



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**TEMA:**

**“SISTEMA DE MOLDEO A INYECCIÓN ESTILO LINEAL  
PARA UNA EXTRUSORA DE PLÁSTICO RECICLADO”.**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN  
MECATRÓNICA**

**AUTOR: ALEXIS EDUARDO NAVARRETE SILVA**

**DIRECTOR: ING. CARLOS VILLARREAL**

**Ibarra, Junio del 2013**



## UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE

### CERTIFICADO

Una vez revisado el CD, con el trabajo de grado del Egresado: Navarrete Silva Alexis Eduardo, con el tema del proyecto de titulación: "SISTEMA DE MOLDEO A INYECCIÓN ESTILO LINEAL PARA UNA EXTRUSORA DE PLÁSTICO RECICLADO". El CD funciona en su totalidad.

#### CONTENIDO

Estructura del CD para entregar:

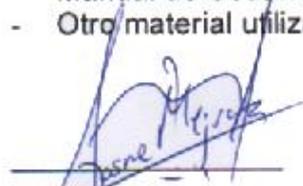
REALIZAR UN EJECUTABLE DE INICIO (EN FLASH O EN HTML) QUE CONTENGA ENLACE DIRECTOS.

#### CONTENIDO

Estructura del CD para entregar:

REALIZAR UN EJECUTABLE DE INICIO (EN FLASH O EN HTML) QUE CONTENGAN LOS ENLACES DIRECTOS A:

- Documentación de la tesis en Word y pdf.
- Artículo científico – revisado por el director de tesis
- Resumen ejecutivo español
- Resumen ejecutivo ingles
- Anexos
- Software
- Código Fuente
- Instaladores
- Librerías
- Ejecutable
- Manual técnico
- Manual de Usuario
- Otro material utilizable en la investigación y desarrollo del proyecto.



---

Ing. Cosme Mejia



---

Ing. Diego Terán



---

Ing. Zamir Mera



## CERTIFICACIÓN

En calidad de Director del Trabajo de Grado, presentado por el señor ALEXIS EDUARDO NAVARRETE SILVA. Para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica, certifico que dicho trabajo realizado bajo mi supervisión.

---

ING. CARLOS VILLARREAL  
DIRECTOR

CI:

## CERTIFICACIÓN

Otavalo, 08 de Julio de 2013

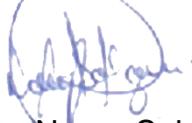
Señores  
UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE  
Presente

De mis consideraciones

Siendo auspiciantes del proyecto de tesis el egresado NAVARRERE SILVA ALEXIS EDUARDO, con cédula de identidad 100326219-1, quien desarrolló su trabajo con el tema: **“SISTEMA DE MOLDEO A INYECCIÓN ESTILO LINEAL PARA UNA EXTRUSORA DE PLÁSTICO RECICLADO”**, me es grato informar que se han superado con satisfacción las pruebas técnicas y la revisión de cumplimiento de los requerimientos funcionales, por lo que se recibe el proyecto como culminado. Una vez que hemos recibido la capacitación y documentación respectiva, nos comprometemos a continuar utilizando el mencionado aplicativo en beneficio de nuestra empresa.

El egresado NAVARRETE SILVA ALEXIS EDUARDO puede hacer uso de este documento para los fines pertinentes en la Universidad Técnica del Norte.

Atentamente



Lic. Nancy Salazar  
Tec. Relleno Sanitario



# GOBIERNO MUNICIPAL DE OTAVALO

Otavaló, 12 abril del 2011  
2011- 17 - DSHGA

Señor  
Mario Conejo Meltonado  
ALCALDE DE OTAVALO  
Presente.-

*12/04/11  
Administración  
Plan de inversión*

De mi consideración:

Como es de su conocimiento el Cantón Otavalo cuenta con un relleno sanitario para el tratamiento de los desechos sólidos como destino final, sitio que se le ha convertido en un centro de educación y capacitación para todo los otavaleños, es así que la Jefatura de Desechos Sólidos ha planificado la instalación de una planta recicladora de plástico para lo cual se realizó las reuniones con la Universidad técnica del Norte para que estudiantes de la facultad de MECATRONICA presenten un proyecto con este tema el mismo que fue presentado por dos estudiantes otavaleños, el mismo tiene un monto aproximado de 18.000 USD.

Por lo expuesto solicito de la manera más comedida se digno autorizar a quien corresponda emitir partida presupuestaria para inicio de proceso de adquisición de una planta de reciclaje mecánico de plástico, recursos que serán utilizados de la partida N° 75.0000 OBRAS PUBLICAS 75.0000 -Obras de infraestructura 7501 - Centro de acopio y reciclaje de desechos inorgánicos 0003

Particular que solicito para los fines pertinentes.

Atentamente,

*[Firma]*  
Dra. Giga Farinango L.  
DIRECTORA DE HIGIENE S.G.A.



Nota: adjunto proyecto



REPÚBLICA DEL ECUADOR  
GOBIERNO MUNICIPAL RIQUINZA  
DIRECCIÓN FINANCIERA

PROCESO ADMINISTRATIVO

**CERTIFICACIÓN DE PARTIDA No. 080 - DFIN - 2.011**

**PARA:** DIRECTORA DE HIGIENE, SALUD Y GESTIÓN AMBIENTAL.  
**DE:** DIRECTORA FINANCIERA  
**ASUNTO:** Partida Presupuestaria Memorando No. 2011-024-DHSGA  
**FECHA:** 14 de abril del 2011

En atención a Memorando No. 2011-24-DHSGA del 12 de abril y considerando autorización del señor Alcalde en Oficio No. 2011-17-DHSGA del 12 del presente, en calidad de Directora Financiera, **CERTIFICO:** que existe disponibilidad económica y presupuestaria para el inicio de procesos de subasta inversa electrónica para la **ADQUISICIÓN DE UNA PLANTA DE RECICLAJE MECÁNICO DE PLÁSTICO**, según presupuesto referencial de dieciséis mil dólares más IVA (\$16.000,00).

Esta adquisición se realizará con cargo a la Partida Presupuestaria No. B300.320.840104.002.0.32.04 "Máquinas y Equipos - Centro de Acopio y Reciclaje de Residuos Inorgánicos", a ser financiada mediante traspaso de la partida presupuestaria No. B300.320.750199.003.0.32.04 "Centro de Acopio y Reciclaje Residuos Inorgánicos" del Programa Higiene Ambiental.

Particular que certifico para los fines pertinentes

Atentamente,

  
María Andrade Parra  
**DIRECTORA**

Anexos:  
c: RDC, DFIN

MAP:  
2011-04-14



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA**  
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

La universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determino la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	100326219		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Navarrete Silva Alexis Eduardo		
<b>DIRECCIÓN:</b>	2 de Marzo 7-20 y Galo Plaza		
<b>EMAIL:</b>	alexldu3@yahoo.com		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	(06)2 908555	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0995483607

<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
TÍTULO:	“SISTEMA DE MOLDEO A INYECCIÓN ESTILO LINEAL PARA UNA EXTRUSORA DE PLÁSTICO RECICLADO”
AUTOR:	Alexis Eduardo Navarrete Silva
FECHA: AAAAMMDD	2013-06-27
PROGRAMA:	PREGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería en Mecatrónica
DIRECTOR:	Ing. Carlos Villarreal

## **2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD.**

Yo, Alexis Eduardo Navarrete Silva, con cédula de identidad Nro. 100326219-1, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

### **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.**

Yo, Navarrete Silva Alexis Eduardo, con cedula de identidad Nro. 1003262191, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4,5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado: “SISTEMA DE MOLDEO A INYECCIÓN ESTILO LINEAL PARA UNA EXTRUSORA DE PLÁSTICO RECICLADO” que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERO MECATRONICO en la Universidad Técnica Del Norte, quedando la Universidad Facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

---

Alexis Eduardo Navarrete Silva

C.I.: 100326219-1

Ibarra, a los 27 días del mes de junio de 2013



## CONSTANCIA

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá a defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 27 días del mes de Junio de 2013

**EL AUTOR.**

---

Alexis Eduardo Navarrete Silva

C.I.: 100326219-1



## DECLARACIÓN

Yo, ALEXIS EDUARDO NAVARRET SILVA, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y certifico a la verdad de las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Alexis Eduardo Navarrete Silva', written over a horizontal line.

ALEXIS EDUARDO NAVARRETE SILVA

## **AGRADECIMIENTO**

El presente proyecto va dedicado a mis padres quienes con amor incondicional me han guiado por caminos de bienestar y sabiduría con su ejemplo, siendo mi apoyo en los momentos más difíciles. Además de brindarme la confianza que se necesita para poder alcanzar mi meta de ser profesional.

Especial reconocimiento al Ing. Carlos Villarreal por su apoyo y guía en el desarrollo del presente trabajo.

A la Ing. Soledad Arias, por su impulso y conocimientos compartidos hacia la idea del desarrollo ecológico y sustentable.

A la Universidad Técnica del Norte. La Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas y de manera especial al personal docente quienes me ilustraron con sus conocimientos, siempre útiles en la vida profesional.

Al GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTÓN OTAVALO (Alcalde: Mario Conejo Maldonado), junto a la Jefatura de Desechos Sólidos (Dr. Olga Farinango, Lic. Nancy Salazar, Lic. Meri, Lic. Angel) de la misma por haber apoyado a la ejecución del proyecto.

Alexis N.

## **DEDICATORIA**

A:

Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mi madre Irene Silva, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mi padre Patricio Navarrete, por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundido siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

A mi esposa Karen mi hijo Mattius por estar en los momento más difíciles dándome ánimo y apoyándome.

A mis hermanos, Marjorie e Israel por estar conmigo y apoyarme siempre, los quiero mucho.

A mi amigo Leonel, por lo que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional y hasta ahora, seguimos siendo amigos.

Alexis N.

# **SISTEMA DE MOLDEO A INYECCIÓN ESTILO LINEAL PARA UNA EXTRUSORA DE PLÁSTICO RECICLADO**

Autor: Alexis Navarrete

Tutor: Ing. Carlos Villareal

Año: 2013

## **RESUMEN**

El trabajo detallado, se parte de tres significados; recicla, reduce y reutiliza, con la necesidad de dar solución a los problemas de la contaminación ambiental, se construyó por medio de la tecnología aplicada a procesos productivos y el uso adecuado de los recursos, por el cual se contribuirá al mejoramiento de la calidad de vida de la población y a la conservación del ecosistema.

El objetivo de este sistema es reutilizar el plástico reciclado mediante un sistema de moldeo a inyección estilo lineal para una extrusora de plástico reciclable que tenga un óptimo enfriamiento por medio de agua. Para el cumplimiento de este objetivo, se ha desarrollado principalmente la selección de los sistemas complementarios más óptimos para la exigencia de la producción, seguido por la incorporación de un sistema automático para controlar el nivel de agua en el sistema de enfriamiento, evaluando y controlando la temperatura del producto, tomando en cuenta que el espesor del producto se puede variar por un sistema adicional de halador controlando la velocidad.

Para no desperdiciar ningún recurso se desarrolló un sistema de lazo cerrado utilizando una torre de enfriamiento para que recircule el agua dependiendo el nivel que se encuentre en la tina. De esta manera se consigue efectivizar el proceso y la producción deseada en óptimas condiciones.

# **SYSTEM OF MOLDING TO INJECTION LINEAL STYLE FOR AN EXTRUDER OF RECYCLED PLASTIC**

Author: Alexis Navarrete

Tutor: Engineer Carlos Villarreal

Year: 2013

## **SUMMARY**

The detailed work makes three meanings, recycle, reduce and reuse, the need for resolving the problems of environmental pollution, was built by the technology applied to production processes and the proper use of resources, by which will contribute to improving the quality of life of the population and ecosystem conservation.

The objective of this system is reused as recycled plastic by injection molding system for a linear fashion recyclable plastic extruder having optimum cooling by water. To fulfill this objective, it has mainly the selection of more optimal complementary systems requiring production, followed by incorporation of an automatic system for controlling the water level in the cooling system, evaluating and controlling product temperature, taking into account the thickness of the product can be varied by an additional system of controlling the speed inhaler.

To not waste any resources we developed a closed loop system using a cooling tower to recirculate water depending on the level you are in the tub. This will get effectuate the desired production process and in top condition

## **PRESENTACIÓN**

El proyecto de Sistema de modelado a inyección estilo lineal para una extrusora de plástico reciclado para el Gobierno Autónomo Descentralizado de Otavalo y está ubicado en el relleno, sanitario de Carabuela, está estructurado en ocho capítulos: Marco teórico, diseño y construcción sistema de moldeo estilo lineal, construcción e instalación, cálculos simulación y pruebas, análisis socio económico, conclusiones y recomendaciones, bibliografía, anexos.

En el primer capítulo se realiza una investigación de la materia prima que se va emplear en el sistema ya que esta materia es reciclada tiene que cumplir con los requerimientos de la máquina información necesaria para elaboración del proyecto.

El según capítulo se diseña y selecciona los distintos sistemas que se compone, detallando los parámetros utilizados y requerimientos necesarios para el funcionamiento.

El tercer capítulo construye y se instala los distintos sistemas escogidos en el capítulo anterior tomando en cuenta las prioridades de cada uno de estos sistemas.

El cuarto capítulo se analiza los resultados obtenidos de la implementación de los sistemas empleados obteniendo un producto terminado de buena calidad.

El quinto capítulo se realiza un estudio económico, para lo cual se calculan los costos y gastos intervinientes en la construcción del sistema, para establecer la rentabilidad del proyecto y expectativas futuras.

El sexto capítulo, se detallan las conclusiones y recomendaciones.

El séptimo capítulo se detalla la fuente de la investigación realiza en los distintos sistemas o procesos.

El octavo capítulo, anexos.

## INDICE GENERAL

### CONTENIDO

Portada.....	i
Certificado.....	ii
Certificación.....	iii
Auspiciantes.....	iv
Autorización de uso y publicación.....	vii
Cesión de derechos de autor.....	viii
Constancia.....	ix
Declaración.....	x
Agradecimiento.....	xi
Dedicatoria.....	xii
Resumen.....	xiii
Summary.....	xiv
Presentación.....	xv
Índice General.....	xvi

### CAPITULO I: MARCO TEÓRICO

	Pag.
1.1 Aspectos fundamentales de los plásticos.	1
1.1.1 Propiedades de los plásticos.	3
1.1.1.1 Propiedades comparativas.	3
1.1.1.2 Ventajas y desventajas.	4
1.1.1.3 Propiedades físicas.	5
1.1.1.4 Propiedades químicas.	7
1.1.1.5 Reconocimiento e identificación.	9
1.1.2 Clasificación de los plásticos.	15
1.1.2.1 Según su origen.	15
1.1.2.2 Según sus propiedades.	15
1.1.2.3 Según la familia química a la que pertenece.	18
1.1.3 Resistencia mecánica y deformaciones.	19
1.1.3.1 Propiedades mecánicas.	19
1.1.3.2 Resistencia a la tracción y elongación de rotura.	20
1.1.3.3 Curva tensión deformación.	22
1.1.3.4 Resistencia a la abrasión.	26
1.1.3.5 Resistencia a la compresión.	27
1.1.3.6 Dureza.	28

1.1.3.7	Instrumentos para los plásticos blandos o flexibles.	30
1.2	Método de moldeo.	31
1.2.1	Aspectos fundamentales en la construcción de moldes.	31
1.2.2	Clasificación de moldes a inyección.	34
1.2.3	Clasificación de coladas y entradas.	36
1.2.3.1	Sistemas de colada fría.	36
1.2.3.2	Colada cónica con o sin barra.	37
1.2.3.3	Entrada puntiforme (o capilar).	37
1.2.3.4	Colada de paraguas.	38
1.2.3.5	Colada de disco.	39
1.2.3.6	Entrada laminar o de cinta.	39
1.2.3.7	Entrada de túnel o submarina.	40
1.2.4	Moldes en canal caliente.	41
1.2.5	Moldes de inyección simple.	44
1.2.5.1	Tuberías.	44
1.2.6	Descripción de molde en línea.	45
1.2.6.1	Cabezal.	46
1.2.7	Alternativas de diseño.	50
1.2.8	Facilidad de construcción.	51
1.2.9	Facilidad de montaje.	51
1.2.10	Dimensiones y cavidades del molde.	53
1.2.10.1	Deformación elástica del molde.	54
1.2.10.2	Contracciones.	55
1.2.10.3	Rugosidad, aspecto externo de la pieza.	56
1.3	Sistemas que componen los moldes de inyección.	56
1.3.1	Sistema de alimentación.	56
1.3.2	Orientación molecular	57
1.3.3	Líneas de soldadura.	58
1.3.4	Bebedero.	60
1.3.5	Canales de alimentación.	62
1.3.5.1	Tipo de canales.	62
1.4	Sistemas de control.	63
1.4.1	Clasificación de los sistemas de control según su comportamiento	64
1.4.1.1	Sistema de control de lazo abierto.	64
1.4.1.2	Sistema de control de lazo cerrado.	65
1.4.2	Características de un sistema de control.	66
1.5	Funcionamiento del variador de frecuencia.	67
1.6	Descripción del variador de frecuencia.	68
1.6.1	Descripción del vfd.	69
1.6.1.1	Motor del vfd.	69
1.6.1.2	Controlador del vfd.	70
1.7	Trasferencia de calor	70
1.7.1	Tipos de transferencia de calor.	71
1.7.1.1	Conducción.	71
1.7.1.2	Convección.	72
1.7.1.3	Radiación	74
1.7.2	Conductividad térmica.	74
1.7.3	Transferencia de calor en ebullición	75

1.7.4 Intercambiadores de calor	76
1.7.5 Aislamiento y barreras	78

## **CAPITULO II: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN “SISTEMA DE MOLDEO ESTILO LINEAL”**

2.1 Selección de alternativas de los diferentes sistemas que conforman este sistema de moldeo.	81
2.1.1 Instalaciones de extrusión para la fabricación de gránulos y artículos perfilados.	81
2.1.2 Instalaciones para la fabricación de láminas.	83
2.1.3 Instalaciones para la extrusión de tubos, artículos perfilados y aplicación de envoltura aislante a alambre y cables.	91
2.1.3.1 Selección de modelado para extrusora partiendo de producción	93
2.1.4 Reservorio y tina de enfriamiento.	96
2.1.4.1 Análisis en el contenedor (1 Reservorio)	96
2.1.4.2 Análisis en el contenedor (2 Tina enfriamiento)	97
2.1.4.2.1 Conducción de camisa de enfriamiento	98
2.1.4.2.2 Influencia de la temperatura y la presión en k	100
2.1.4.2.3 Convección de camisa de enfriamiento.	100
2.1.4.2.4 Balance de calor en la tina de enfriamiento.	108
2.1.4.2.5 Calor transferido por la placa de plástico (convección).	114
2.1.4.2.6 Especificaciones de tina de enfriamiento para construcción.	117
2.1.5 Halador.	117
2.1.5.1 Halador de tubo y cortadora.	117
2.1.5.2 Halador de tubo.	118
2.1.5.3 Cortador de tubo.	119
2.1.5.4 Selección de halador partiendo de la producción.	125
2.1.6 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	127
2.1.6.1 Generalidades de sistemas de enfriamiento por cambio de fase con transferencia de masa.	127
2.1.6.2 Partes de una torre de enfriamiento.	133
2.1.7 Distribuidor de agua de entrada a la torre.	136
2.1.7.1 Distribuidores por flujo gravitatorio	136
2.1.7.2 Distribución de agua por presión	137
2.1.7.3 Separadores de gotas	137
2.1.7.4 Lumbreras de admisión de aire	138
2.1.7.5 Tipos de rellenos.	138
2.1.7.6 Relleno dentro de las bandejas de la torre de enfriamiento	143
2.2 Características de los diferentes sistemas que conforman el sistema de moldeo línea seleccionado.	144
2.2.1 Características del sistema de moldeo seleccionado	144
2.2.2 Características de la tina de enfriamiento.	145
2.2.3 Características del halador de la tubería.	146
Dimensionamiento de la torre de enfriamiento	147
2.2.4.1 Ecuación característica para rellenos de salpicadura.	147
2.2.4.2 Ecuación característica para rellenos de película.	148

2.2.4.3 Teoría para el cálculo de las torres de enfriamiento con agua.	149
2.2.4.4 Diseño de una torre de enfriamiento de agua mediante el uso de coeficientes de transferencia de masa de película.	155
2.2.4.5 Diseño de una torre de enfriamiento de agua utilizando los coeficientes globales de transferencia de masa.	157

### **CAPITULO III: CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN**

3.1 Construcción.	161
3.1.1 Instalación del sistema de moldeo.	161
3.1.2 Construcción de la tina de enfriamiento.	163
3.1.3 Instalación del sistema de halador de tubería.	165
3.1.4 Dimensionamiento de la torre de enfriamiento.	168
3.2 Diseño eléctrico.	169
3.2.1 Sistema de arrastre de la tubería	169
3.2.1.1 Circuito y simulación.	169
3.2.1.2 Selección del motor y variador de frecuencia	170
3.2.2 Sistema de nivel de tina de enfriamiento	171
3.2.2.1 Circuito y simulación	171

### **CAPITULO IV: CALCULOS, SIMULACION Y PRUEBAS**

4.1 Prueba del moldeo estilo lineal	173
4.1.1 Cálculos de producción del flujo de granza.	173
4.1.2 Cálculo de temperatura de la gransa derretida.	176
4.2 Cálculos de la camisa de enfriamiento.	180
4.3 Cálculos de la torre de enfriamiento.	190
4.3.1 Diseño de una torre de enfriamiento de agua empleando coeficientes de película.	190

### **CAPITULO V: ANALISIS SOCIO ECONOMICO**

5.1 Adecuación de información contable para dar un análisis de la rentabilidad.	195
5.1.1 Parámetros de ingresos.	195
5.1.2 Producción anual.	196
5.1.3 Ingreso anual	196
5.1.4 Costo de materia prima	196
5.1.5 Flujo de caja	197
5.1.6 Tasa de descuento	197
5.2 Relación beneficio costo	198

### **CAPITULO VI: CONCLUSIONES RECOMENDACIONES.**

6.1 Conclusiones	201
6.2 Recomendaciones	202

## **CAPITULO VII: BIBLIOGRAFÍA**

7.1 Páginas web.	205
7.2 Libros.	205

## **CAPITULOS VIII: ANEXOS**

A1. Fotos de proceso de instalación y construcción	207
A2. Planos eléctricos	216
A3. Planos mecánicos	217
A4. Planos de obra civil	218

