIN.Cali. p 1 – 19.
3. NORIEGA, María del Pilar et al. Curso de introducción a la extrusión de termoplásticos. Medellín, Colombia: ICIPC, 1996. 120 p.
4. Tesis, diseño y automatización de una maquina extrusora para reciclaje de plástico. Jorge Andrés Cortez Muñoz, universidad Autónoma de Occidente. 2008. 73 p. Cali – Valle del Cauca
5. Tesis diseño de una extrusora para plásticos. Jimmy J. Gomez/ Jorge E. Gutiérrez B. Universidad Tecnológica de Pereira. 2007. 121 p. Pereira – Risaralda
6. Tesis rehabilitación, Operación y Mantenimiento de una Extrusora de Compuestos de Polímeros. Juan Luis Ferret campoverde. Escuela superior Politécnica del Litoral 2008. 131 p. Guayaquil – Ecuador.
7. Disponible en internet:
<http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf> consultada el 10 -08-2010.
8. Disponible en internet
http://es.wikiversity.org/wiki/Principios_del_procesado_de_los_pol%C3%ADmeros._Procesados_de_pol%C3%ADmeros consultada el 10 - 08 - 2010.

9 ANEXOS



FOTO 1. EXTRUSORA ARMADA



FOTO 2. ENSAMBLE DEL REDUCTOR Y DEL MOTOR



FOTO 3. REDUCTOR Y CADENA DE TRANSMISIÓN

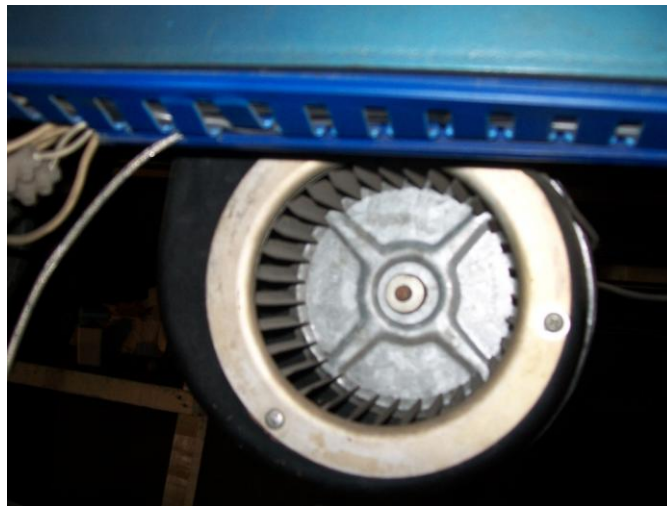


FOTO 4. BLOWERS DE AIRE



FOTO 5. RESISTENCIAS



FOTO 6. TABLERO DE CONTROL