## **INDICE DE FIGURAS, GRAFICOS, ECUACIONES Y TABLAS**

### **FIGURAS Y GRAFICOS**

	<b>Pág.</b>
1. Aplicación de los plásticos y diversos usos	1
2. Los materiales de Ingeniería	2
3. Códigos de identificación de plástico dado por la sociedad de industrias plásticas.	10
4. Estructura de los termoplásticos	16
5. Estructura de los Termoestables.	17
6. Estructura de los Elastómeros	17
7. Los tres tipos de tensión	20
8. Dispositivo para ensayo de tracción (probeta y mordazas).	21
9. Máquina para ensayo de tracción	21
10. Probeta normalizada.	22
11. Zonas de curva de tensión deformación	23
12. Evolución de las probetas rectangulares durante el ensayo de tracción (la zona central es la que soporta mayor deformación y por esa zona se romperá).	23
13. Curvas de tensión deformación para distintas clases de plástico	25
14. Abrasímetro.	26
15. Dispositivos para ensayo de compresión	27
16. Instrumento portátil de medición rápida cauchos y plásticos blandos y duros.	30
17. $a$ = ángulo de desmoldeo, $s$ = espesor de pared. $d$ = colada cónica (diámetro), $d \geq s$ , $d \geq 0,5$	37
18. Entrada puntiforme $d \leq 2/3 s$	38
19. Colada de paraguas.	38
20. Colada de disco	39
21. Entrada de cinta preferentemente para piezas de gran superficie.	40
22. Entrada de túnel (o submarina)	40
23. Equipo para extrusión de perfiles.	44

24. Cabezal con boquilla circular de extrusión.	45
25. Cabezal del extrusor.	46
26. Dilatación de un polímero en el dado de extrusión	47
27. Sección de matriz y de producto.	48
28. Cabezal de extrusión de perfiles huecos (tuberías)	49
29. Plato rompedor y Paquete de Mallas	52
30. Esquema de un torpedo de un cabezal de extrusión de película tubular	53
31. Sistema de alimentación a inyección.	56
32. Orientación de la influencia por el peso molecular.	57
33. <b>(a)</b> La división de los flujos de llenado debido a la geometría de la pieza. <b>(b)</b> La alimentación por diferentes puntos de inyección.	58
34. Del ángulo de soldadura es mayor de 120° a 150°	59
35. Líneas de soldadura forman por la división del flujo	60
36. Molde con comportamiento térmico.	60
37. Diseño del Molde.	61
38. <b>(a)</b> Unión plana y cónica. <b>(b)</b> Unión esférica	61
39. Circuito de un Variador de Frecuencia.	67
40. Modulación de ancho de pulsos.	68
41. Diagrama de un sistema VFD.	69
42. Sección de un intercambiador de calor de tipo haz tubular	76
43. <b>(a)</b> Instalación de extrusión para la granulación de materiales termoplásticos: el alambre o varilla se corta en gránulos directamente en la rejilla.	82
44. <b>a)</b> Instalación de extrusión para la granulación de materiales termoplásticos: el alambre o varilla se corta en gránulos después de un enfriamiento previo.	83
45. <b>(a)</b> Instalación para fabricar láminas de material termoplástico (a)- lisa.	84
46. <b>(b)</b> Instalación para fabricar láminas de material termoplástico (b)- con ondulación longitudinal.	84
47. <b>(c)</b> Instalación para fabricar láminas de material termoplástico (c) - con ondulación transversa.	85
48. <b>(a)</b> Dispositivo para regular el huelgo en la hilera de cabezales planos; (a)- con mordaza flexible.	86
49. <b>(b)</b> Dispositivo para regular el huelgo en la hilera de cabezales planos: (b)- con mordaza flexible y cuña intermedia.	87
50. <b>(a)</b> Cabezal plano para extrusionar: laminas con recubrimiento.	88
51. <b>(b)</b> Cabezal plano para extrusionar: láminas de dos colores (capas)	89
52. Cabezal plano de husillo.	90

53. Instalación para extrusionar tubos de material termoplástico con husillo de 60mm de diámetro.	91
54. Hilera calibradora para extrusión de tubos.	92
55. <b>(a)</b> Dispositivos auxiliares para la fabricación de tubos acoplado a la máquina para calibrar, refrigerar y estirar el tubo.	93
56. Tina de enfriamiento con sistema de recirculación, el flujo es manipulado con una válvula para mantener esta constante.	96
57. Corte transversal del contenedor (2), del sistema de enfriamiento. En el cual se observa la perdida de calor de la placa solida de la mezcla PET- LLDPE.	97
58. Dos coeficientes de convección.	103
59. Deformación de un fluido.	105
60. Esfuerzo de corte en un líquido.	106
61. Recipiente de equilibrio.	108
62. Sistema de enfriamiento con recirculación de agua.	109
63. Paleta de plástico donde la cara en la coordenada Z es la que más emite calor, debido a que hay mayor área.	109
64. En el centro de la placa se encuentra una mayor temperatura.	110
65. Podemos observar que la cara que tiene mayor área emite más calor (dirección Z).	110
66. Tomando una diferencial de volumen y fijando coordenadas rectangulares, así como la dirección del calor.	111
67. Distribución de temperatura en una placa con conductividad térmica constante.	113
68. Calor que gana el agua proveniente del plástico, se obtiene con la correlación de Nusselt.	114
69. <b>(b)</b> Dispositivos auxiliares para la fabricación de tubos; (b) - De oruga para el estirado del tubo.	118
70. Dispositivos para cortar tubos de 20 a 200 mm de diámetro.	120
71. <b>(a)</b> Cabezales perfiladores con dispositivos para regular la presión de la masa; (a) - Con torpedo desplazable.	120
72. <b>(b)</b> Cabezales perfiladores con dispositivos para regular la presión de la masa; (b) - Con mandril intermedio desplazable.	121
73. Esquema del dispositivo para moldear tubos ondulados.	124
74. Esquema de una instalación para aplicar aislamiento a cables y alambres.	125
75. Torre de enfriamiento de tiro atmosférica.	129
76. Torre de enfriamiento de tiro natural.	130
77. Torre de enfriamiento de tiro forzado con flujo contracorriente.	131
78. Torre de enfriamiento inducida de con flujo contracorriente.	132
79. Torre de enfriamiento inducida de tiro cruzado.	133
80. Partes de una torre de enfriamiento.	134

81. Distribuidor de agua por gravedad.	136
82. Separadores de gotas.	138
83. Relleno por salpicadura o goteo.	140
84. Relleno laminar o de película.	141
85. Relleno mixto.	143
86. Perfiles de temperatura y concentración en la parte superior de la torre de enfriamiento.	150
87. Diversas corrientes adiabáticas.	152
88. Diagrama entalpía – temperatura y tarea de operación para una torre de enfriamiento con agua.	155
89. Diseño de selección de molde.	163
90. Diseño y construcción de tina de enfriamiento.	165
91. Instalación del halador.	166
92. Dimensionamiento de torre de enfriamiento.	169
93. Circuito eléctrico de control del sistema de arrastre.	170
94. Circuito eléctrico de control de nivel tina de enfriamiento.	172
95. Sección del husillo y molde datos generales	173
96. Relación de temperatura y variables.	176
97. Diagrama de transferencia de calor de plástico hacia el agua a una temperatura de 5 °C.	187
98. Diagrama de transferencia de calor de plástico hacia el agua a una temperatura de 11 °C.	188
99. Diagrama de transferencia de calor de plástico hacia el agua a una temperatura de 35 °C.	188
100. Diagrama de transferencia de calor de plástico hacia el agua a una temperatura de 36.08 °C.	189
101. Diferencia entre distintas temperaturas	189

## ECUACIONES

2.1 Flujo de calor	98
2.2 Flujo $\alpha$ conductancia x potencial	98
2.3 Calor que ha sido transmitida por una pared de tamaño desconocida	99
2.4 Conductancia	99
2.5 Conductancia con variación de temperatura	100
2.6 Temperatura promedio del aire	102
2.7 Transferencia de calor para estado estable	103
2.8 Remplazo de resistencias por sus recíprocos.	103
2.9 Esfuerzo de corte, Regla de Newton	105
2.10 Razón de corte	106
2.11 Remplazo de razón de corte.	106
2.12 Viscosidad	107
2.13 Viscosidad utilizando la aceleración de la gravedad	107

2.14 Cuando se evalúa en unidades métricas	107
2.15 Viscosidad en unidades de ingeniería su equivalente	107
2.16 Viscosidad cinemática	107
2.17 Primera ley de termodinámica	111
2.18 Límites de dirección $\Delta z$	111
2.19 Integrando la ecuación 2.18	112
2.20 Sustitución de ecuación 2.19 en la ley de Fourier	112
2.21 Conductividad térmica del material es constante	112
2.22 Aplicación de condiciones de frontera	113
2.23 Reemplazo $C_2=T_1$	113
2.24 Sustituyendo en las ecuaciones (2.22) y (2.23) en (2.21)	113
2.25 Coeficiente de transferencia de calor	113
2.26 Coeficiente de Neusselt	115
2.27 Sustituyendo las dos ecuaciones (2.25) y (2.26)	115
2.28 Número de Reynolds	115
2.29 Ecuación característica de rellenos de salpicadura	147
2.30 La ecuación 2.29 se expresa de las siguientes maneras	148
2.31 Los investigadores encontraron este valor	148
2.32 Ecuación característica para rellenos de película.	149
2.33 la ecuación característica para el relleno de película es la siguiente.	149
2.34 Entalpía de la mezcla de aire – vapor de agua, J/kg de aire seco	151
2.35 Si se efectúa un balance total de calor para la sección marcada con líneas punteadas en la figura se obtiene una línea de operación.	152
2.36 Un balance general de calor en ambos extremos de la torre.	153
2.37 calor sensible en comparación con el calor latente	153
2.38 La transferencia de calor sensible del volumen del líquido a la interfaz es de	153
2.39 Una base volumétrica.	153
2.40 La velocidad de transferencia de calor sensible en el gas es:	154
2.41 la ecuación (2.38) debe ser igual a la suma de las ecuaciones (2.39) y (2.40).	154
2.42 La ecuación indica que.	154
2.43 Sustituyendo $K_y$ por $PK_G$ ,	154
2.44 Sustituyendo la ecuación (2.40) en la (2.41) y reordenando.	154
2.45 Sumando y restando $c_s T_0$ en los corchetes.	154
2.46 Los términos dentro de las llaves son $(H_{y1} - H_y)$ y la ecuación (2.45) se transforma en.	154
2.47 Al integrar, la ecuación final válida para calcular la altura de la torre es	155
2.48 Al igualar la ecuación (2.38) con la (2.46), y al reordenar al resultado	155
4.1 Ángulo de la hélice.	174
4.2 flujo de arrastre $\alpha$	175
4.3 flujo de Presión $\beta$	175
4.4 flujo de filtración	175
4.5 Producción de una extrusora de tubo.	176
4.6 Temperatura de perfilados del molde	177
5.1 Tasa de rendimiento medio.	

## TABLAS

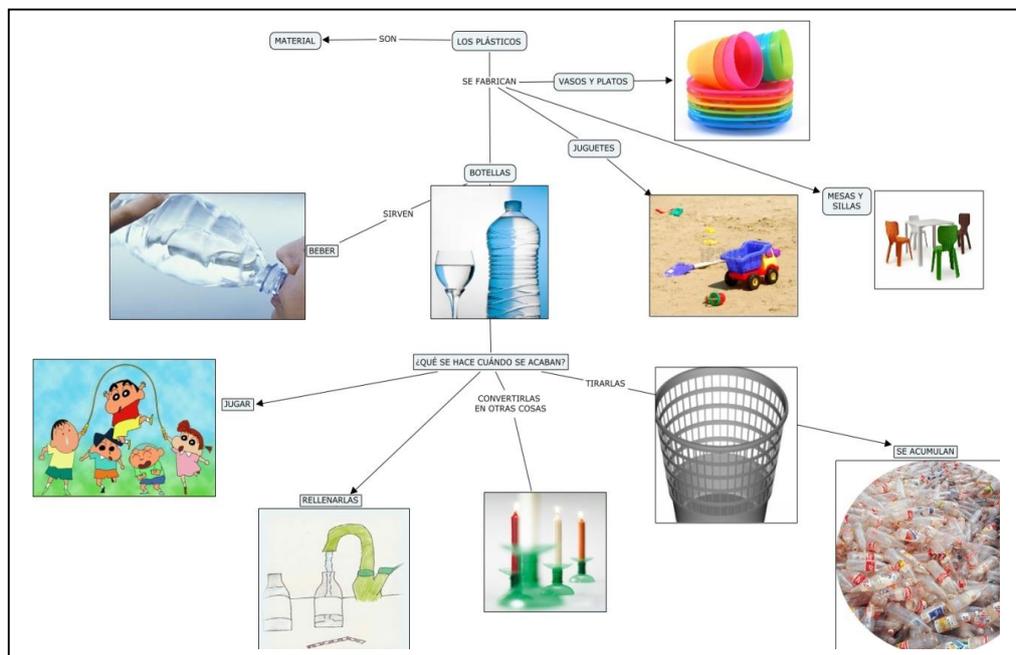
1.1 Características de algunos materiales plásticos.	6
1.2 Termoplásticos de familia química	19
1.3 Estimación resistencia a tracción.	28
1.4 Propiedades de la pieza a inyectar.	42
2.1 Ponderación de bondades de sistemas de instalación.	95
2.2 Propiedades del agua a distintas temperaturas	115
2.2 Ponderación de características de tina de enfriamiento.	117
2.3 Características principales de varias instalaciones soviética	123
2.4 Ponderación de características de halador	126
2.5 Selección del sistema de moldeo	144
2.6 Dimensiones de tina de enfriamiento.	145
2.7 Selección de halador de tubería.	146
2.8 Entalpia de mezclas saturados aire-vapor de agua (temperatura 0 °C).	156
2.9 Valores de entalpia para la resolución de la torre de enfriamiento (en J/kg de aire seco)	159
3.1 Parámetros de programación variador	171
4.1 Con las correlaciones de Pohlhausen se obtiene h	181
4.2 De conversión de diferentes tipos de tubería	182
4.3 Calor que transfiere al tubo de plástico hacia el agua	187
4.4 Valores de entalpia para la resolución de la torre de enfriamiento (en J/kg de aire seco).	192
5.1 Análisis de costos	196
5.2 Flujo de Caja	197
5.3 Tasa de Descuento	197
5.4 Indicadores de rentabilidad financiera	199

# CAPITULO I: MARCO TEÓRICO

En este capítulo se analizarán todas las propiedades y definiciones del moldeo estilo lineal para tener una referencia de diseño.

## 1.1 ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LOS PLÁSTICOS.

A las sustancias a partir de las cuales se puede construir autos y aeroplanos, puentes y edificios, platos y puertas, paracaídas y media, naves espaciales y tubos de alcantarillado, se la conoce como: “materiales de ingeniería”. Estos materiales son de vital importancia para el desarrollo y supervivencia de nuestra sociedad.

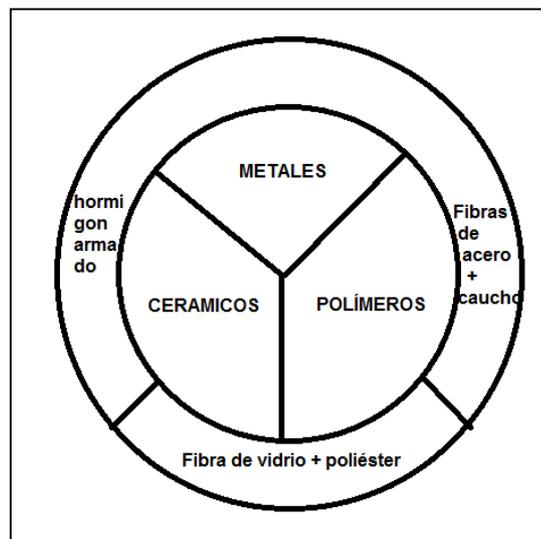


**Figura 1.1** Aplicación de los plásticos y diversos usos<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Imagen, Fuente: <http://www.aplicaciones de plásticos y diversos usos Adrianmoraleslopez.blogspot.com/2010/04/modulo-1-actividad-4.html>

Una de las formas en que se puede clasificar a las épocas de la Humanidad, es en base a la consideración del material más importante de uso que desarrollo el hombre, en cada época, así tenemos: la Edad de la Piedra, la edad del Bronce, la Edad del Hierro, etc.

En ciertos dominios estamos en las fronteras de invertir el proceso “clásico” de utilización de un material. Anteriormente se caracterizaban los materiales, se veía que propiedades tenía y, en base a eso, se determinaba la utilidad que podían tener. Actualmente, lo que se intenta es que a partir de las necesidades que se tiene, y en base a las mismas, diseñar el material que se necesita. Una aproximación a esta meta lo constituyen los denominados materiales compuestos, que juntan lo mejor de las características de los distintos materiales de ingeniería.



**Figura 1.2** Los denominados materiales compuestos y sus características.

Entre los materiales de ingeniería, son los materiales poliméricos los que han tenido un desarrollo cualitativo y cuantitativo más importante. En los últimos 40 años su volumen de producción ha crecido cien veces, han llegado ya a sobrepasar la producción de acero y su tendencia de crecimiento es sostenida.

Los automóviles se desplazan sobre llantas de caucho (Poliisopreno), la leche nos viene en envases de Polietileno (PE), el agua se conduce por tuberías de Policloruro de vinilo (PVC), las flores crecen bajo mantos de Polietileno, las computadoras tienen una dieta estricta de discos de Poliacetato de vinilo y de Policarbonato, los aviones y naves aeroespaciales viajan más ligeras gracias a los materiales compuestos que utilizan polímeros en su composición.

## **1.1.1 PROPIEDADES DE LOS PLÁSTICOS.**

### **1.1.1.1 Propiedades comparativas**

Los materiales metálicos tienen muy buenas propiedades de resistencia mecánica soportan temperaturas elevadas conducen el calor y la electricidad, pero sufren corrosión, sus costos de fabricación son elevados y sus densidades son relativamente altas.

Los materiales cerámicos son los que soportan las más altas temperaturas tienen muy buena resistencia química, son duros, pero son también frágiles, bastante pesados y sus procesos de fabricación son costosos.

Los materiales plásticos tienen menores resistencias mecánicas que los materiales pero en cambio sus densidades son bastante inferiores, con lo cual pueden ser altamente competitivos en este campo. Tiene, en general, mejor resistencia química que los metales y por eso precisamente se los utiliza en formulación de pinturas. La mayor parte de los materiales aislantes pero actualmente se han diseñado polímeros conductores con amplias aplicaciones industriales (electrónicas, pinturas anticorrosivas). Sus procesos de fabricación son dos y hasta tres veces más baratos que los correspondientes a los metales.

### 1.1.1.2 Ventajas y desventajas

#### ***Los polímeros son víctimas de sus propios éxitos.***

Aunque resulte paradójico, algunas de las propiedades que destacábamos anteriormente como “positivas”, pueden resultar como “negativas”. Por ejemplo, el hecho de que los polímeros tengan una resistencia química relativamente alta provoca que no se degrade con facilidad y por tanto pueda permanecer por mucho tiempo en la naturaleza. Su baja densidad es la “culpable” de su mala fama ambiental, ya que esta propiedad los hace mucho más visibles en el medio ambiente que otro tipo de materiales. (Por ejemplo: flotan en el agua de los ríos, en un depósito de basura son más visibles, etc.).

#### **Ventajas**

- Bajos requerimientos energéticos para la formación de piezas terminadas. Se necesitan temperaturas que en general no superan los 250 °C, en cambio, para la fundición de aluminio se necesita sobrepasar los 600 °C.
- En muchos casos las piezas plásticas terminadas pueden estar listas en un sola etapa de procesamiento en cambio los metales suelen requerir varias etapas de acabado.
- Las materias primas están disponibles a bajos costos.
- Facilidad en el reciclaje, los procesos de transformación requieren menos energía y son más eficientes.
- Bajos costos de fabricación.
- El desarrollo de la tecnología de los polímeros ha permitido sustituir, en ciertos dominios, a los metales.

- En aplicaciones de alta tecnología por ejemplo en el fuselaje de la aviación comercial y militar, en la construcción de recipientes y tuberías para la industria química, etc.
- En aplicaciones más sencillas por ejemplo en el diseño de impulsores para pequeños botes, armazones de electrodomésticos que antes usaba metales. etc.

### **Desventajas**

- Están limitados a temperaturas de aplicación relativamente bajas, comparadas con las que pueden resistir los metales y las cerámicas. Los valores máximos suelen estar alrededor de los 370 °C.
- Pueden ser inflamables.
- Su resistencia al rozamiento y fricción es también relativamente baja.
- Tienen cierta dificultad para ser reparados, sobre todo si se los compara con los metales.

#### **1.1.1.3 Propiedades Físicas**

Los plásticos son materiales livianos (de baja densidad), la mayoría de ellos no conducen el calor ni la electricidad, no soportan temperaturas muy elevadas pero tienen buena resistencia al paso del agua y del oxígeno (permeabilidad).

A continuación se presentara una tabla en la que se exponen las principales características de algunos materiales plásticos.

POLIMERO	DENSIDAD g/cm <sup>3</sup>	PROPIEDADES TERMICAS			CONDUCTIVIDAD
		T. máxima corto tiempo continuo	T. máxima continuo	T. mínimo	TERMICA (W/m °K)
Polietileno de baja densidad	0,914 /0,928	80/90	60/75	-50	0,32/0,40
Polietileno de alta densidad	0,940/0,960	90/120	70/80	-50	0,38/0,51
Polipropileno	0,900/0,907	140	100	0/-30	0,17/0,22
PVC rígido	1,38/1,55	75/100	65/85	-5	0,14/0,17
PVC flexible	1,16/1,35	55/65	50/55	0/-20	0,15
Poliestireno	1,05	60/80	50/70	-10	0,18
Polimetil metacrilato	1,17/1,20	85/100	65/90	-40	0,25
Politetra flúor etileno	2,15/2,20	300	250	-200	0,21
Policarbonato	1,2	160	135	-100	0,7
Poliéster insaturado	2	200	150	-----	0,88
Resina epoxi	1,9	180	130	-----	-----

**Tabla 1.1** Características de algunos materiales plásticos.

La densidad nos permite conocer cuánto pesa un determinado volumen de material, por ejemplo el hecho de que la densidad del Policarbonato sea de 1,2g/cm<sup>3</sup> significa que cada cm<sup>3</sup> de policarbonato pesa 1,2 gramos. En el proceso de reciclaje el dato de la densidad nos permite conocer cual material es más pesado que otro y con ello diferenciarlos o separarlos, por ejemplo, si sumergimos en agua varios plásticos aquellos que tengan densidad inferior a 1 g/cm<sup>3</sup> flotarían y los que la superan se hundirán.

Un dato muy importante a tomar en cuenta a la hora de seleccionar un material plástico, es el de la **temperatura** (máxima o mínima) a la que va a estar sometido, puesto que la resistencia a este parámetro depende del tipo de plásticos que se emplee. Adicionalmente se debe tomar en cuenta cuanto tiempo el material va a estar sometido a esa temperatura si el tiempo es corto, podrá resistir temperaturas más altas, por el contrario si el material se encuentra de manera permanente sometido a temperaturas altas, podría degradarse y perder sus propiedades mecánicas e incluso puede llegar a descomponerse.

#### **1.1.1.4 Propiedades Químicas**

Los plásticos tienen, en general buenas propiedades químicas. Muchos de ellos se utilizan para almacenar productos alimenticios, son la base de la formulación de pinturas que protegen a los metales de corrosión, etc. No obstante pueden sufrir degradación (como todos los materiales de ingeniería) bajo la acción de diversos factores.

A lo largo del ciclo de vida del polímetro (y de su reutilización y reciclaje) se pueden presentar diversos fenómenos que dan lugar a la degradación del material. Este deterioro puede provocar que las cadenas del polímero se rompan y por lo tanto disminuya las propiedades mecánicas del material (y se acorte el tiempo de vida útil) es posible también que sean los grupos externos de la cadena los que se alteren por reacciones químicas, o que los microorganismos “ataquen” los grupos laterales etc.

El deterioro del material puede ser causado por efectos físicos, entonces se le denomina “envejecimiento físico” y puede estar ocasionado por:

- Absorción de solventes
- Absorción de humedad

- Migración de aditivos
- Cambios en la cristalinidad

Si la modificación de las propiedades es ocasionada por reacciones químicas, se trata de un “envejecimiento químico”. La resistencia del material depende de: las condiciones a las que se encuentran sometidos (fundamentalmente temperatura) la naturaleza del medio en el cual se encuentra inmerso (ácido, básico, oxidante, reductor, orgánico, inorgánico) las concentraciones de los agentes agresivos, entre otras.

### **Tipos de degradación**

A las degradaciones que pueden sufrir los polímeros, las podemos clasificar en los siguientes tipos:

- **Degradación térmica:** Cuando se descompone por efecto de la temperatura, Por ejemplo el Polimetil metacrilato puede descomponerse hasta llegar a sus monómeros, el Policloruro de vinilo (PVC) puede producir ácido clorhídrico (por eso se le agrega aditivos), etc.
- **Degradación oxidativa:** Debido a la acción del oxígeno y del ozono algunos polímeros pueden fragilizarse, por ejemplo los cauchos.
- **Degradación por radiaciones:** La radiación ultravioleta puede degradar a los polímeros así por ejemplo los polietilenos son más resistentes a las radiaciones que el polipropileno.
- **Degradación por sustancias químicas:** Existen ciertas sustancias químicas como los ácidos y las bases que pueden atacar los polímeros y descomponer los.
- **Biodegradación:** Ciertos microorganismos también pueden atacar a los polímeros, lo que en algunos casos permite que el polímero se descomponga, evitando así que permanezca en la naturaleza por mucho tiempo como agente contaminante.

- **Degradación ambiental:** La combinación de múltiples factores: Humedad, radiación ultravioleta, calor, etc., provocan un deterioro de los materiales plásticos.

#### **1.1.1.5 Reconocimiento e Identificación**

Tanto quienes se dedican al procesado de materiales plásticos como los usuarios de productos acabados, sean estos a nivel doméstico o los encargados del reciclaje, necesitan conocer o determinar la naturaleza química del material con el que trabajan para lo cual se requieren conocer las características de los distintos tipos de plásticos, a fin de poder identificarlos adecuadamente sin recurrir a los análisis complejos que deben realizar quienes tiene a su cargo labores de control de calidad y peritaje.

#### **¿Cómo facilitar la selección de los materiales plásticos?**

Dentro de un proceso de reciclaje, resulta crucial previa del material que va a ser procesado. Una adecuada separación preliminar determinara que los productos obtenidos sean de buena calidad y disminuirá las dificultades de su procesamiento, por lo que un aspecto fundamental es la experiencia que han desarrollado las personas encargadas de la separación de los plásticos. A continuación se presentan alguna directrices que pueden ayudar a la identificación de los distintos tipos de plásticos.

*A) La Sociedad de las industrias del Plástico (SPI) ha desarrollado voluntariamente unos códigos para identificar a los plásticos que se utilizan como recipientes y contenedores, los cuales generalmente están localizados en la base de los recipientes. Estos códigos son:*



**Figura 1.3** Códigos de identificación de plástico dado por la sociedad de industrias plásticas.

Esta es una buena indicación que permite fácilmente discriminar un plástico de otro. Sin embargo presenta algunas dificultades, como por ejemplo, no contempla otro tipo de especificaciones sobre el procesamiento del plástico o los aditivos utilizados. Los grupos ISO están trabajando actualmente en un código de seis dígitos que permitirá obtener una información más completa.

Cabe notar que muchos fabricantes no siguen exactamente las normativas anteriores algunos solo indican el número (sin poner el nombre del polímero), otro utilizan las siglas en castellano, otros cambian las siglas, etc.

*B) De acuerdo a la marca comercial de los productos que contienen o al material que se trate, se puede conocer el tipo de plástico así por ejemplo:*

- Si se trata de bolsas de supermercado que “crepitan”, el material será polipropileno (PP), si no lo hacen puede ser polietileno (PE).
- En bolsas transparentes que crepitan, utilizadas para envolver fideos y diversos productos fritos (Chifles cervecero, Tortolines, Jalapeños, Tostitos, etc.), también se usa polipropileno (PP).
- Los recipientes para microondas son de polipropileno (PP).
- En bolsas para empaquetar pañales desechables y para fabricar algunas tapas para recipientes (las más flexibles), se usa polietileno de baja densidad (LDPE o PEBD).
- Para guardar alimentos en forma de polvo (Chocolito, Nesquik) se suele usar polietileno de alta densidad (HDPE O PEAD).
- Las botellas grandes y opacas agua (de aproximadamente 5 litros) son de polietileno de alta densidad (HDPE o PEAD).
- Recipientes para limpieza (Woolite, Mimosin, Suavitel, Ajax) son de polietileno de alta densidad (PEAD), aunque otros prefieren el polipropileno (PP), por ejemplo los productos de limpieza de la serie Klin (Pinoklin).
- Si son recipientes transparentes para gaseosas (Coca Cola, Fioravanti, etc), o agua mineral de pequeña capacidad (Fontana, Agua Linda, Pure Water, etc). Generalmente se trata polietileno tereftalato (PET o PETE).
- Los recipientes para aceites comestibles (La Favorita), se fabrican con polietileno tereftalato (PET o PETE).
- La marca Johnson & Johnson usa policloruro de vinilo (PVC) para envasar sus shampoos y Baby aceite, estos recipientes son transparentes. Para el caso de aceites cremosos, se usan recipientes no transparentes de polietileno de alta densidad (HDPE o PEAD).

- Las tuberías para alcantarillado y algunos tipos de recipientes (como limpiavidrios Easy - OFF) son de policloruro de vinilo (PVC).
- Las bandejas en las cuales se envasa carne o pescado (espumas) son de poliestireno (PS), de igual manera lo son las tapas que se colocan a los vasos de cartón en los cuales se expenden las bebidas gaseosas.
- Los vasos plásticos transparentes más rígidos y frágiles, son de poliestireno (PS), mientras que los más flexibles pueden ser de poliestireno de “choque” (polímero reforzado) o de polietileno (PE).
- Los recipientes pequeños para yogurt (Toni, Alpina) son de poliestireno (PS), pero en los recipientes más grandes se usa polietileno de alta densidad (PEAD o HDPE).
- En los casos en los cuales la apariencia del material es similar, se los puede diferenciar por la manera como han sido fabricados, así por ejemplo, las botellas de polietileno tereftalato (PET) y de policloruro de vinilo (PVC) suelen ser transparente (las de PVC algo más azuladas), pero si se observa la forma de la base, se puede notar la diferencia entre un material y otro (producto de su método de fabricación).

*C) Si quedan dudas sobre el tipo de material que se tiene, o si se quiere precisar mejor los resultados, se puede seguir el procedimiento que se indica a continuación, el cual permite identificar materiales termoplásticos:*

1. Corte una pequeña pieza de material y sumérgala en agua destilada (es esencial que la pieza sea sólida y que no se adhieran burbujas de aire en su superficie). Si la pieza flota, continúe hasta el punto 2, si ella se hunde vaya al punto 3.
2. Es probable que el material sea una polioleofina (polietileno, polipropileno) las cuales tienen una densidad menor que el agua. Para diferenciarlas entre ellas, se puede sumergir el pedazo de material en una solución compuesta por 62 partes de metanol y 38 partes de agua. Si el

material flota se trata de polipropileno, si no lo hace es polietileno (algunas veces el polipropileno puede estar reforzado con partículas, en cuyo caso será menos translucido que lo habitual y podría tener una densidad mayor). El polietileno de alta densidad es más rígido, en cambio el de baja densidad es más flexible.

3. Coloque un pedazo pequeño de la muestra sobre un mechero (es preferible usar una espátula para realizar esta prueba). Retire la muestra de la llama. Si la muestra no se ha quemado, vaya al punto 4, en caso de que deje de quemarse en 10 segundos, vaya al punto 5 y si continua quemándose vaya al punto 6.

4. El material probablemente es politetra flúor etileno (PTFE), también conocido como teflón y se trata de un plástico que se mantiene estable hasta los 250 °C.

5. Si el material se quema, pero su llama se extingue cuando se le remueve de la llama:

5.1 Si la llama es amarilla con una base verdosa y un olor acre (picante), puede tratarse de policloruro de vinilo (PVC). Para identificarlo, caliente un alambre de cobre en la llama y perfore la pieza del plástico. Vuelva a poner el alambre en el mechero, un color verde en la llama indica la presencia de cloro y por tanto se confirma que se trata de PVC.

5.2 Si la llama es de color azul-amarillenta, el olor le recuerda a la vegetación quemada y la muestra se funde, obteniéndose un fluido viscoso, se trata entonces de una poliamida (PA) como el nylon.

6. En caso de que el material continúe quemándose después de ser removido de la llama; ponga atención a la presencia o ausencia de humo. Si se quema sin producir humo. Si se quema sin producir humo entonces vaya a 7, si al quemarse produce humo, vaya a 8.

7. Cuando el material se quema y no produce humo.

7.1 Si la llama es de un azul-pálido, puede tratarse de un poliacetal, (PGM).

7.2 Si la llama es amarilla con una base azul y el olor es dulce, entonces se trata de polimetil metacrilato (PMMA).

8. Si el material se quema expeliendo humo:

8.1 Si existe dificultad inicial en quemarse, lo hace con una llama amarilla y luego de la combustión deja una gran cantidad de residuo carbonoso, entonces se trata de policarbonato (PC).

8.2 Si el material quema con una llama amarilla con base azul y produce mucho humo se trata de poliestireno (PS). Cuando el material tiene una apariencia rígida, de sonido metálico al golpearla, se trata de poliestireno "simple", si en cambio es flexible se trata de poliestireno llamado de "choque" (que tiene un refuerzo). Si el olor de la combustión es acre, entonces puede tratarse de acrílico-butírico estireno (ABS).

#### *D) Identificación y caracterización más exhaustiva*

La identificación y caracterización completa y detallada de un material plástico generalmente es un problema muy complicado, se puede clasificar a los tipos de ensayo utilizados para la identificación y caracterización en dos grupos preliminares y específicos.

##### a) Ensayos preliminares

Estos ensayos permiten identificar de manera más o menos sencilla algunos plásticos y conocer sus características más generales, dentro de este grupo está.

- Prueba de combustión
- Ensayos de solubilidad
- Determinación de propiedades físicas densidad, punto o intervalo de fusión punto de reblandecimiento, índice de refracción, viscosidad en solución.
- Detección cualitativa de heteroelemento tales como: halógenos, nitrógeno, azufre y fluor.

##### b) Ensayo específico

A fin de identificar de manera precisa a los plásticos, determinar sus componentes y el porcentaje en que se encuentran presente, así como conocer con más detalle su microestructura y sus propiedades más importantes, se llevan a cabo diferentes ensayo más específicos, tales como:

- En sayos mecánicos de tensión, flexión, dureza e impacto.
- Ensayos instrumentales, para los cuales se requiere separar previamente los componentes del material plástico y luego caracterizar por separado cada uno de sus elementos, de acuerdo donde el siguiente esquema.

### **1.1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS.**

Existen muchas y diversas} formas mediante las cuales se pueden clasificar los materiales poliméricos.

#### **1.1.2.1 Según su origen:**

Los polímeros pueden ser naturales (celulosa, lignina) o sintéticos (polietileno, polipropileno).

#### **1.1.2.2 Según sus propiedades:**

Una clasificación, corriente utilizada, es dividirlos en: Termoplásticos, Termoestables y Elastómeros.

## a) Termoplásticos

Los termoplásticos están constituidos por cadenas de polímeros lineales o ramificados y que se funden o reblandecen a una cierta temperatura o rango de temperaturas. Pueden mostrar una estructura completamente desordenada de sus cadenas y entonces los denominamos amorfos, o pueden tener ciertas zonas en las cuales las moléculas tienen una organización geométrica ordenada, y entonces los llamamos semicristalinos.

LINEAL (Ej. Polietileno de alta densidad)



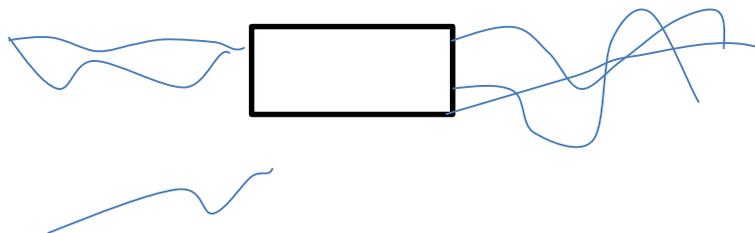
RAMIFICADO (Ej. Polietileno de baja densidad)



AMORFO (Ej. Polimetil metacrilato)



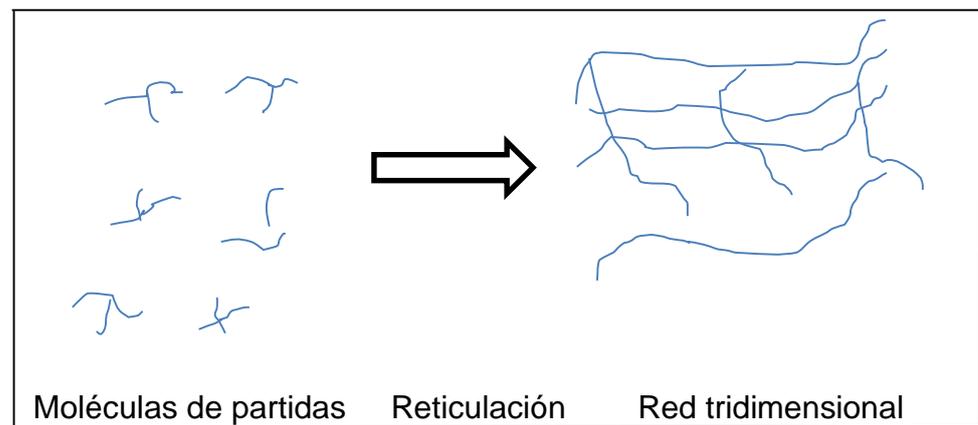
SEMICRISTALINO (Ej. Polipropileno)



**Figura 1.4** Estructura de los termoplásticos

## b) Termoestables

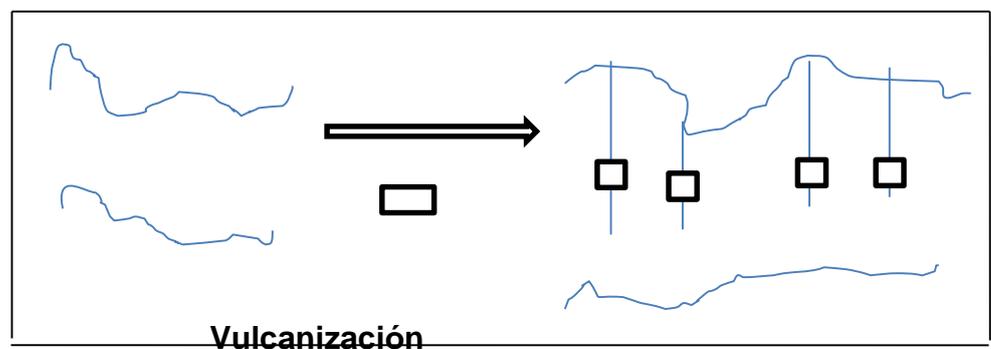
Los polímeros termoestables forman estructuras tridimensionales muy complejas, que no llegan a fundir bajo la acción de la temperatura, pero pueden llegar a degradarse a temperaturas elevadas. Son los polímeros que tienen las resistencias mecánicas más elevadas y en general también mayores resistencias químicas.



**Figura 1.5** Estructura de los Termoestable.

## c) Elastómeros

Los elastómeros o cauchos son un caso particular de los materiales termoestables, pero que tienen sus enlaces tridimensionales más débiles. Poseen una gran elasticidad, pudiendo estirarse hasta 6 o 7 veces en longitud original, sin romperse.



**Figura 1.6** Estructura de los Elastómeros.

### 1.1.2.3 Según la familia química a la que pertenecen

#### Termoplásticos

<b>NOMBRES</b>	<b>SIMBOLOS NORMAS ISO</b>
<b>Poliioleofinas</b> Polietileno alta densidad Polietileno baja densidad Polipropileno	HDPE* LDPE* PP
<b>Acrílicas</b> Polimetil metacrilato Polibutil metacrilato	PMMA PBMA
<b>Celulósicas</b> Acetato de celulosa	CA
<b>Estirenicas</b> Poliestireno Acrilonitrilo butadieno estireno	PS ABS
<b>Vinilicas</b> Policloruro de vinilo Poliacetato de vinilo	PVC PVAC
<b>Poliamidas</b> Poliamida 66 Poliamida 6	PA 66 PA 6
<b>Poliésteres termoplásticos</b> Poliétilen tereftalato Polibutilen tereftalato	PETP*** PBTP****
<b>Poliacetalicas</b> Polioxido de metileno	POM
<b>Poliimidias</b> Poliimida	PI
<b>Policetonicas</b>	PEEK

Poliéter éter cetona	
<b>Policarbonatos</b>	PC
<b>Poliuretanos lineales</b>	PUR
<b>Polisulfona</b>	PSU

**Tabla 1.2** Termoplásticos de familia química

\* También se representa por sus siglas en castellano: PEAD

\*\* También se representa por sus siglas en castellano: PEBD

\*\*\* También se simboliza como: PET, PETE

\*\*\*\* También se simboliza como: PBT

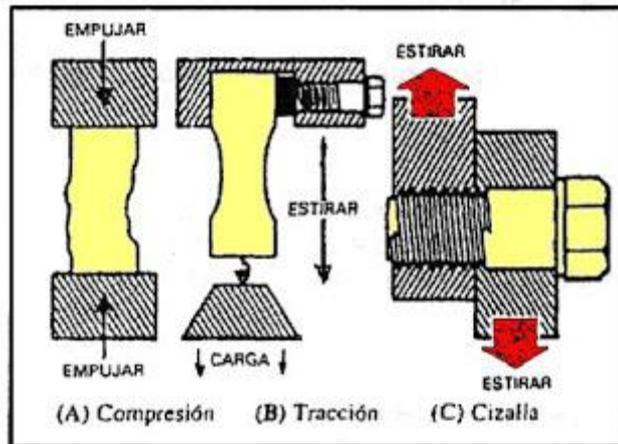
### 1.1.3 RESISTENCIA MECÁNICA Y DEFORMACIONES<sup>2</sup>

#### 1.1.3.1 Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de un material describen el modo en que este responde a la aplicación de una fuerza o carga. Solamente se pueden ejercer tres tipos de fuerzas mecánicas que afecten a los materiales: compresión, tensión y cizalla. En la figura se muestra la acción esas tres fuerzas.

---

<sup>2</sup> Dr. Andres Ozols. Propiedades mecánicas de los materiales, [aozols@fi.uba.ar](mailto:aozols@fi.uba.ar)



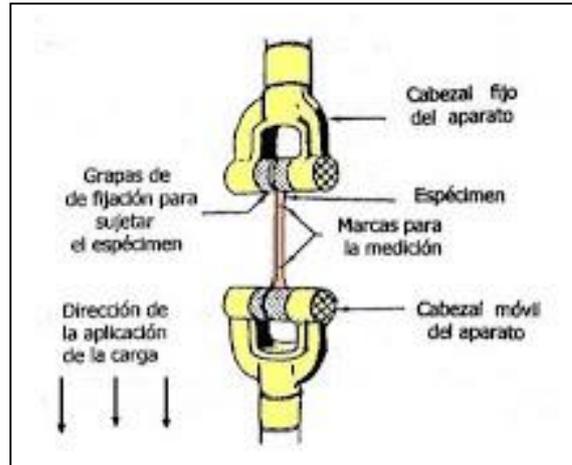
**Figura 1.7** Los tres tipos de tensión<sup>3</sup>.

Las pruebas mecánicas consideran estas fuerzas por separado o combinadas. Las pruebas de tracción, compresión y cizalla sirven sola para medir una fuerza, mientras que las de flexión, impacto y dureza implican dos o más fuerzas simultáneas.

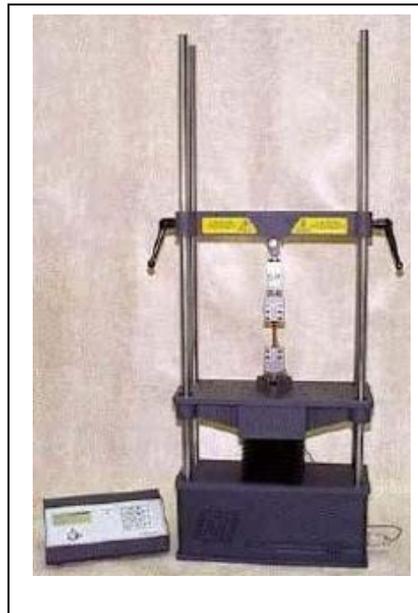
### 1.1.3.2 Resistencia a la tracción y elongación de rotura.

La resistencia a la tracción o tenacidad es el máximo esfuerzo que un material puede resistir antes de su rotura por estiramiento desde ambos extremos con temperatura, humedad y velocidad especificadas. El ensayo de tracción de un material consiste en someter a una probeta normalizada a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta que se produce la rotura de la probeta. Este ensayo mide la resistencia de un material a una fuerza estática o aplicada lentamente.

<sup>3</sup> Imágenes de ensayos realizados de tres tipos de tensión por Dr. Andres Ozols.



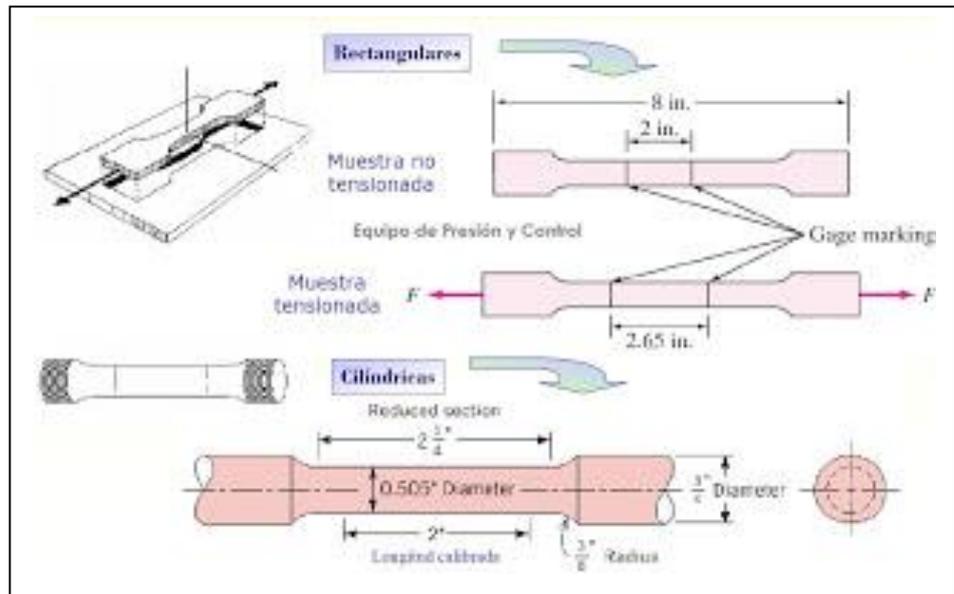
**Figura 1.8** Dispositivo para ensayo de tracción (probeta y mordazas)<sup>4</sup>.



**Figura 1.9** Máquina para ensayo de tracción<sup>5</sup>.

<sup>4</sup> Partes de un dispositivo para ensayos de tracción (probeta y mordazas)

<sup>5</sup> Máquina para ensayo de tracción.



**Figura 1.10** Probeta normalizadas<sup>6</sup>.

Elongación o extensión es el máximo esfuerzo de tracción a que un material puede estar sujeto antes de su rotura. Unidades: Para la resistencia a la tracción, el esfuerzo es la relación de la carga sobre el área de la sección transversal inicial y se expresa comúnmente en Pa (pascales). La extensión o aumento en longitud se expresa en porcentaje del largo inicial. La resistencia a la tracción y la deformación a la rotura, respectivamente indican el máximo esfuerzo que el material puede soportar. Curvas típicas basadas en datos experimentales muestran los valores reales<sup>7</sup>.

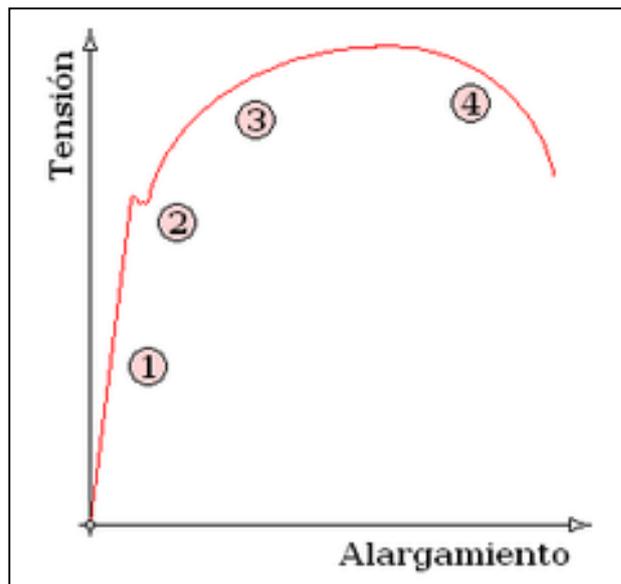
### 1.1.3.3 Curva tensión deformación

En el ensayo a la tracción se mide la deformación (alargamiento) de la probeta entre dos puntos fijos de la misma a medida que se incrementa la carga aplicada, y se representa gráficamente en función de la tensión

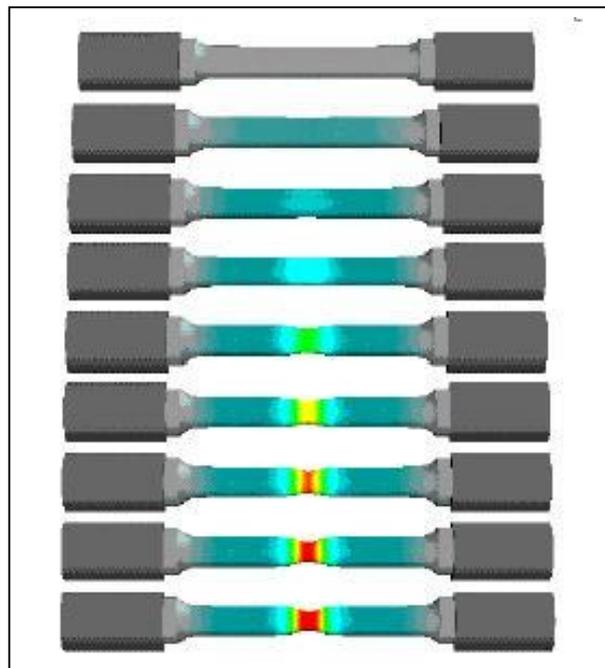
<sup>6</sup> Imágenes de Probetas normalizadas.

<sup>7</sup> Dr. Andres Ozols. Propiedades mecánicas de los materiales, [aozols@fi.uba.ar](mailto:aozols@fi.uba.ar)

(carga aplicada dividida por la sección de la probeta). En general, la curva tensión-deformación así obtenida presenta cuatro zonas diferenciadas:



**Figura 1.11** Zonas de curva de tensión deformación<sup>8</sup>.



**Figura 1.12** Evolución de las probetas rectangulares durante el ensayo de tracción (la zona central es la que soporta mayor deformación y por esa zona se romperá)<sup>9</sup>

<sup>8</sup> Imagen de zonas de curvaturas de tensión y deformación. Dr. Andrés Ozlos

**1. Deformaciones elásticas:** en esta zona las deformaciones se reparten a lo largo de la probeta, son de pequeña magnitud y, si se retirara la carga aplicada, la probeta recuperaría su forma inicial (**recuperación elástica (1)**). El coeficiente de proporcionalidad entre la tensión y la deformación se denomina **módulo de elasticidad (2)** o de Young y es característico del material. La tensión más elevada que se alcanza en esta región se denomina límite de fluencia (yield point) y es el que marca la aparición de este fenómeno.

**2. Fluencia o cedencia.** Es la deformación brusca de la probeta sin incremento de la carga aplicada. El fenómeno de fluencia se da cuando las impurezas o los elementos de aleación bloquean las dislocaciones de la red cristalina impidiendo su deslizamiento, mecanismo mediante el cual el material se deforma plásticamente. Alcanzado el límite de fluencia se logra liberar las dislocaciones produciéndose la deformación bruscamente. La deformación en este caso también se distribuye uniformemente a lo largo de la probeta pero concentrándose en las zonas en las que se ha logrado liberar las dislocaciones. No todos los materiales presentan este fenómeno, en cuyo caso la transición entre la deformación elástica y plástica del material no se aprecia de forma clara.

**3. Deformaciones plásticas:** si se retira la carga aplicada en dicha zona, la probeta recupera sólo parcialmente su forma quedando deformada permanentemente. Las deformaciones en esta región son más acusadas que en la zona elástica.

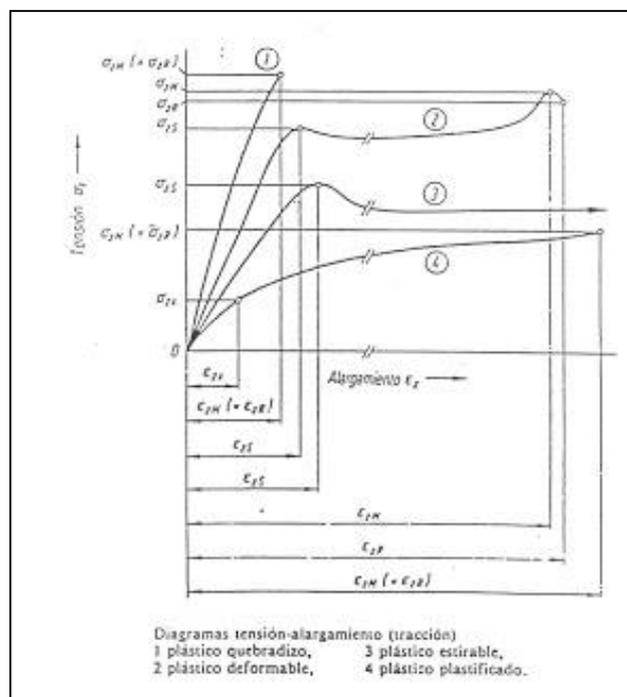
**4. Estricción.** Llegado un punto del ensayo, las deformaciones se concentran en la parte central de la probeta apreciándose una acusada reducción de la sección de la probeta, momento a partir del cual las deformaciones continuarán acumulándose hasta la rotura de la probeta por esa zona. La estricción es la responsable del descenso de la curva

---

<sup>9</sup> Evolución de probetas rectangulares durante el ensayo de tracción (la zona central es la que soporta mayor ensayo de deformación y por esa zona se romperá).

tensión-deformación; realmente las tensiones no disminuyen hasta la rotura, sucede que lo que se representa es el cociente de la fuerza aplicada (creciente) entre la sección inicial y cuando se produce la estricción la sección disminuye, efecto que no se tiene en cuenta en la representación gráfica. Los materiales frágiles no sufren estricción ni deformaciones plásticas significativas, rompiéndose la probeta de forma brusca. Terminado el ensayo se determina la carga de rotura, carga última o resistencia a la tracción: la máxima resistida por la probeta dividida por su sección inicial, el alargamiento en (%) y la estricción en la zona de la rotura.

Otras características que pueden caracterizarse mediante el ensayo de tracción son la resiliencia y la tenacidad, que son, respectivamente, las energías, elástica y total absorbida y que vienen representadas por el área comprendida bajo la curva tensión-deformación hasta el límite elástico en el primer caso y hasta la rotura en el segundo.



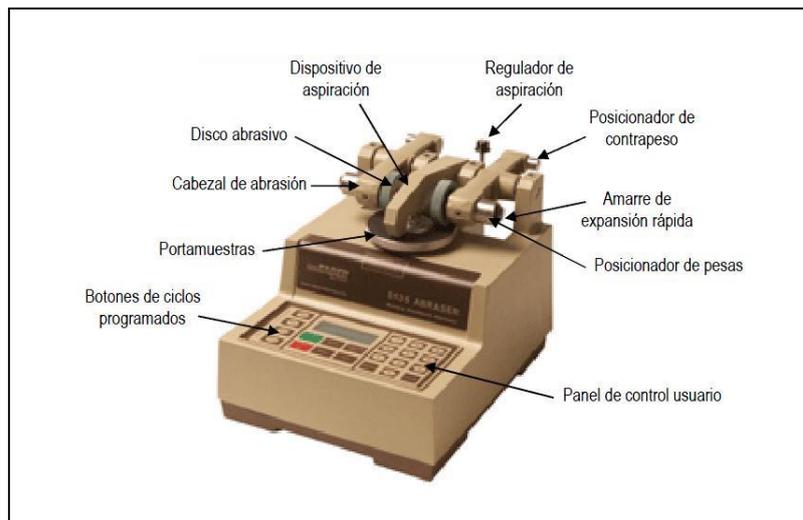
**Figura 1.13** Curvas de tensión deformación para distintas clases de plástico.

Normativa para ensayo de tracción:

La norma ASTM es D 638 (D 638 M es métrica). La unidad SI es el pascal ( $\text{Pa}=\text{N}/\text{m}^2$ ), pero también se usa la libra por pulgada cuadrada (psi). Los plásticos comerciales sin plastificar ni llevar fibras muestran desde 14 hasta 140 MPa (2 a 20 psi)<sup>10</sup>.

#### 1.1.3.4 Resistencia a la abrasión<sup>11</sup>

Se llama resistencia a la abrasión a la habilidad de un material para resistir acciones mecánicas como frotamiento, rascado, molienda, arenado o erosión que tiende progresivamente sacar material de su superficie. Las normas ASTM son la D 1044 y la D 1242. La abrasión, desgaste de superficies, se relaciona con la fricción. Propiedad compleja, es difícil de analizar y medir. Pese a que varias máquinas se han propuesto para los ensayos acelerados, ninguno es aún satisfactorio. En los plásticos, la abrasión o resistencia al uso es importante en casos como cojinetes, rodamientos y engranajes.



**Figura 1.14** Abrasímetro<sup>12</sup>.

<sup>10</sup> Normativas de Norma ASTM\_D638.

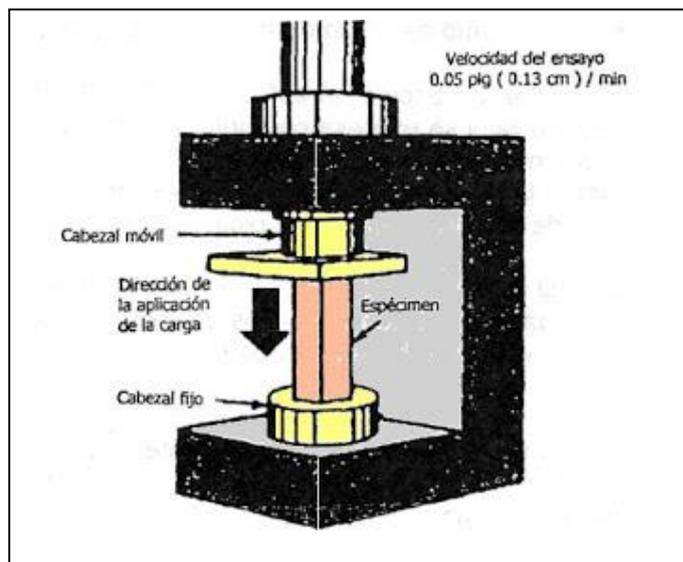
[TecnologíaDelosPlásticos.blogspot.com/2011/06/propiedades-mecanicas.html](http://TecnologíaDelosPlásticos.blogspot.com/2011/06/propiedades-mecanicas.html).

<sup>11</sup> Normativas de Norma ASTM\_D1044 y D1242.

### 1.1.3.5 Resistencia a la compresión<sup>13</sup>

La resistencia a la compresión es el máximo esfuerzo que un material rígido puede resistir bajo compresión longitudinal. No es necesario el esfuerzo en el punto de rotura, pero es de significación en materiales que quebrantan bajo una cierta carga. La unidad es fuerza por unidad de área de sección transversal inicial, expresada como Pa. El ensayo de compresión es un ensayo técnico para determinar la resistencia de un material o su deformación ante un esfuerzo de compresión. En la mayoría de los casos se realiza con hormigones y metales (sobre todo aceros), aunque puede realizarse sobre cualquier material. Se suele usar en materiales frágiles. La resistencia a compresión de todos los materiales siempre es mayor que a tracción.

Se realiza preparando probetas normalizadas que se someten a compresión en un dispositivo para ensayo de compresión o una máquina universal de ensayos.



**Figura 1.15** Dispositivos para ensayo de compresión<sup>14</sup>.

<sup>12</sup> Imagen de un abrasimetro para medir desgaste de superficies en relación con la fricción

<sup>13</sup> [Tecnologíadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/propiedades-mecanicas.html](http://Tecnologíadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/propiedades-mecanicas.html)

<sup>14</sup> Máquina para ensayos de compresión.

### 1.1.3.6 Dureza

La dureza expresa la resistencia a la deformación. Es una propiedad compleja y cuando se accede a métodos por indentación o penetración, factores como módulo elástico, resistencia al flujo, plasticidad y tiempo quedan involucrados.

Las unidades de dureza derivan de la profundidad, ancho o área de la indentación realizada con alguna forma de estilo cargado. Son numerosos los aparatos propuestos y usados.

La Brinell, por impresión de una bola de acero duro, igual que la Rockwell es por penetración de un penetrador de punta semiesférica.

Material	Brinell, HB
Nylon	12
Polietileno baja densidad	2
Polietileno alta densidad	4
Polipropileno	7
Poliestireno	20
Cloruro de polivinilo	10

**Tabla 1.3** Estimación resistencia a tracción.

Dependiendo del tipo de punta empleada y del rango de cargas aplicadas, existen diferentes escalas, adecuadas para distintos rangos de dureza.

Las escalas de uso industrial actuales son las siguientes:

- **Dureza Brinell:** Emplea como punta una bola de acero templado o carburo de W. Para materiales duros, es poco exacta pero fácil de aplicar. Poco precisa con chapas de menos de 6mm de espesor. Estima resistencia a tracción.

- **Dureza Knoop:** Mide la dureza en valores de escala absolutas, y se valoran con la profundidad de señales grabadas sobre un mineral mediante un utensilio con una punta de diamante al que se le ejerce una fuerza estándar.
  
- **Dureza Rockwell:** Se utiliza como punta un cono de diamante (en algunos casos bola de acero). Es la más extendida, ya que la dureza se obtiene por medición directa y es apto para todo tipo de materiales. Se suele considerar un ensayo no destructivo por el pequeño tamaño de la huella.
  
- **Rockwell superficial:** Existe una variante del ensayo, llamada Rockwell superficial, para la caracterización de piezas muy delgadas, como cuchillas de afeitar o capas de materiales que han recibido algún tratamiento de endurecimiento superficial.
  
- **Dureza Rosiwal:** Mide en escalas absoluta de durezas, se expresa como la resistencia a la abrasión medias en pruebas de laboratorio y tomando como base el corindón con un valor de 1000.
  
- **Dureza Shore:** Emplea un escleroscopio. Se deja caer un indentador en la superficie del material y se ve el rebote. Es adimensional, pero consta de varias escalas. A mayor rebote, mayor dureza. Aplicable para control de calidad superficial. Es un método elástico, no de penetración como los otros. Existen durómetros portátiles.
  
- **Dureza Vickers:** Emplea como penetrador un diamante con forma de pirámide cuadrangular. Para materiales blandos, los valores Vickers coinciden con los de la escala Brinell. Mejora del ensayo Brinell para efectuar ensayos de dureza con chapas de hasta 2mm de espesor.

· **Dureza Webster:** Emplea máquinas manuales en la medición, siendo apto para piezas de difícil manejo como perfiles largos extruidos. El valor obtenido se suele convertir a valores Rockwell<sup>15</sup>.

### 1.1.3.7 Instrumentos para los plásticos blandos o flexibles<sup>16</sup>.

Hay dos tipos de durómetros Shore, al A y el D. En el tipo A se utiliza un penetrador con forma de varilla roma para probar los plásticos blandos. En el tipo D se emplea un penetrador con varilla puntiaguda para medir los materiales más duros. Se aplica una fuerza de 12,5 N en Shore A y de 50 N en shore D. Las lecturas son rápidas y sencillas se apoya el aparato sobre el material, se hace presión manual (entre 1 y 10 segundos) y se toma el valor Las escalas van de 0 a 100.



**Figura 1.16** Instrumento portátil de medición rápida cauchos y plásticos blandos y duros<sup>17</sup>.

<sup>15</sup> [Tecnologíadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/propiedades-mecanicas.html](http://Tecnologíadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/propiedades-mecanicas.html).

<sup>16</sup> [Tecnologíadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/propiedades-mecanicas.html](http://Tecnologíadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/propiedades-mecanicas.html)

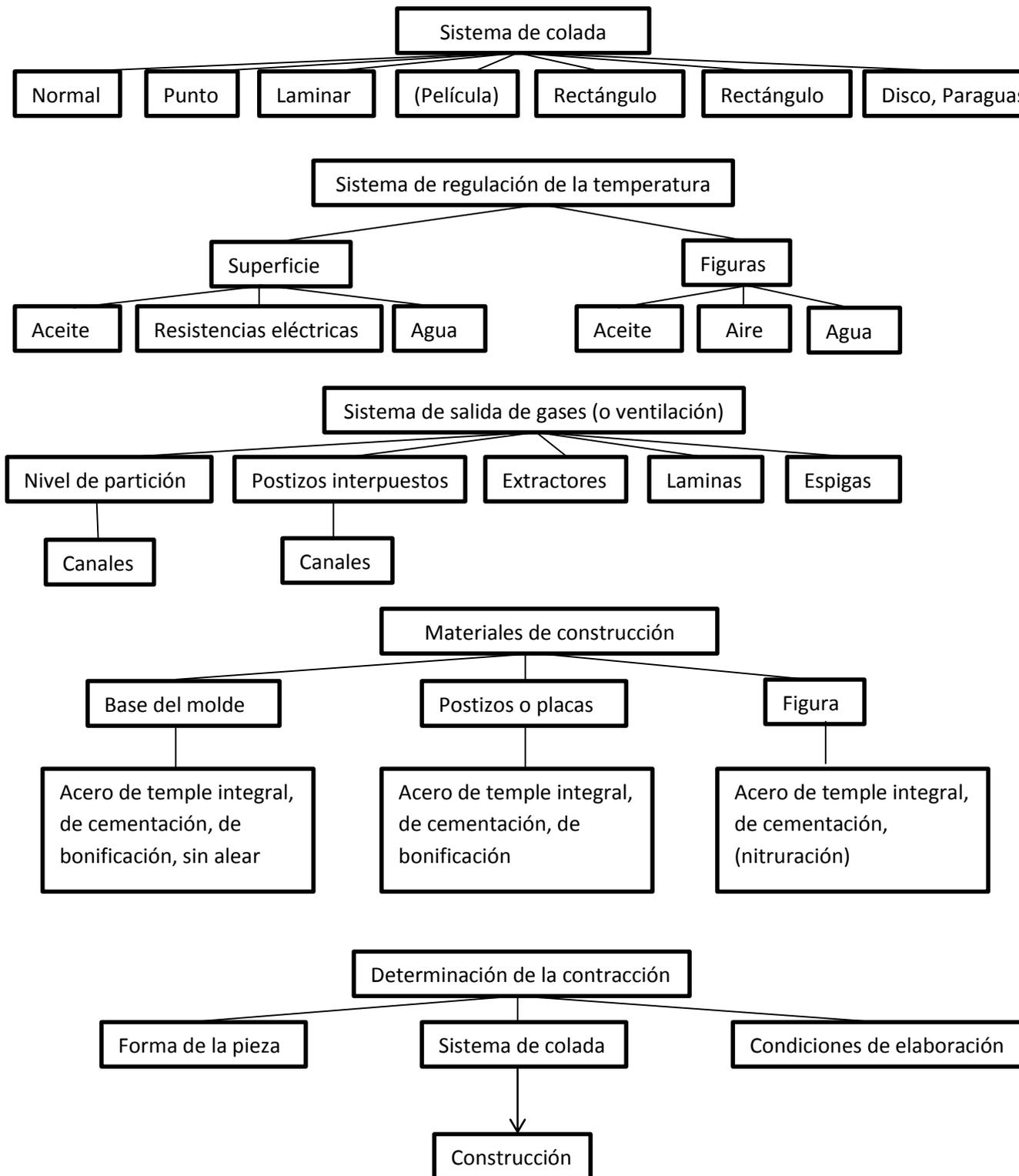
<sup>17</sup> Instrumento portátil de medición rápida.

## 1.2 MÉTODO DE MOLDEO

### 1.2.1 ASPECTOS FUNDAMENTALES EN LA CONSTRUCCIÓN DE MOLDES.

Si se observa críticamente un gran número de moldes de inyección, resultan determinados grupos y clases que se diferencian entre si por su construcción completamente diferente. Tal clasificación, si es que quiere ser comprensible, no puede contener todas las posibilidades de combinación entre los diferentes grupos y clases. Es posible que nuevas experiencias y resultados obliguen a una ampliación de la misma.





**Flujo grama 1.1 Construcción de moldes<sup>18</sup>.**

<sup>18</sup> Fuente: Autor.

Esta clasificación ya cumple con su objetivo si transmite de forma clara y detallada las experiencias adquiridas hasta ahora en la construcción de moldes de inyección. Al tratar un nuevo problema el proyectista puede ver como se ha construido o se ha de construir un molde en casos similares.

Sin embargo, el proyectista puede ver como se ha construido o se ha de construir un molde en caos similar. Sin embargo una exigencia elemental de cada molde que ha de utilizarse en una máquina automática es que las piezas se desmolde en automáticamente sin necesidad de una operación adicional (separación de la colada, operación para determinadas realizaciones, etc.).

La clasificación de moldes de inyección se rige lógicamente por las características principales de construcción y función. Estas son:

- El tipo de colada y su separación,
- El tipo de expulsión de las piezas inyectadas,
- La existencia o no de contrasalidas exteriores en la pieza a inyectar,
- El tipo de desmoldeo,

El flujo grama. 1 representa un procedimiento para el desarrollo metódico y planificado de moldes de inyección. Para la construcción y dimensionado de piezas de perfil y sus correspondientes moldes se utilizan cada vez con mayor frecuencia el método de elementos finitos (FEM), así como procedimientos de cálculo como Cadform, Cadmould, Moldflow, etc. Con estos métodos se pueden reducir el tiempo de desarrollo y los costos, así como optimizar la funcionalidad de las piezas. Solo cuando se han determinado la pieza a inyectar y todas las exigencias que influyen en el diseño de un molde, se puede ejecutar la construcción definitiva de este.

### 1.2.2 CLASIFICACIÓN DE MOLDES A INYECCIÓN<sup>19</sup>.

La norma DIN E 16750 Moldes de inyección para materiales plásticos contiene una división de los moldes según el siguiente esquema:

- Molde estándar (molde de dos placas),
- Molde de mordazas (molde de correderas),
- Molde de extracción por segmentos.
- Molde de tres placas,
- Molde de pisos (molde sándwich),
- Molde de canal caliente.

Análogamente a los moldes de canal caliente para la inyección de materiales termoplásticos existen moldes de canal frío para la inyección sin colada de material termoestable. Si no es posible la disposición de canales de distribución en el plano de partición, o si se han de unir centralmente las piezas de un molde con cavidades múltiples, se requiere un segmento plano de separación para el desmolde del distribuidor solidificado (molde de tres placas) o una alimentación del material a través de un sistema de canal caliente. En moldes de pisos se montan prácticamente dos moldes de pisos se montan prácticamente dos moldes en serie en el sentido de cierre, sin que se requiera el doble de fuerza de cierre. La condición previa para este tipo de moldes es una elevada cantidad de piezas relativamente fáciles, como por ejemplo piezas relativamente fáciles, como por ejemplo piezas de forma plana. Como ventaja esencial se han de mencionar los bajos costos de producción. Los moldes de pisos hoy se equipan sin excepción con sistemas de canal caliente con extremadas exigencias, sobre todo en lo que al equilibrio térmico (homogeneidad térmica) se refiere.

---

<sup>19</sup>Referencia libro de Moldes de inyección para plásticos, Normas DIN E 16750, Dipl. Ing. Hans Gastrow.

Para la extracción de las piezas se utilizan preferentemente extractores de tipo pasador cilíndrico. Frecuentemente también asumen la función de purgar el aire o gas de la cavidad correspondiente. Desde que la técnica de electroerosión por penetración se aplica para la fabricación de moldes, se han acentuado los problemas de oclusión de gases en las cavidades. Si antes las cavidades se componían de varias partes con la posibilidad de una salida de gases eficaz en las superficies de contacto entre estas partes con la posibilidad de una salida de gases eficaz en las superficies de contacto entre estas partes con la posibilidad de una salida de gases eficaz en las superficies de contacto entre estas partes, hoy es posible en muchos casos fabricar una cavidad a partir de un bloque macizo utilizando la técnica de electroerosión por penetración. Por lo tanto se ha de asegurar que la inyección desplace totalmente los gases. También se han de evitar oquedades a causa de los gases, sobre todo en puntos críticos. Una cavidad mal purgada puede producir una cascarilla de recubrimiento en el molde, o puede producir el efecto Diesel y, en última consecuencia, generar problemas de corrosión. El tamaño de un orificio de ventilación depende en gran medida de la viscosidad del material a inyectar. La anchura de estos orificios oscila entre 1/100 y 2/100 mm. Con materiales de viscosidad extremadamente baja pueden ser suficientes orificios de  $> 1/1000$  mm de anchura. Se ha de tener en cuenta que donde existan estos orificios tan pequeños no es posible, por lo general, una ventilación eficaz.

Las partes móviles del molde se han de guiar y centrar. Las columnas de guía de una placa móvil en una máquina de inyección son, como mucho, un preajuste basto. Es necesario siempre un ajuste interno del molde de inyección.

Los moldes de inyección se fabrican generalmente con aceros para herramientas. En función de los materiales a inyectar se ha de seleccionar

cuidadosamente el material a utilizar. Las exigencias respecto a estos aceros son, entre otras:

Alta resistencia al desgaste,  
Alta resistencia a la corrosión,

### **1.2.3 CLASIFICACIÓN DE COLADAS Y ENTRADAS<sup>20</sup>.**

#### **1.2.3.1 Sistemas de colada fría.**

Según DIN 24 450 se diferencia entre:

- Colada, como componente de la pieza inyectada, pero que no forma parte de la pieza v propiamente dicha,
- Canal de colada, definido desde el punto de introducción de la masa plastificada en el molde hasta la entrada.
- Entrada, como sección del canal de colada en el punto donde se una con la cavidad del molde.

El camino del material hasta la cavidad debería ser lo más corto posible para, entre otras cosas, minimizar las pérdidas de presión y de calor. El tipo de ejecución y la situación de la colada/sección de entrada tienen mucha importancia respecto a:

- Fabricación económica
- Propiedades de la pieza inyectada,
- Tolerancias,
- Uniones,
- Tensiones propias del material, etc.

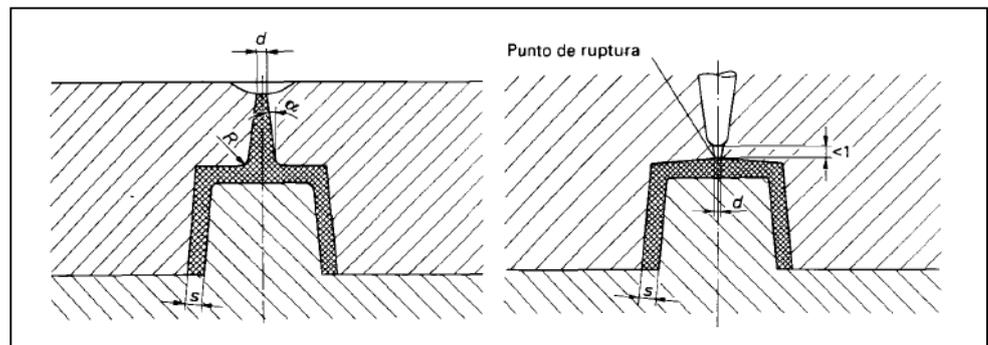
---

<sup>20</sup> Referencia libro de Moldes de inyección para plásticos, Normas DIN 24\_450, Dipl. Ing. Hans Gastrow.

A continuación se expone un resumen de los tipos de sistemas de coladas y entradas frías más usuales<sup>21</sup>.

### 1.2.3.2 Colada cónica con o sin barra.

Se aplica por lo general para piezas de espesores de pared relativamente grueso, y también para la transformación de materiales de elevada viscosidad en condiciones térmicamente desfavorables. La barra ha de separarse después del desmoldeo de la pieza.



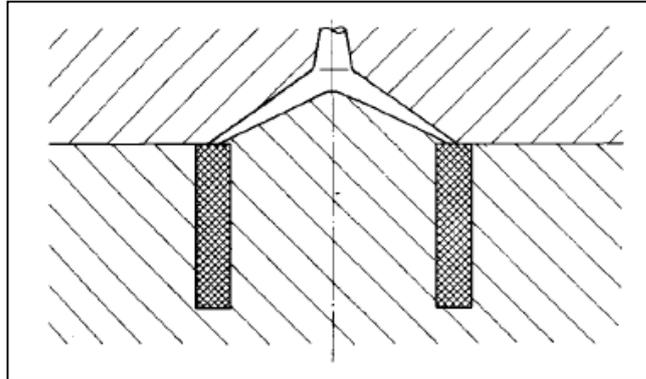
**Figura 1.16'**  $a$  = ángulo de desmoldeo,  $s$  = espesor de pared.  
 $d$  = colada cónica (diámetro),  $d \geq s$ ,  $d \geq 0,5$  <sup>22</sup>.

### 1.2.3.2 Entrada puntiforme (o capilar).

A diferencia de la colada de barra, la colada de sección puntiforme se separa generalmente de forma automática. Si molestan los pequeños restos de esta sección puede tener de una pequeña cavidad lenticular en la superficie de la propia pieza. Para la expulsión automática de una colada cónica con sección puntiforme se utilizan las boquillas neumáticas de uso general.

---

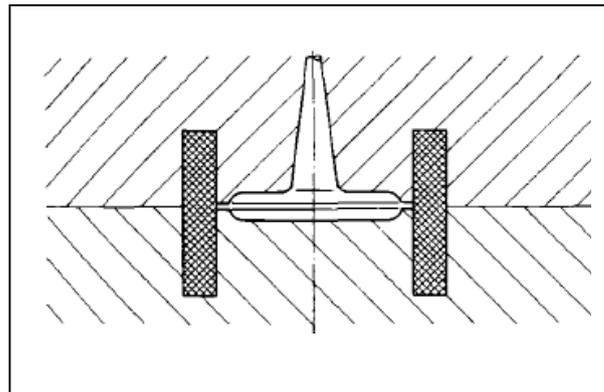
<sup>22</sup> Imagen ángulo de desmoldeo libro de Moldes de inyección para plásticos, Dipl. Ing. Hans Gastrow.



**Figura 1.17** Entrada puntiforme  $d \leq 2/3 s$  <sup>23</sup>.

#### 1.2.3.4 Colada de paraguas.

La colada de paraguas es adecuada para la fabricación, por ejemplo, de cojinete de fricción con una precisión de redondez elevada, evitando además al máximo la existencia de líneas de unión. Las desventajas son el apoyo unilateral del apoyo central y la necesidad de operaciones de mecanizado para eliminar la colada.



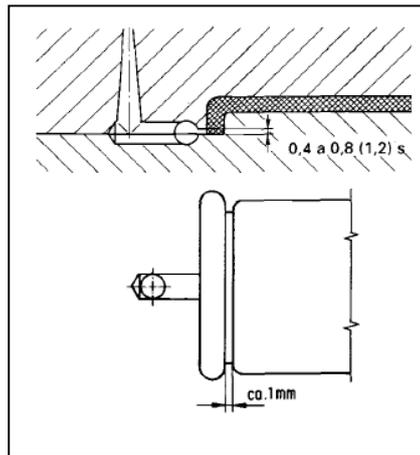
**Figura 1.18** Colada de paraguas<sup>24</sup>.

<sup>23</sup> Imagen de entrada de colada puntiforme libro de moldes de inyección para plásticos, Dipl. Ing. Has Gastrow.

<sup>24</sup> Imagen de colada de paraguas de libro de Moldes de inyección para plásticos, Dipl. Ing. Hans Gastrow.

### 1.2.3.5 Colada de disco.

Aquí se unen preferentemente piezas cilíndricas por el interior, sin líneas de unión residuales. En el caso de materiales fibrosos de refuerzo (por ejemplo fibras de vidrio), la colada de disco puede favorecer la tendencia a laS contracción. La colada se ha de eliminar después del desmoldeo.



**Figura 1.19** Colada de disco<sup>25</sup>.

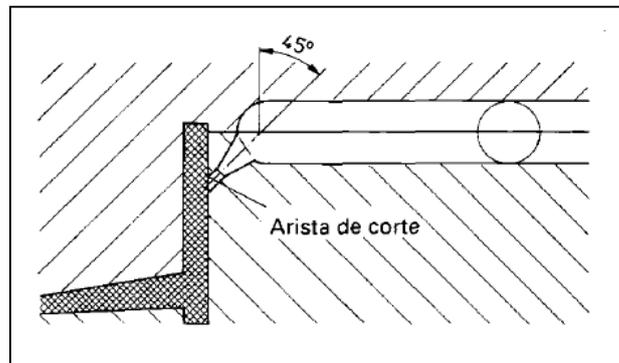
### 1.2.3.6 Entrada laminar o de cinta

Para fabricar piezas planas con un mínimo de contracción y de tensión es aconsejable la entrada en forma de cinta.

Con una anchura igual a la de la pieza, este tipo de entrada origina una distribución homogénea del frente de la colada. Un cierto adelantamiento del material líquido en el sector de la colada de barra se puede compensar con la corrección de la sección de entrada. Pero en el caso de moldes sencillos la entrada está situada fuera del eje de gravedad de la pieza, lo que puede conducir a un desgaste del molde y formación de

<sup>25</sup> Imagen colada de disco del libro de Moldes de inyección para plásticos, Dipl. Ing. Hans Gastrow

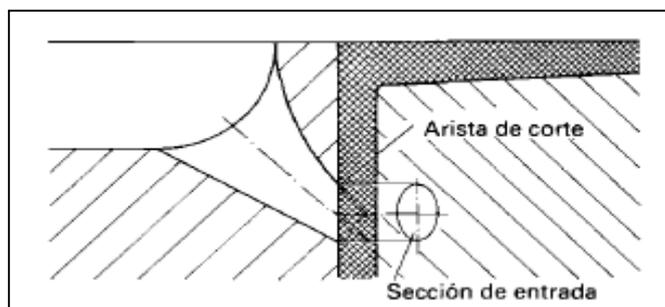
cascarilla. La lámina de entrada es cizallada generalmente, por lo que no impide una fabricación automática.



**Figura 1.20** Entrada de cinta preferentemente para piezas de gran superficie<sup>26</sup>.

### 1.2.3.7 Entrada de túnel o submarina

Según la disposición, la entrada es separada de la colada al abrir el molde o por medio de una arista cortante en el momento de expulsar la pieza. La entrada de túnel es adecuada para la inyección lateral de las piezas. Sin tener en cuenta los posibles problemas por obturación precoz, la entrada de túnel permite secciones muy pequeñas, y con ello se consiguen marcas residuales casi invisibles sobre la pieza. Cuando se inyectan materiales abrasivos, la arista de corte está sometida a un mayor desgaste, lo cual conduce a problemas de separación de la colada.



**Figura 1.21** Entrada de túnel (o submarina)<sup>27</sup>.

<sup>26</sup> Imagen entrada de cinta preferentemente para piezas de gran superficie, libro de Moldes de inyección para plásticos, Dipl. Ing. Hans Gastrow

<sup>27</sup> Imagen entrada de túnel libro de Moldes de inyección para plásticos, Dipl. Ing. Hans Gastrow.

#### **1.2.4 MOLDES EN CANAL CALIENTE**

Los sistemas de canal caliente se utilizan para la inyección sin colada de piezas termoplásticas. Pero también se puede aplicar como canal caliente parcial, o sea, con subdistribuidores, aprovechando las ventajas de estos. Con una ejecución correcta, los sistemas de canal caliente presentan una menor pérdida de presión respecto a moldes comparables con sistemas de distribuciones de solidificación. De esta forma, con sistemas de canal caliente se pueden inyectar piezas extremadamente grandes como, por ejemplo, parachoques para automóviles.

La fabricación óptima de piezas en moldes de pisos solo es posible utilizando la técnica de canal caliente.

Eliminando completamente el subdistribuidor de solidificación, se puede aprovechar mejor el volumen de una máquina de inyección. En este sentido se puede reducir el tiempo de llenado, lo cual significa una reducción del tiempo de ciclo.

Los principios de construcción de los distintos sistemas de canal caliente pueden ser muy diferentes. Estos es válido tanto para el bloque de distribución como para las boquillas de canal caliente (bebederos), cuyo tipo y forma son gran importancia según las propiedades de la pieza a inyectar (tabla 1.4).

Elementos	Tipos de ejecución
Bloque de distribución Del canal caliente	Calentamiento exterior Calentamiento interior
Boquillas de canal caliente	Calentamiento exterior directo Calentamiento exterior indirecto Calentamiento interior directo Calentamiento interno indirecto Calentamiento interno y externo
Tipo de boquillas de canal caliente	Boquillas abiertas, con y sin punta conductora de calor (torpedo). Punta conductora de calor (torpedo) Cierre de aguja neumático, manual o hidráulico.

**Tabla 1.4** *Propiedades de la pieza a inyectar.*

Los diferentes sistemas de canal caliente no son necesariamente adecuados de forma similar para todos los tipos de termoplásticos, aun cuando así se diga a menudo. Como criterio especial debería utilizarse el tratamiento delicado del material. Esto obliga a aplicar principios de construcción complejos en el aspecto térmico. En este sentido, los moldes de canal caliente son más complicados y frecuentemente, también más propensos a las averías que los moldes convencionales. Por lo demás para estos moldes se han de aplicar de forma amplia las normas de la mecánica de precisión. El molde ha de estar preparado para materiales con propiedades corrosivas y/o abrasivas. También se ha de tener en cuenta, por ejemplo, la incompatibilidad del contacto del material con el cobre y sus aleaciones, debido a que pueden conducir a síntomas de descomposición catalítica. Los fabricantes ofrecen sistemas equipados en este sentido. Debido a su mejor comportamiento térmico, se deberían preferir los sistemas de canal caliente con regulación de temperatura continua en lugar de los de temperatura programada.

En moldes pequeños y, sobre todo, en moldes mayores con bloques de distribución de gran tamaño, se aplica un equilibrio natural o artificial de los canales con el objetivo de una homogeneización de la presión o para equilibrar las pérdidas de presión. En el equilibrado natural se ha elegido la misma longitud, por lo general, de los canales en el distribuidor. En el equilibrado artificial se consigue el objetivo por medio de la variación correspondiente de los diámetros de los canales de distribución. El equilibrio natural tiene la ventaja de la independencia de los parámetros de trabajo, como son la temperatura y la velocidad, pero significa un bloque de distribución más complejo, ya que por lo general se ha de distribuir el material a través de varios pisos.

Un sistema óptimo de canal caliente ha de permitir un cambio de material en el menor tiempo posible (cambio de calor), ya que el material que no se encuentre en su punto óptimo puede limitar las propiedades de la pieza.

Las boquillas de canal caliente abiertas favorecen el goteo. Después de abrir el molde, el material puede expandirse a través de la entrada hacia la cavidad y forma un tapón frío que en la siguiente pieza no será licuado necesariamente. En casos extremos, este tapón puede obstruir seriamente la entrada.

Con ayuda de una descompresión del husillo de la maquina (retroceso del husillo antes de abrir el molde), que es posible en todas las maquinas de inyección de tecnología actual, o también con ayuda de una cámara de succión del material en el bebedero, se puede solucionar este problema. Pero la descompresión siempre ha de realizarse en el límite inferior, para evitar de forma segura la aspiración de aire atmosférico en la colada, canal de colada o en la sección de entrada.

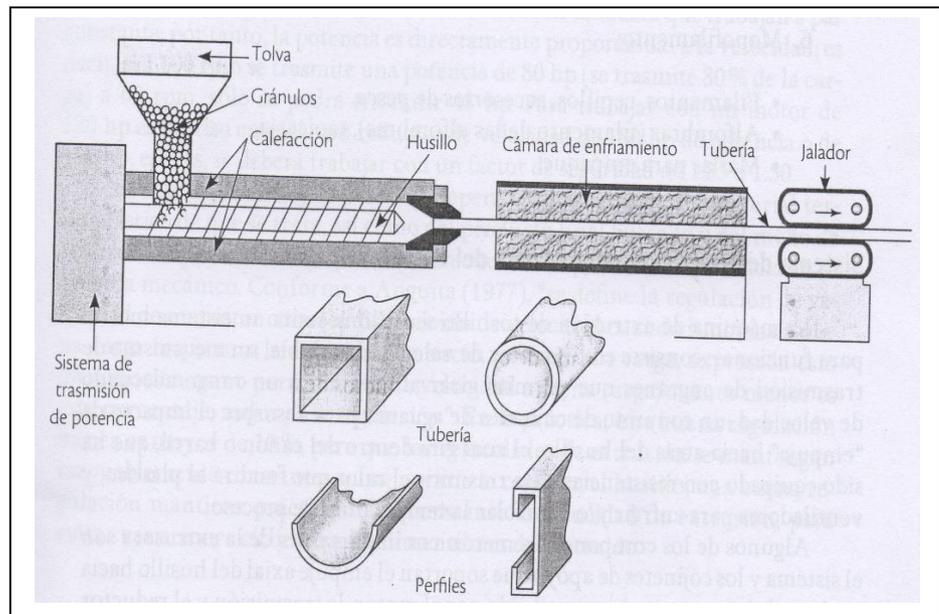
Aunque la técnica del canal caliente ha alcanzado unas cotas de tecnología elevadas, el usuario ha de tener siempre en cuenta que

requiere un costo mayor de mantenimiento debido al personal especialmente cualificado.

## 1.2.5 MOLDES DE INYECCIÓN SIMPLE.

### 1.2.5.1 Tuberías:

- Tubería para conducción, drenaje y químicos.
- Manguera para jardín.
- Manguera para uso médico y automotriz.
- Popotes.



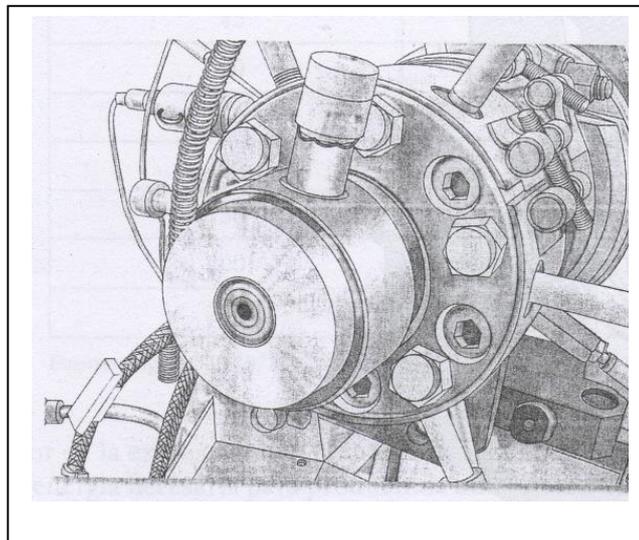
**Figura 1.22** Equipo para extrusión de perfiles<sup>28</sup>.

## 1.2.6 DESCRIPCIÓN DE MOLDE EN LÍNEA.

<sup>28</sup> Imagen de equipo para extrusión de perfiles, Introducción a la ciencia y tecnología de los plásticos autor J. Eduardo Morales Mendez.

Cuando un material alimenta al extrusor por la tolva, es atrapado por el husillo y empujado a través del cilindro, donde por el calor generado por la fricción y el proporcionado por las resistencias eléctricas colocadas como cinchos en la parte exterior del cañón, se plastifica lo suficiente para continuar su viaje hasta la boquilla.

De esta manera, la energía para plastificar el material proviene mayormente del motor, el cual hace girar el husillo. En la mayoría de los casos, se cubre la parte exterior del cañón para mantener constante la temperatura. El husillo, cuando gira, trata de desenroscarse y salir del cañón hacia atrás. No puede irse porque un cojinete grande lo mantiene en su posición. De esta forma, el empuje del tornillo provoca que el material salga a través del cabezal donde se encuentra la placa rompedora y el dado o matriz. Todo el cabezal actúa como una resistencia al flujo. El husillo debe trabajar para empujar el material (se requiere una gran fuerza para hacer girar el tornillo).



**Figura 1.23** Cabezal con boquilla circular de extrusión<sup>29</sup>.

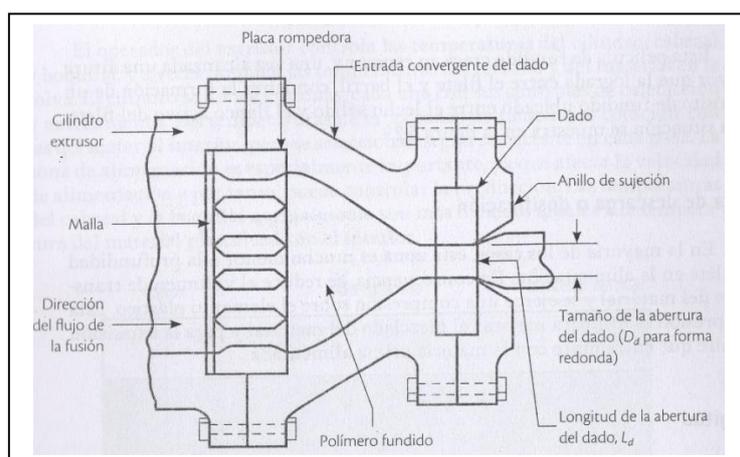
---

<sup>29</sup> Imagen del cabezal con boquilla circular de extrusión, Introducción a la ciencia y tecnología de los plásticos autor J. Eduardo Morales Mendez.

Cuando el material plastificado sale de la boquilla (dado, matriz, etc.), toma la forma de esta, y así se obtiene el producto. Una rendija larga hace una película plana o una lámina, una abertura circular hace tubos, muchos agujeros pequeños hacen filamentos, etc. Ya fuera del cabezal, el plástico se enfría (con aire, agua o contacto con rodillos metálicos), se estira, y al fin se enrolla o se corta en las dimensiones requeridas.

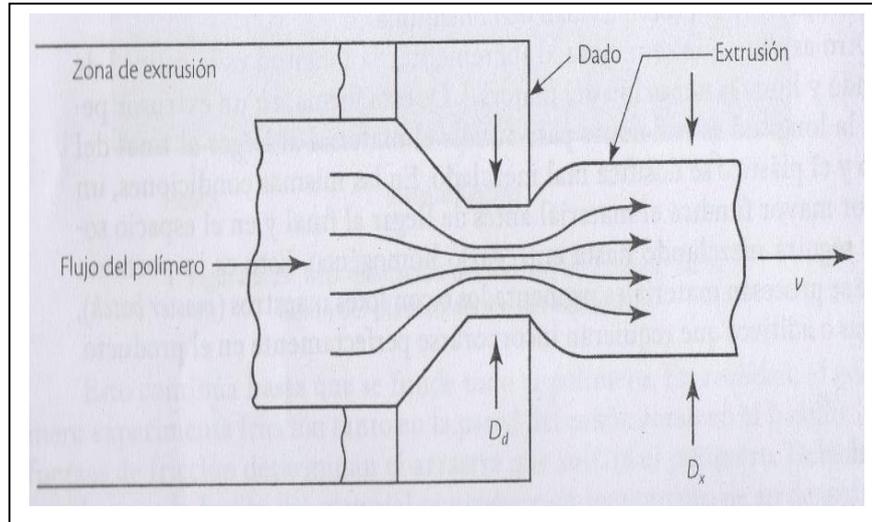
### 1.2.6.1 CABEZAL<sup>30</sup>

El cabezal es la parte final del extrusor, es la placa que se acopla al cañón, y está formada por dos placas: una fija al cañón y otra móvil, en la que se colocan la placa rompedora, una placa soporte o convergente del dado, el dado o matriz y el anillo de sujeción. Una de las propiedades del plástico es su viscoelasticidad (memoria del polímero), y en la extrusión se refleja como un fenómeno de la dilatación. El plástico se expande cuando sale de la abertura del dado (**Figura 1.23**). Al pasar por el estrecho canal del dado el material extruido “recuerda” su antigua forma y tiende a retornar a ella después de dejar el orificio de aquel (para abatir este fenómeno se utiliza una placa rompedora).



**Figura 1.24** Cabezal del extrusor<sup>31</sup>.

<sup>30</sup>Referencia: introducción a la ciencia y tecnología de los plásticos autor J. Eduardo Morales Mendez.



**Figura 1.25** Dilatación de un polímero en el dado de extrusión<sup>32</sup>.

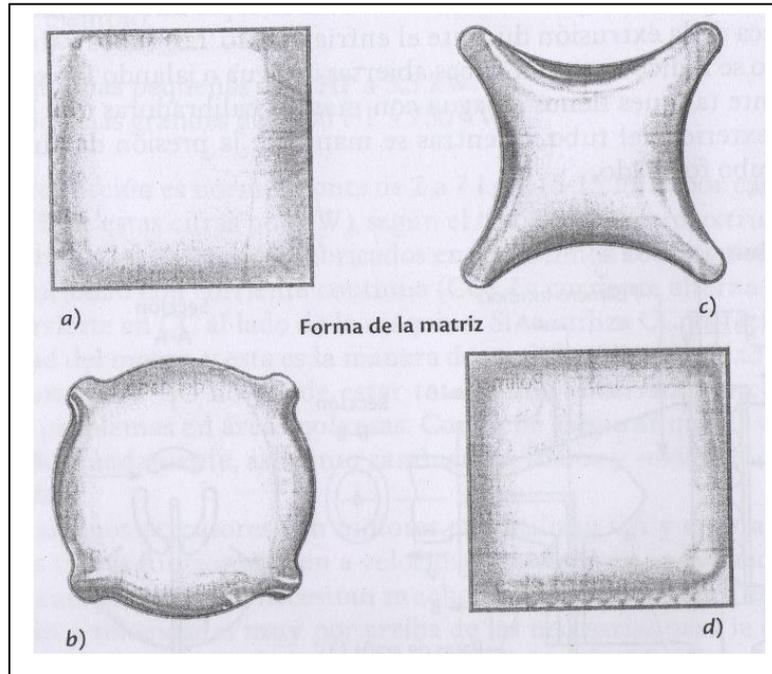
La dilatación en el dado puede medirse fácilmente para una sección transversal circular por medio de la relación de dilatación, que se define como:

$$rs = \frac{D_x}{D_d}$$

Como se indicó, el objetivo de la extrusión es la producción de un producto continuo y específicamente formado dentro de tolerancia dimensionales muy estrictas; esto se hace utilizando una matriz que, excepto en caso especiales, tiene una sección que varía considerablemente de la pieza terminada, como se observa en la (**figura 1.24 y 1.25**).

<sup>31</sup> Imagen cabezal del extrusor, Introducción a la ciencia y tecnología de los plásticos autor J. Eduardo Morales Mendez.

<sup>32</sup> Imagen sección de matriz y producto, Introducción a la ciencia y tecnología de los plásticos autor J. Eduardo Morales Mendez.



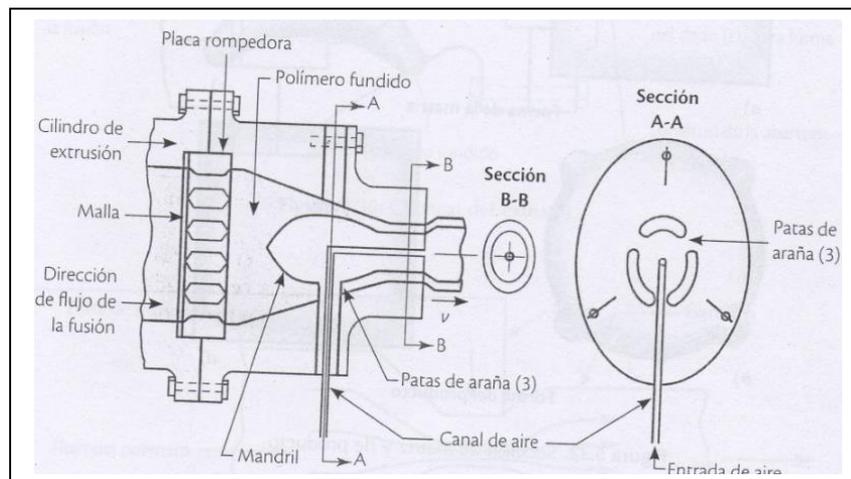
**Figura 1.26** Sección de matriz y de producto<sup>33</sup>.

Según se aprecia en la figura, con una sección cuadrada del dado como la de (a), la forma extruida tendrá una sección parecida a la de (b); por eso, para producir una barra de sección (d), la abertura del dado deberá ser parecida a (c).

La placa rompedora y las mallas tiene la función de “romper” la memoria del plástico; de esta manera, se tienen flujos laminares. El dado está diseñado de tal manera que mantienen el flujo laminar y evita los puntos muertos en las esquinas (**Figura 1.26**) que podrían presentarse cerca del orificio. La fusión fluye a través de la abertura misma del dado. Cuando el material deja el dado todavía está suave. Los polímeros con alta viscosidad de fusión son los mejores candidatos para la extrusión, ya que durante el enfriado mantienen mejor la forma. El enfriado se realiza por soplo de aire, por rociado con agua o pasado el extruido en una cuba o depósito de agua. Algunas veces, se estira el extruido para compensar la expansión de la dilatación en el dado. La extrusión de perfiles huecos,

<sup>33</sup> Imagen sección de matriz y de producto , , Introducción a la ciencia y tecnología de los plásticos autor J. Eduardo Morales Mendez.

como tubos, ductos, mangueras y otras secciones similares, requiere un mandril para dar la forma hueca. Una configuración característica del dado se ilustra en la (**figura 1.27**). El mandril se mantiene en su lugar mediante una araña. El polímero fundido fluye alrededor de las patas soportan el mandril para volver a reunirse, formando la pared monolítica del tubo. El mandril incluye con frecuencia un canal a través del cual sopla aire para enfriar el cabezal y mantener la forma hueca de la extrusión durante el enfriamiento. Los tubos y ducto se enfrían, como se indicó antes, en cubas abiertas de agua o jalando la extrusión suave mediante tanques llenos de agua con mangas calibradoras que limitan el diámetro exterior del tubo, mientras se mantiene la presión de aire en el interior del tubo formado<sup>34</sup>.



**Figura 1.27** Cabezal de extrusión de perfiles huecos (tuberías)<sup>35</sup>.

<sup>34</sup> Referencia: introducción a la ciencia y tecnología de los plásticos autor J. Eduardo Morales Mendez.

<sup>35</sup> Imagen de cabezal de extrusión de perfiles huecos (tuberías), Introducción a la ciencia y tecnología de los plásticos autor J. Eduardo Morales Mendez.

### **1.2.7 ALTERNATIVAS DE DISEÑO.**

Todo proyecto en su etapa de diseño está sometido a una serie de alternativas con el fin de seleccionar la apropiada y solucionar de la mejor manera el problema planteado.

Para seleccionar la mejor alternativa de diseño, se comienza realizando un estudio del problema en el cual analiza los requerimientos de la matriz a construirse, así como también el tipo de piezas a ser fabricadas.

En base al estudio anterior se fijaron los siguientes factores técnicos de diseño de la siguiente manera.

- Funcionalidad
- Operación
- Acoplamiento
- Montaje

Además de los factores anteriores también se fijaron factores económicos de la siguiente manera:

- Materia Prima
- Proceso de Fabricación
- Costos

### **1.2.8 FACILIDAD DE CONSTRUCCIÓN.**

Una **temperatura de molde uniforme** significa que la temperatura de cada mitad del molde es la misma (dentro de  $\pm 3^{\circ}\text{C}$  ( $5^{\circ}\text{F}$ ) para todas localizaciones cuando se calienta el molde por aceite o vapor. Los moldes que están calentados con calentadores de cartucho eléctrico pueden

variar tanto como 6°C (10°F). Un molde con una temperatura uniforme llenará más fácilmente y producirá piezas con menos deformación, una mejorada estabilidad dimensional y una apariencia de la superficie uniforme. Al lograr una temperatura de molde uniforme depende de su método de calentar el molde.

Un molde **calentado por vapor o aceite** tendrá una temperatura de molde uniforme porque la fuente de calefacción mantiene una temperatura constante. Sin embargo, el aceite como fuente de calefacción, sólo es alrededor de la mitad eficiente que el vapor. Por lo tanto, cuando se usa aceite para calentar un molde, es necesario ponerse la temperatura del aceite más alta que la temperatura deseada del molde.

Un molde **calentado por vapor o aceite** tendrá una temperatura de molde uniforme porque la fuente de calefacción mantiene una temperatura constante. Sin embargo, el aceite como fuente de calefacción, sólo es alrededor de la mitad eficiente que el vapor. Por lo tanto, cuando se usa aceite para calentar un molde, es necesario ponerse la temperatura del aceite más alta que la temperatura deseada del molde.

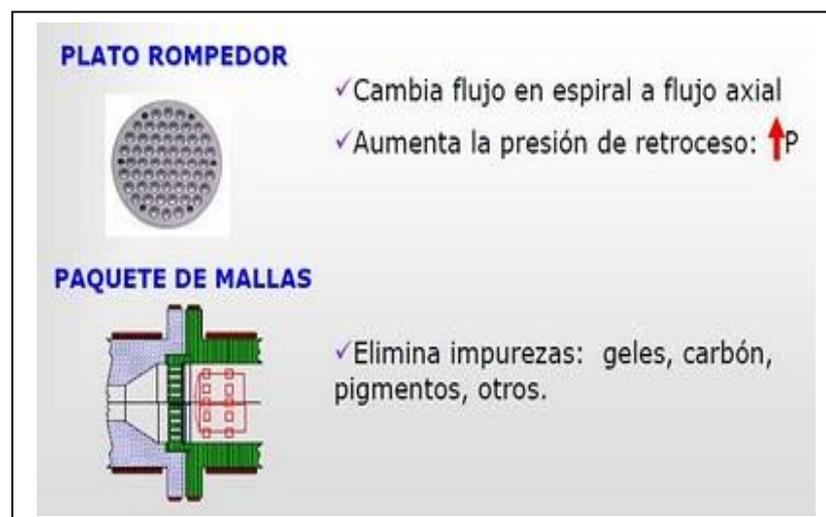
Para determinar la cantidad de voltaje necesaria para calentar un molde, el uso de la siguiente fórmula puede ser útil: **1¼ kilovatios para cada 45 Kg (100 libras) de acero de molde**. Nota: Esta fórmula normalmente permitirá el molde calentar a las temperaturas de moldeo en 1 a 2 horas.

### **1.2.9 FACILIDAD DE MONTAJE.**

La facilidad de armar un molde para realizar perfiles es sumamente sencilla pero hay que tomar en cuentas las partes del molde como están conformadas.

**El Cabezal:** El componente de la línea denominado cabezal, es el responsable de conformar o proporcionar la forma del extrudado. De forma detallada, los principales componentes de un cabezal para la extrusión son:

**Plato rompedor y filtros:** Constituyen el punto de transición entre la extrusora y el cabezal. A estos componentes les corresponde una parte importante de la calidad del material extrudado. El plato rompedor es el primer elemento del cabezal destinado a romper con el patrón de flujo en espiral que el tornillo imparte; mientras que la función de los filtros es la de eliminar del extrudado partículas y/o grumos provenientes de impurezas, carbonización, pigmentos y/o aditivos, etc.

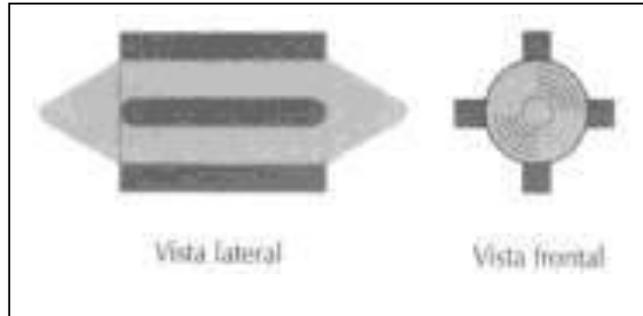


**Figura 1.28** Plato rompedor y Paquete de Mallas<sup>36</sup>.

En lo que respecta a su diseño, el plato rompedor no es más que una placa cilíndrica horadada. Por otro lado, las mallas deben ser fabricadas con acero inoxidable, ya que las compuestas con cobre o bronce tienen un efecto catalítico sobre las reacciones termo-oxidativas. Torpedo: Algunos cabezales de extrusión suelen presentar en el ducto de acople entre la extrusora y el cabezal, un elemento que

<sup>36</sup> Imagen plato rompedor y paquete de mallas,

contribuye con la función del plato rompedor (modificar el patrón de flujo en espiral a uno longitudinal). Por su geometría, a este dispositivo se le suele denominar torpedo.



**Figura 1.29** Esquema de un torpedo de un cabezal de extrusión de película tubular<sup>37</sup>.

#### 1.2.10 DIMENSIONES Y CAVIDADES DEL MOLDE<sup>38</sup>.

La cavidad es la forma negativa del producto final, y tiene las siguientes funciones:

- Distribuir la masa plástica.
- Garantizar las dimensiones de la pieza.
- Resistir la presión de la masa plástica.
- Garantizar la calidad de la superficie de la pieza.

Al configurar las piezas proyectadas, hay que pensar en que todas las superficies situadas en la dirección del movimiento de apertura y cierre del molde, han de realizarse con una determinada inclinación para facilitar el desmoldeo. También las secciones de punzones y otras piezas de desplazamiento lateral, accionadas en ángulo respecto al eje del

<sup>37</sup> Imagen torpedo de un cabezal de extrusión película tubular, [tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/extrusión-de-materiales-plasticos.html](http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/extrusión-de-materiales-plasticos.html)

<sup>38</sup> Referencia: [tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/extrusión-de-materiales-plasticos.html](http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/extrusión-de-materiales-plasticos.html)

movimiento del molde, han de tener una adecuada inclinación. Esta inclinación para facilitar el desmoldeo, se llama también conicidad de desmoldeo.

Esa conicidad se situará en el lado de la pieza más conveniente para que al ser extraída quede adherida a una u otra parte del molde. El valor adecuado para esa conicidad depende principalmente del recorrido de desmoldeo, aunque también depende del diámetro.

También hay que tener en cuenta la contracción. La contracción es mayor cuanto mayores sean las dimensiones de la pieza, y debe ser compensado con mayor conicidad.

Para el diseño de la cavidad hay que tener en cuenta el plano de la pieza. Si queremos que la pieza obtenida en el proceso tenga las dimensiones requeridas, deberemos diseñar la cavidad con las dimensiones aumentadas respecto de las de la pieza. Las dimensiones de la pieza respecto las del molde varían debido a tres factores:

#### **1.2.10.1 Deformación elástica del molde**

Las presiones de inyección y residual deforman el molde, es decir, éste se ensancha en virtud de la presión existente en su interior. De este modo, penetra mayor cantidad de masa que la necesaria para el llenado de la cavidad sin presión. Por una parte, la presión de inyección hace que se dilate la matriz ensanchándola, ampliando sus dimensiones. Por otra, a veces el núcleo tiene refrigeración interior, lo que quiere decir que está taladrado pudiéndole considerar también como un cilindro hueco. De esta forma la presión de inyección también podría causar una deformación considerable en el macho.

### 1.2.10.2 Contracciones.

En el diseño de la cavidad del molde también tenemos que considerar dos tipos de contracción:

- Una inicial, que tiene lugar mientras se enfría la pieza durante el proceso.
- Otra de postmoldeo, que ocurre durante las horas siguientes al moldeo de la pieza.

Los valores de ambas dependen no sólo del tipo de material, sino también de las condiciones de procesado: presión, temperaturas y tiempo de enfriamiento en el molde, e incluso depende de si la dimensión de la que hablamos es paralela o perpendicular al flujo. El coeficiente de contracción suele aumentar cuando aumenta la temperatura de inyección y suele disminuir cuando aumenta la presión de inyección o la velocidad de inyección.

La contracción de los polímeros cristalinos es mayor que en los amorfos, debido a que al cristalizar disminuyen su volumen. Además, esta cristalización es menor, cuando el enfriamiento se produce de una forma más rápida. El grado de cristalización y, por tanto, el coeficiente de contracción están relacionados con el tiempo de enfriamiento y, en consecuencia, con los factores que lo determinan. Es difícil calcular el efecto de los diferentes factores que controlan la contracción total de la pieza moldeada, por lo que los proyectistas han de confiar en la experiencia para calcular las tolerancias por contracción.

### 1.2.10.3 Rugosidad, aspecto externo de la pieza.

El aspecto externo no sólo depende del acabado superficial que se dé en la cavidad, sino que también depende de las condiciones del proceso: la relación entre la temperatura del material y la del molde, el tiempo que dura el ciclo, si las condiciones son o no adecuadas.

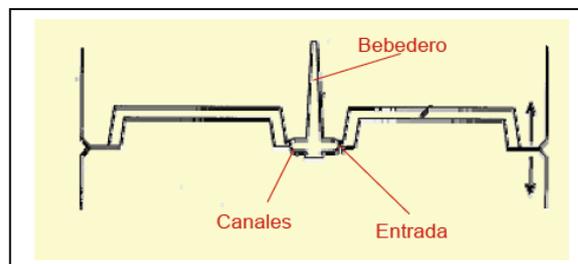
## 1.3 SISTEMAS QUE COMPONEN LOS MOLDES DE INYECCIÓN.

### 1.3.1 SISTEMA DE ALIMENTACION

El sistema de alimentación se encarga de trasladar el polímero fundido desde la unidad de inyección hasta la cavidad del molde.

El sistema se compone de:

- Bebedero
- Canales
- Entrada



**Figura 1.30** Sistema de alimentación a inyección<sup>39</sup>.

<sup>39</sup> Imagen sistema de alimentación a inyección, [www.eis.uva.es/~macromol/curso07-08/inyeccion/el\\_molde.html](http://www.eis.uva.es/~macromol/curso07-08/inyeccion/el_molde.html)

Los objetivos que deben buscar son:

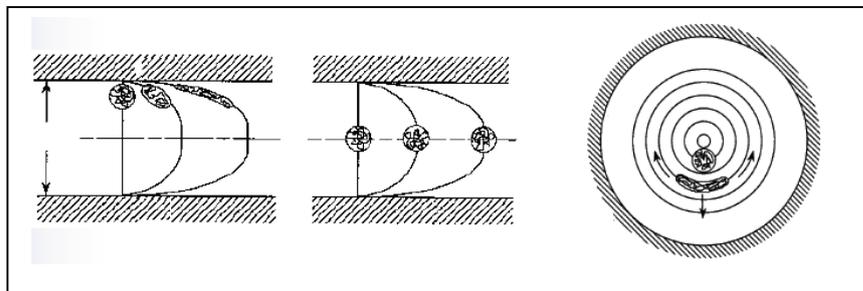
- Llenado correcto de la cavidad
- Ciclos cortos
- Mínimos desechos
- Mínimos impacto visual superficial

Un llenado correcto es aquel que dan lugar a:

- La obtención de unas correctas características mecánicas
- Buenas líneas de soldadura
- Distribución de presiones adecuadas
- Distribución de temperaturas correcta
- Llenado completo del molde

### 1.3.2 ORIENTACIÓN MOLECULAR

La disposición final de las moléculas tiene una gran influencia en las características mecánicas y geométricas de la pieza. Esta orientación esta influencia por el peso molecular, los refuerzos de la masa, las características de relajación y las condiciones de procesamiento.



**Figura 1.31** Orientación de la influencia por el peso molecular<sup>40</sup>.

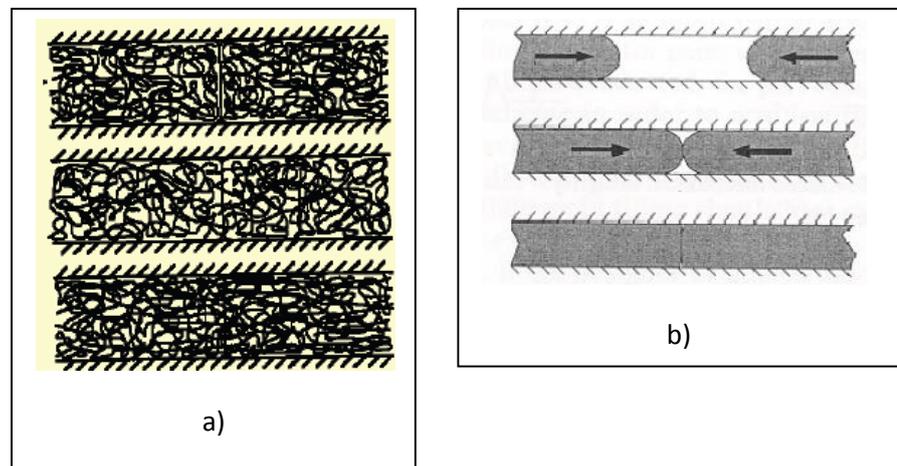
<sup>40</sup> Imagen orientación de la influencia por el peso molecular, [tecnologíadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/extrusión-de-materiales-plasticos.html](http://tecnologíadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/extrusión-de-materiales-plasticos.html)

### 1.3.3 LINEAS DE SOLDADURA

Zona donde se encuentran dos flujos de material distintos en el llenado del molde.

Se producen como consecuencia de:

- La división de los flujos de llenado debido a la geometría de la pieza.
- La alimentación por diferentes puntos de inyección



**Figura 1.32 (a)** La división de los flujos de llenado debido a la geometría de la pieza. **(b)** La alimentación por diferentes puntos de inyección<sup>41</sup>.

Se producen por:

- Difusión incompleta
- Orientación molecular
- Fisura superficial
- Presencia de sustancias extrañas

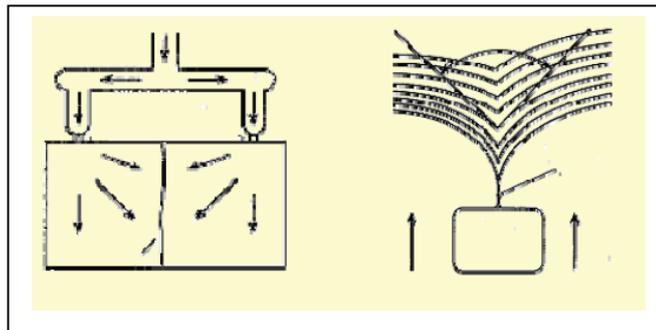
<sup>41</sup> Imagen de alimentación y división de flujos, [tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/extrusión-de-materiales-plasticos.html](http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/extrusión-de-materiales-plasticos.html)

Variables de influencia:

- Temperatura del material
- Presión de mantenimiento
- Velocidad de inyección
- Material
- Temperatura del molde

Encuentro de flujos en ángulo es característico de piezas con entradas múltiples o en rodeos de núcleos.

Cuando el ángulo de soldadura es mayor de  $120^\circ$  a  $150^\circ$

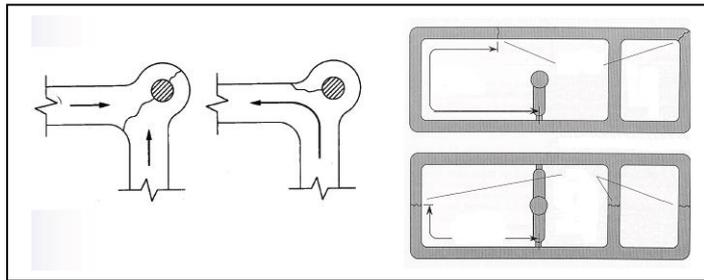


**Figura 1.33** Del ángulo de soldadura es mayor de  $120^\circ$  a  $150^\circ$  <sup>42</sup>.

Líneas de soldadura se forman por la división del flujo debido a la geometría de la pieza. Normalmente son inevitables, pero debe disminuirse su influencia en las características de la pieza.

---

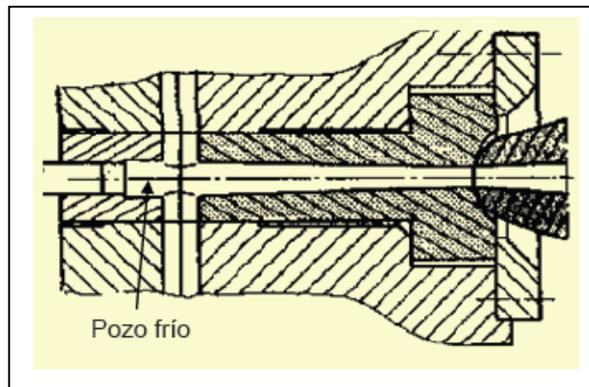
<sup>42</sup> Imagen de ángulos de soldadura dentro de molde,



**Figura 1.34** Líneas de soldadura forman por la división del flujo<sup>43</sup>.

### 1.3.4 BEBEDERO

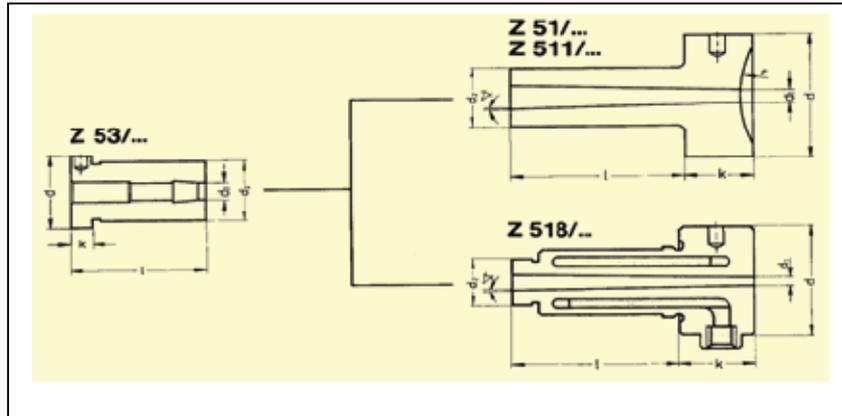
Es el elemento de conexión entre el molde y la boquilla de inyección de la máquina. Conduce la masa desde la boquilla hasta el interior del molde donde están los canales. Debe tenerse en cuenta su comportamiento térmico y su expulsión.



**Figura 1.35** Molde con comportamiento térmico<sup>44</sup>.

<sup>43</sup> Líneas de soldadura forman por la división del flujo, [tecnologíadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/extrusión-de-materiales-plasticos.html](http://tecnologíadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/extrusión-de-materiales-plasticos.html)

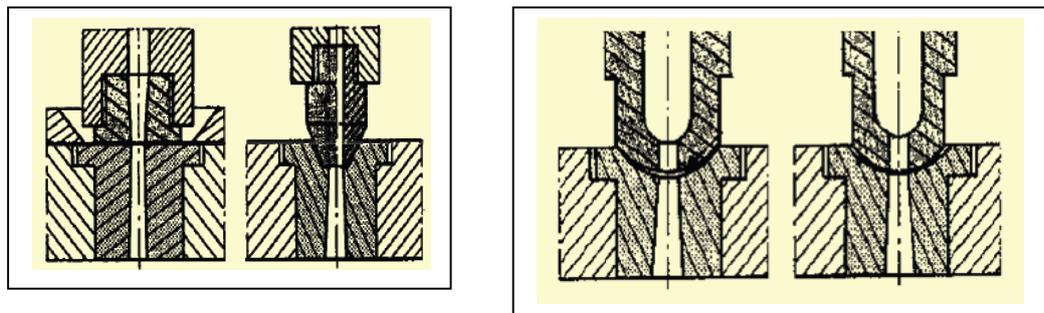
<sup>44</sup> Imagen de molde con comportamiento térmico,



**Figura 1.36** Diseño del Molde<sup>45</sup>.

Unión entre boquilla y bebedero:

- Unión plana y cónica.
- Unión esférica.



**Figura 1.37 (a)** Unión plana y cónica. **(b)** Unión esférica<sup>46</sup>.

<sup>45</sup> Imagen de diseño del molde, [tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/extrusión-de-materiales-plasticos.html](http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/extrusión-de-materiales-plasticos.html)

<sup>46</sup> Imagen de tipos de uniones, [tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/extrusión-de-materiales-plasticos.html](http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/extrusión-de-materiales-plasticos.html)

### **1.3.5 CANALES DE ALIMENTACIÓN**

Conducen el material desde el bebedero a la entrada de la cavidad.

Objetivos de diseño:

- a) Longitud reducida
  - Enfriamiento.
  - Perdida de carga.
  
- b) Sección adecuada
  - Enfriamiento.
  - Mantenimiento del flujo hasta después de la presión de mantenimiento.
  
- c) Formas suaves
  - Perdida de carga
  
- d) Distribución equilibrada de las entradas
  - Condiciones semejantes a todas las entradas
  - Llenado simultáneo

#### **1.3.5.1 TIPO DE CANALES**

a) Canales fríos

Solidifican y se expulsan con la pieza

Ventajas

- Molde sencillo

Inconvenientes

- Mayor consumo de material

- Necesidad de expulsar los canales
- Mayor longitud de los canales

#### b) Canales calientes

El material se mantiene permanentemente fundido

##### Ventajas

- Menor material consumido
- Cadencias de fabricación más elevadas
- Condiciones de entrada más controladas

##### Inconvenientes

- Moldes más complejos
- Moldes más caros

## 1.4 SISTEMAS DE CONTROL

Los sistemas de control, según la teoría cibernética, se aplican en esencia para los organismos vivos, las máquinas y las organizaciones.

Los sistemas de control deben conseguir los siguientes objetivos:

1. Ser estables y robustos frente a perturbaciones y errores en los modelos.

2. Ser eficiente según un criterio preestablecido evitando comportamientos bruscos e irreales.

3. Necesidades de la supervisión de procesos:

- Limitaciones de la visualización de los sistemas de adquisición y control.
- Control vs Monitorización

- Control software. Cierre de lazo de control.
- Recoger, almacenar y visualizar información.
- Minería de datos.

#### **1.4.1 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL SEGÚN SU COMPORTAMIENTO.**

**1.4.1.1 Sistema de control de lazo abierto:** Es aquel sistema en que solo actúa el proceso sobre la señal de entrada y da como resultado una señal de salida independiente a la señal de entrada, pero basada en la primera. Esto significa que no hay retroalimentación hacia el controlador para que éste pueda ajustar la acción de control. Es decir, la señal de salida no se convierte en señal de entrada para el controlador. Ejemplo 1: el llenado de un tanque usando una manguera de jardín. Mientras que la llave siga abierta, el agua fluirá. La altura del agua en el tanque no puede hacer que la llave se cierre y por tanto no nos sirve para un proceso que necesite de un control de contenido o concentración. Ejemplo 2: Al hacer una tostada, lo que hacemos es controlar el tiempo de tostado de ella misma entrando una variable (en este caso el grado de tostado que queremos). En definitiva, el que nosotros introducimos como parámetro es el tiempo.

Estos sistemas se caracterizan por:

- Ser sencillos y de fácil concepto.
- Nada asegura su estabilidad ante una perturbación.
- La salida no se compara con la entrada.
- Ser afectado por las perturbaciones. Éstas pueden ser tangibles o intangibles.
- La precisión depende de la previa calibración del sistema.

**1.4.1.2 Sistema de control de lazo cerrado:** Son los sistemas en los que la acción de control está en función de la señal de salida. Los sistemas de circuito cerrado usan la retroalimentación desde un resultado final para ajustar la acción de control en consecuencia. El control en lazo cerrado es imprescindible cuando se da alguna de las siguientes circunstancias:

- Cuando un proceso no es posible de regular por el hombre.
- Una producción a gran escala que exige grandes instalaciones y el hombre no es capaz de manejar.
- Vigilar un proceso es especialmente difícil en algunos casos y requiere una atención que el hombre puede perder fácilmente por cansancio o despiste, con los consiguientes riesgos que ello pueda ocasionar al trabajador y al proceso.

Sus características son:

- Ser complejos, pero amplios en cantidad de parámetros.
- La salida se compara con la entrada y le afecta para el control del sistema.
- Su propiedad de retroalimentación.
- Ser más estable a perturbaciones y variaciones internas.

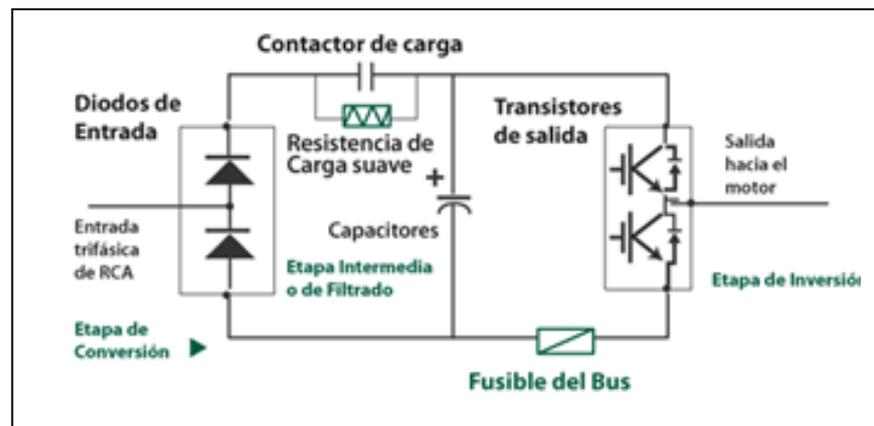
Un ejemplo de un sistema de control de lazo cerrado sería el termotanque de agua que utilizamos para bañarnos. Otro ejemplo sería un regulador de nivel de gran sensibilidad de un depósito. El movimiento de la boya produce más o menos obstrucción en un chorro de aire o gas a baja presión. Esto se traduce en cambios de presión que afectan a la membrana de la válvula de paso, haciendo que se abra más cuanto más cerca se encuentre del nivel máximo.

## 1.4.2 CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA DE CONTROL

- Señal de Corriente de Entrada: Considerada como estímulo aplicado a un sistema desde una fuente de energía externa con el propósito de que el sistema produzca una respuesta específica.
- Señal de Corriente de Salida: Respuesta obtenida por el sistema que puede o no relacionarse con la respuesta que implicaba la entrada.
- Variable Manipulada: Es el elemento al cual se le modifica su magnitud, para lograr la respuesta deseada. Es decir, se manipula la entrada del proceso.
- Variable Controlada: Es el elemento que se desea controlar. Se puede decir que es la salida del proceso.
- Conversión: Mediante receptores se generan las variaciones o cambios que se producen en la variable.
- Variaciones Externas: Son los factores que influyen en la acción de producir un cambio de orden correctivo.
- Fuente de Energía: Es la que entrega la energía necesaria para generar cualquier tipo de actividad dentro del sistema.
- Retroalimentación: La retroalimentación es una característica importante de los sistemas de control de lazo cerrado. Es una relación secuencial de causas y efectos entre las variables de estado. Dependiendo de la acción correctiva que tome el sistema, este puede apoyar o no una decisión, cuando en el sistema se produce un retorno se dice que hay una retroalimentación negativa; si el sistema apoya la decisión inicial se dice que hay una retroalimentación positiva.
- Variables de fase: Son las variables que resultan de la transformación del sistema original a la forma canónica controlable. De aquí se obtiene también la matriz de controlabilidad cuyo rango debe ser de orden completo para controlar el sistema.

## 1.5 FUNCIONAMIENTO DEL VARIADOR DE FRECUENCIA.

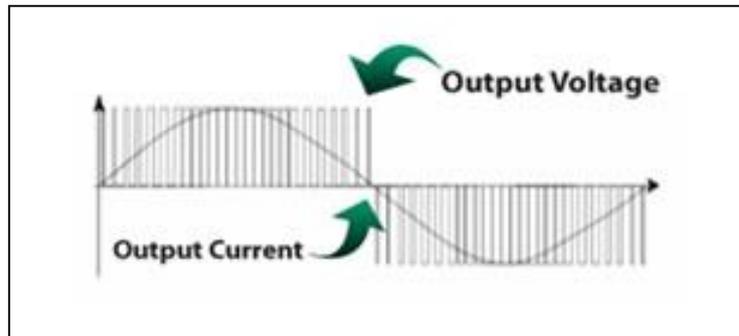
Se alimenta al equipo con un voltaje de corriente alterna (CA), el equipo primero convierte la CA en corriente directa (CD), por medio de un puente rectificador (diodos o SCR's), este voltaje es filtrado por un banco de capacitores interno, con el fin de suavizar el voltaje rectificado y reducir la emisión de variaciones en la señal; posteriormente en la etapa de inversión, la cual está compuesta por transistores (IGBT), que encienden y apagan en determinada secuencia (enviando pulsos) para generar una forma de onda cuadrada de voltaje de CD a un frecuencia constante y su valor promedio tiene la forma de onda senoidal de la frecuencia que se aplica al motor<sup>47</sup>.



El proceso de conmutación de los transistores es llamado PWM "Pulse Width Modulation" Modulación por ancho de pulso.

<sup>47</sup> Referencia: [http://es.wikipedia.org/wiki/Variador\\_de\\_frecuencia#p-search](http://es.wikipedia.org/wiki/Variador_de_frecuencia#p-search)

<sup>48</sup> Imagen Circuito de un variador de Frecuencia,  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Diagrama\\_variador\\_de\\_frecuencia.JPG](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Diagrama_variador_de_frecuencia.JPG)



**Figura 1.44** Modulación de ancho de pulsos<sup>49</sup>.

Al tener control en la frecuencia de la onda de corriente podemos también controlar la velocidad del motor de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$N_m = \frac{120 \times f (1 - s)}{P}$$

$N_m$  = velocidad mecánica (rpm)  
 $f$  = frecuencia de alimentación (Hz)  
 $s$  = deslizamiento (adimensional)  
 $P$  = número de polos.

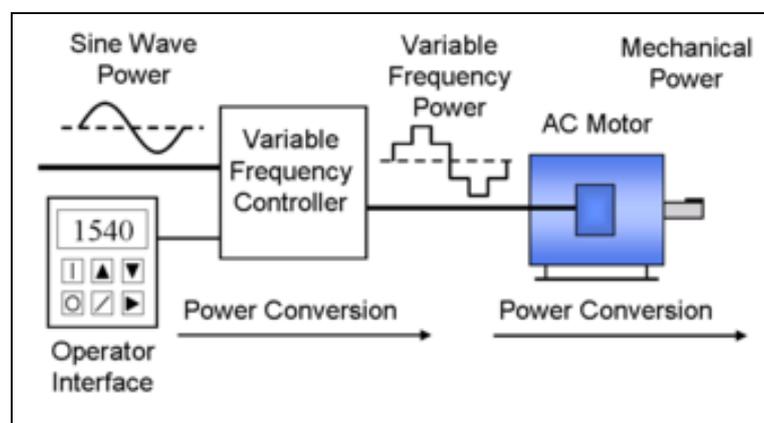
## 1.6 DESCRIPCIÓN DEL VARIADOR DE FRECUENCIA.

Los variadores de frecuencia son sistema utilizados para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna. Un variador de frecuencia son vertientes de un variador de velocidad, ya que

<sup>49</sup> Imagen modulación de ancho de pulsos,  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Relaci%C3%B3n\\_par-velocidad.JPG](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Relaci%C3%B3n_par-velocidad.JPG)

llevan un control de frecuencia de alimentación, la cual se suministra por un motor.

Otra forma en que son conocidos los variadores de frecuencia son como Drivers ya sea de frecuencia ajustable (ADF) o de CA, VVVF (variador de voltaje variador de frecuencia), micro drivers o inversores; esto depende en gran parte del voltaje que se maneje.



**Figura 1.45** Diagrama de un sistema VFD<sup>50</sup>.

### 1.6.1 DESCRIPCIÓN DEL VFD

Un sistema de variador de frecuencia (VFD) consiste generalmente en un motor de CA, un controlador y una interfaz operadora.

#### 1.6.1.1 Motor del VFD

El motor usado en un sistema VFD es normalmente un motor de inducción trifásico. Algunos tipos de motores monofásicos pueden ser igualmente usados, pero los motores de tres fases son normalmente

<sup>50</sup> Imagen diagrama de un sistema VFD, [http://es.wikipedia.org/wiki/ArchivoVFD\\_System.png](http://es.wikipedia.org/wiki/ArchivoVFD_System.png)

preferidos. Varios tipos de motores síncronos ofrecen ventajas en algunas situaciones, pero los motores de inducción son más apropiados para la mayoría de propósitos y son generalmente la elección más económica. Motores diseñados para trabajar a velocidad fija son usados habitualmente, pero la mejora de los diseños de motores estándar aumenta la fiabilidad y consigue mejor rendimiento del VFD.(variador de frecuencia).

#### **1.6.1.2 Controlador del VFD**

El controlador de dispositivo de variación de frecuencia está formado por dispositivos de conversión electrónicos de estado sólido. El diseño habitual primero convierte la energía de entrada CA en CC usando un puente rectificador. La energía intermedia CC es convertida en una señal quasi-senoidal de CA usando un circuito inversor conmutado. El rectificador es usualmente un puente trifásico de diodos, pero también se usan rectificadores controlados. Debido a que la energía es convertida en continua, muchas unidades aceptan entradas tanto monofásicas como trifásicas (actuando como un *convertidor de fase*, un variador de velocidad).

### **1.7 TRASFERENCIA DE CALOR<sup>51</sup>**

La transferencia de calor, en física, proceso por el que se intercambia energía en forma de calor entre distintos cuerpos, o entre diferentes partes de un mismo cuerpo que están a distinta temperatura. El calor se transfiere mediante convección, radiación o conducción. Aunque estos tres procesos pueden tener lugar simultáneamente, puede ocurrir que uno

---

<sup>51</sup> Referencia: Procesos de transferencia de Calor, DONALD Q. KERN, pag 13

de los mecanismos predomine sobre los otros dos. Por ejemplo, el calor se transmite a través de la pared de una casa fundamentalmente por conducción, el agua de una cacerola situada sobre un quemador de gas se calienta en gran medida por convección, y la Tierra recibe calor del Sol casi exclusivamente por radiación.

### **1.7.1 TIPOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.**

Existen tres métodos para la transferencia de calor: **conducción**, **convección** y **radiación**. Conocer cada tipo y saber cómo funciona le permite entender mejor cómo los sistemas de aislamiento y burletes protegen el espacio acondicionado.

#### **1.7.1.1 Conducción<sup>52</sup>.**

En los sólidos, la única forma de transferencia de calor es la conducción. Si se calienta un extremo de una varilla metálica, de forma que aumente su temperatura, el calor se transmite hasta el extremo más frío por conducción. No se comprende en su totalidad el mecanismo exacto de la conducción de calor en los sólidos, pero se cree que se debe, en parte, al movimiento de los electrones libres que transportan energía cuando existe una diferencia de temperatura. Esta teoría explica por qué los buenos conductores eléctricos también tienden a ser buenos conductores del calor. En 1822, el matemático francés Joseph Fourier dio una expresión matemática precisa que hoy se conoce como ley de Fourier de la conducción del calor. Esta ley afirma que la velocidad de conducción de calor a través de un cuerpo por unidad de sección transversal es proporcional al gradiente de temperatura que existe en el cuerpo (con el signo cambiado).

---

<sup>52</sup>Referencia: Procesos de transferencia de Calor, DONALD Q. KERN, pag 19

El factor de proporcionalidad se denomina conductividad térmica del material. Los materiales como el oro, la plata o el cobre tienen conductividades térmicas elevadas y conducen bien el calor, mientras que materiales como el vidrio o el amianto tienen conductividades cientos e incluso miles de veces menores; conducen muy mal el calor, y se conocen como aislantes. En ingeniería resulta necesario conocer la velocidad de conducción del calor a través de un sólido en el que existe una diferencia de temperatura conocida. Para averiguarlo se requieren técnicas matemáticas muy complejas, sobre todo si el proceso varía con el tiempo; en este caso, se habla de conducción térmica transitoria. Con la ayuda de ordenadores (computadoras) analógicos y digitales, estos problemas pueden resolverse en la actualidad incluso para cuerpos de geometría complicada.

#### **1.7.1.2 Convección.**

Si existe una diferencia de temperatura en el interior de un líquido o un gas, es casi seguro que se producirá un movimiento del fluido. Este movimiento transfiere calor de una parte del fluido a otra por un proceso llamado convección. El movimiento del fluido puede ser natural o forzado. Si se calienta un líquido o un gas, su densidad (masa por unidad de volumen) suele disminuir. Si el líquido o gas se encuentra en el campo gravitatorio, el fluido más caliente y menos denso asciende, mientras que el fluido más frío y más denso desciende. Este tipo de movimiento, debido exclusivamente a la no uniformidad de la temperatura del fluido, se denomina convección natural. La convección forzada se logra sometiendo el fluido a un gradiente de presiones, con lo que se fuerza su movimiento de acuerdo a las leyes de la mecánica de fluidos.

Supongamos, por ejemplo, que calentamos desde abajo una cacerola llena de agua. El líquido más próximo al fondo se calienta por el calor que

se ha transmitido por conducción a través de la cacerola. Al expandirse, su densidad disminuye y como resultado de ello el agua caliente asciende y parte del fluido más frío baja hacia el fondo, con lo que se inicia un movimiento de circulación. El líquido más frío vuelve a calentarse por conducción, mientras que el líquido más caliente situado arriba pierde parte de su calor por radiación y lo cede al aire situado por encima. De forma similar, en una cámara vertical llena de gas, como la cámara de aire situada entre los dos paneles de una ventana con doble vidrio, el aire situado junto al panel exterior —que está más frío— desciende, mientras que al aire cercano al panel interior —más caliente— asciende, lo que produce un movimiento de circulación.

El calentamiento de una habitación mediante un radiador no depende tanto de la radiación como de las corrientes naturales de convección, que hacen que el aire caliente suba hacia el techo y el aire frío del resto de la habitación se dirija hacia el radiador. Debido a que el aire caliente tiende a subir y el aire frío a bajar, los radiadores deben colocarse cerca del suelo (y los aparatos de aire acondicionado cerca del techo) para que la eficiencia sea máxima. De la misma forma, la convección natural es responsable de la ascensión del agua caliente y el vapor en las calderas de convección natural, y del tiro de las chimeneas. La convección también determina el movimiento de las grandes masas de aire sobre la superficie terrestre, la acción de los vientos, la formación de nubes, las corrientes oceánicas y la transferencia de calor desde el interior del Sol hasta su superficie<sup>53</sup>.

---

<sup>53</sup> Referencia: Procesos de transferencia de Calor, DONALD Q. KERN, pag 43

### **1.7.1.3 Radiación<sup>54</sup>.**

Es la transferencia de calor, en forma de energía electromagnética, por el espacio. La radiación presenta una diferencia fundamental respecto a la conducción y la convección: las sustancias que intercambian calor no tienen que estar en contacto, sino que pueden estar separadas por un vacío. La radiación es un término que se aplica genéricamente a toda clase de fenómenos relacionados con ondas electromagnéticas. Algunos fenómenos de la radiación pueden describirse mediante la teoría de ondas, pero la única explicación general satisfactoria de la radiación electromagnética es la teoría cuántica.

### **1.7.2 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.**

La conductividad térmica consiste en la capacidad de un determinado material para conducir el calor, una forma de energía; tal vez técnicamente es más correcto decir que el calor es el proceso de transferencia de energía de un cuerpo a otro, no es una cosa, y se puede almacenar como energía cinética de las partículas en un determinado sistema (pero no es en si mismo esta energía cinética, como confunden algunas fuentes). Como regla general, al aumentar la temperatura de un material, este se torna mejor conductor del calor. Y es interesante notar que la conductividad térmica está asociada a la conductividad eléctrica en los metales, dado que los electrones de valencia libres que se trasladan son los que transmiten tanto la electricidad como la energía asociada a la transferencia de calor. Por el motivo anterior, los metales tienen una alta conductividad térmica, mientras que materiales como el poliestireno expandido, esa especie de plástico liviano que parece una "espuma sólida", es considerado un aislante térmico, por tener una muy baja conductividad (tal como la fibra de vidrio, para que tengas un ejemplo

---

<sup>54</sup> Referencia: Procesos de transferencia de Calor, DONALD Q. KERN, pag 85

concreto como buscas - esta tiene toda una gama de aplicaciones industriales por su conductividad de unos  $0,05 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m})$ ). Otro ejemplo de aplicaciones es el recubrimiento cerámico en sistemas o tubos de escape<sup>55</sup>.

### 1.7.3 TRANSFERENCIA DE CALOR EN EBULLICIÓN

La transferencia de calor en líquidos en ebullición es compleja, pero de una importancia técnica considerable. Se caracteriza por una curva en forma de "S" al relacionar el flujo de calor con la diferencia de temperaturas en una superficie.

A temperaturas bajas de la superficie calefactada no sucede la ebullición y la tasa de transferencia de calor está controlada por los mecanismos habituales de una sola fase. A medida que la temperatura de la superficie calefactada se eleva, va produciéndose ebullición localmente y se empiezan a formar burbujas de vapor (se dice que hay nucleación de burbujas de vapor), crecen hacia el líquido circundante más frío y colapsan. A altas tasas de nucleación de burbujas, las mismas burbujas empiezan a interferir en el proceso de transferencia de calor y dicha transferencia deja de elevarse rápidamente con la temperatura de la superficie calefactada. A temperaturas mayores, se alcanza un máximo en la transferencia de calor (el flujo de calor crítico). La caída de la transferencia de calor que se sucede a continuación se explicaría por la alternancia de períodos de ebullición nucleada con otros períodos de ebullición en película.

A temperaturas de la superficie calefactada aún mayores, se alcanza un régimen de ebullición en película, hidrodinámicamente más tranquilo. La cantidad de calor que atraviesa la película de vapor por unidad de tiempo

---

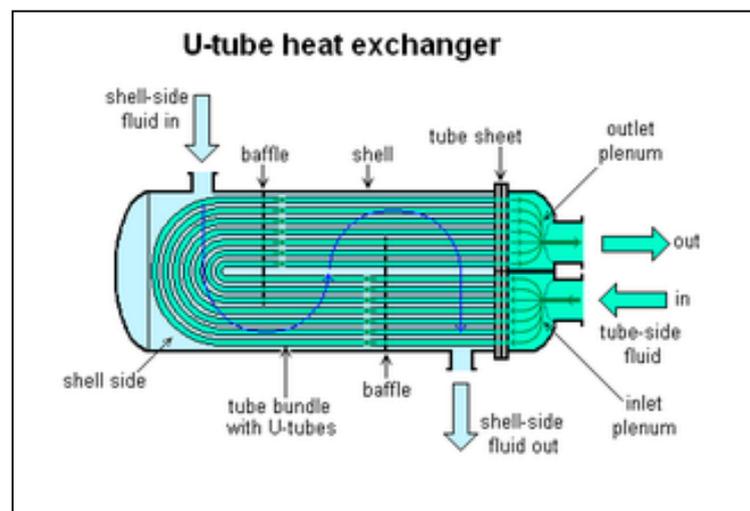
<sup>55</sup> Referencia: Procesos de transferencia de Calor, DONALD Q. KERN, pag 327.

es pequeña, pero crece lentamente con la temperatura. Si se diera el caso de un contacto entre el líquido y la superficie calefactada, se desencadenaría un proceso extremadamente rápido de nucleación de una nueva película de fase vapor (nucleación espontánea)<sup>56</sup>.

#### 1.7.4 INTERCAMBIADORES DE CALOR

Un **intercambiador de calor** es un dispositivo diseñado para transferir calor entre dos medios, que estén separados por una barrera o que se encuentren en contacto. Son parte esencial de los dispositivos de refrigeración, acondicionamiento de aire, producción de energía y procesamiento químico.

Un intercambiador típico es el radiador del motor de un automóvil, en el que el fluido refrigerante, calentado por la acción del motor, se refrigera por la corriente de aire que fluye sobre él y, a su vez, reduce la temperatura del motor volviendo a circular en el interior del mismo.



**Figura 1.46** Sección de un intercambiador de calor de tipo haz tubular<sup>57</sup>.

<sup>56</sup> Referencia: Procesos de transferencia de Calor, DONALD Q. KERN, pag 349.

<sup>57</sup> Imagen: Sección de un intercambiador de tipo haz tubular, Introducción a la Termodinámica en Ingeniería química autor: Smith, Van Ness, Abbott.

En los sistemas mecánicos, químicos, nucleares y otros, ocurre que el calor debe ser transferido de un lugar a otro, o bien, de un fluido a otro. Los intercambiadores de calor son los dispositivos que permiten realizar dicha tarea. Un entendimiento básico de los componentes mecánicos de los intercambiadores de calor es necesario para comprender cómo estos funcionan y operan para un adecuado desempeño.

El objetivo de esta sección es presentar los intercambiadores de calor como dispositivos que permiten remover calor de un punto a otro de manera específica en una determinada aplicación. Se presentan los tipos de intercambiadores de calor en función del flujo: flujo paralelo; contraflujo; flujo cruzado. Además se analizan los tipos de intercambiadores de calor con base en su construcción: tubo y carcasa; placas, y se comparan estos. Se presentan también los intercambiadores de paso simple, de múltiples pasos, intercambiador de calor regenerador e intercambiador de calor no regenerativo. Al final se incluyen algunas de las posibles aplicaciones de los intercambiadores de calor.

Como hemos mencionado, un intercambiador de calor es un componente que permite la transferencia de calor de un fluido (líquido o gas) a otro fluido. Entre las principales razones por las que se utilizan los intercambiadores de calor se encuentran las siguientes:

- Calentar un fluido frío mediante un fluido con mayor temperatura.
- Reducir la temperatura de un fluido mediante un fluido con menor temperatura.
- Llevar al punto de ebullición a un fluido mediante un fluido con mayor temperatura.
- Condensar un fluido en estado gaseoso por medio de un fluido frío.
- Llevar al punto de ebullición a un fluido mientras se condensa un fluido gaseoso con mayor temperatura.

Debe quedar claro que la función de los intercambiadores de calor es la transferencia de calor, donde los fluidos involucrados deben estar a temperaturas diferentes. Se debe tener en mente que el calor sólo se transfiere en una sola dirección, del fluido con mayor temperatura hacia el fluido de menor temperatura. En los intercambiadores de calor los fluidos utilizados no están en contacto entre ellos, el calor es transferido del fluido con mayor temperatura hacia el de menor temperatura al encontrarse ambos fluidos en contacto térmico con las paredes metálicas que los separan<sup>58</sup>.

### 1.7.5 AISLAMIENTO Y BARRERAS<sup>59</sup>

Los aislantes térmicos son materiales específicamente diseñados para reducir el flujo de calor limitando la conducción, convección o ambos. Las barreras de radiación, son materiales que reflejan la radiación, reduciendo así el flujo de calor de fuentes de radiación térmica. Los buenos aislantes no son necesariamente buenas barreras de radiación, y viceversa. Los metales, por ejemplo, son excelentes reflectores pero muy malos aislantes.

La efectividad de un aislante está indicado, por su resistencia ( $R$ ). La resistencia de un material es el inverso del coeficiente de conductividad térmica ( $k$ ) multiplicado por el grosor ( $d$ ) del aislante. Las unidades para la resistencia son en el Sistema Internacional: ( $K \cdot m^2/W$ ).

$$R = \frac{d}{k}, \quad C = \frac{Q}{m\Delta T}$$

La fibra de vidrio rígida, un material aislante usado comúnmente, tiene un valor  $R$  de 4 por pulgada, mientras que el cemento, un mal conductor,

---

<sup>58</sup> Referencia: Introducción a la Termodinámica en Ingeniería química autor: Smith, Van Ness, Abbott.

<sup>59</sup> Referencia: Introducción a la Termodinámica en Ingeniería química autor: Smith, Van Ness, Abbott

tiene un valor de 0.08 por pulgada. La efectividad de una barrera de radiación está indicado por su reflectividad, la cual es una fracción de la radiación reflejada. Un material con una alta reflectividad (en una longitud de onda) tiene una baja absorbitividad, y por consiguiente una baja emisividad. Un reflector ideal tiene un coeficiente de reflectividad igual a 1, lo que significa que refleja el 100% de la radiación entrante. Por otro lado, en el caso de un cuerpo negro, el cual tiene una excelente absorbitividad y emitividad de la radiación térmica, su coeficiente de reflectividad es casi 0. Las barreras de radiación tiene una gran aplicación en ingeniería aeroespacial; la gran mayoría de los satélites usan varias capas aislantes aluminizadas que reflejan la luz solar, lo que permite reducir la transferencia de calor y controlar la temperatura del satélite.



## **CAPITULO II: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN**

### **“SISTEMA DE MOLDEO ESTILO LINEAL”**

#### **2.1 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE LOS DIFERENTES SISTEMAS QUE CONFORMAN ESTE SISTEMA DE MOLDEO.**

##### **2.1.1 INSTALACIONES DE EXTRUSIÓN PARA LA FABRICACIÓN DE GRÁNULOS Y ARTÍCULOS PERFILADOS.**

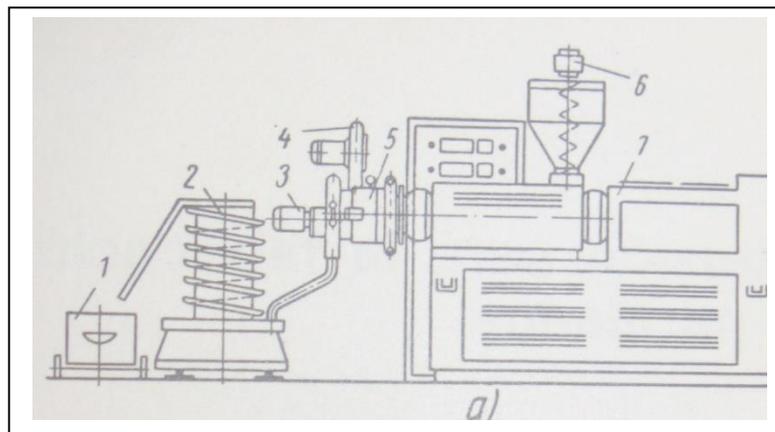
Por lo general el uso de material granulado para cargar las máquinas de extrusión e inyección estabiliza considerablemente la alimentación, aumenta la producción y la calidad de los artículos fabricados. Se recomienda combinar la granulación con la plastificación, estabilización y coloración del material termoplástico.

Para granular materiales termoplásticos se suelen usar maquinas extrusión de uno o varios husillos y maquinas especiales, denominadas granuladoras. En las máquinas de husillos el material se inyecta a través de una rejilla de granuladora en forma de alambre, y se corta en gránulos con una cuchilla instalada directamente en la rejilla o después de la refrigeración en un baño de agua. En el primer caso se reduce la longitud de los gránulos y aumenta la producción.

Por lo general se utilizan gránulos en forma de cilindros pequeños y lentejuelas, con menos frecuencia se suelen utilizar gránulos de forma cubica. Cuando el material es desmenuzado en trituradoras o molinos, donde el grano queda muy heterogéneo en lo que se refiere a la forma y

dimensiones, se recomienda emplear el término de migajas para dicho producto.

En la **figura 2.1 (a)** se muestra una instalación granuladora destinada a cortar alambre o varilla de material termoplástico directamente en la rejilla granuladora. Consiste en la máquina de extrusión 7, que puede ser de uno o dos husillos, tolva con su correspondiente mezcladora y motor eléctrico 6, dispositivo para cortar y refrigerar los gránulos. El material extrusionado a través del cabezal granulador 3 es cortado directamente en el plano del cabezal mediante una cuchilla giratoria accionada por el motor 5, A continuación se someten a un secado previo con el ventilador 4, para evitar su adherencia durante su desplazamiento, y pasan al fondo del transportador vibratorio 2, donde se enfrían y secan definitivamente y se transportan a la carretilla 1.

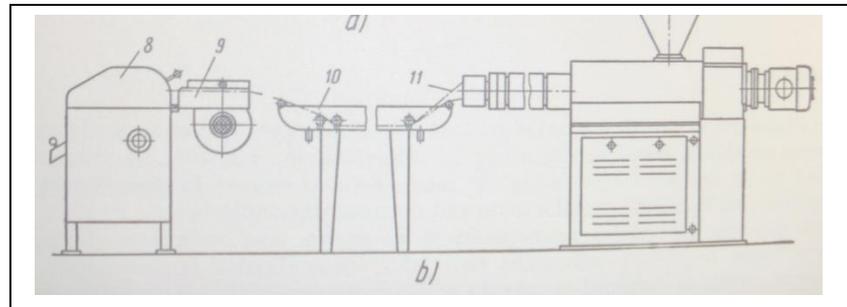


**Figura 2.1 (a)** Instalación de extrusión para la granulación de materiales termoplásticos: el alambre o varilla se corta en gránulos directamente en la rejilla<sup>60</sup>.

En la **figura 2.2 (b)** se ilustran una instalación granuladora para cortar varilla o alambre de material termoplástico en frío. El alambre 11, que sale de la máquina de extrusión, se enfría en el baño de agua 10, a

<sup>60</sup> Imagen de instalación de extrusión para la granulación, Libro de Transformación de plástico por V.K. Savgorodny, pag 74.

continuación se seca y vuelve a enfriar con el ventilador 9 y se corta en gránulos mediante una fresa especial ubicada en el dispositivo 8.

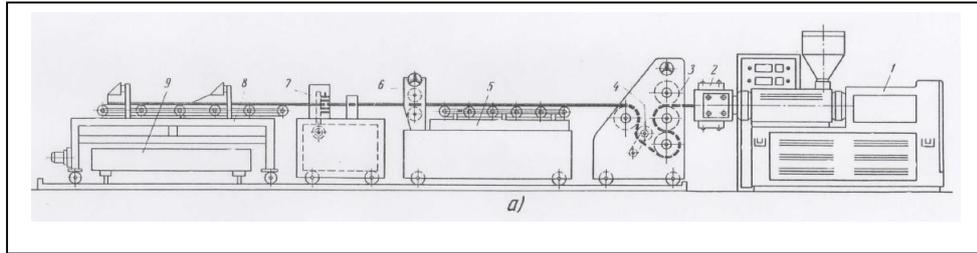


**Figura 2.2 (b)** Instalación de extrusión para la granulación de materiales termoplásticos: el alambre o varilla se corta en gránulos después de un enfriamiento previo<sup>61</sup>.

### 2.1.2 INSTALACIONES PARA LA FABRICACIÓN DE LÁMINAS.

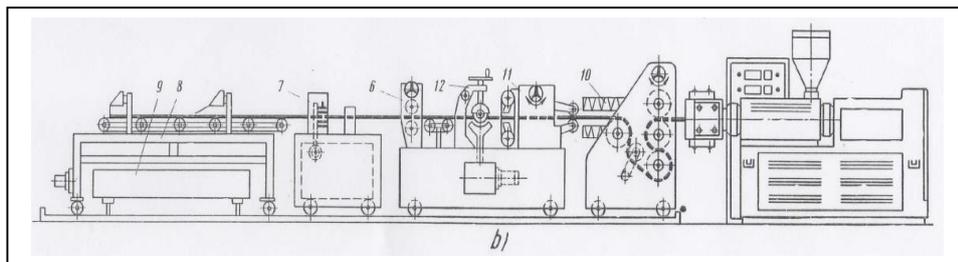
Es norma general diferenciar la película de la lámina en la forma siguiente: cuando el espesor es de hasta 0,5mm se considera película y cuando es superior a 0,5mm se denomina lámina u hoja. Por lo general se pueden obtener por extrusión láminas desde 0,5 hasta 6mm de espesor y de hasta 3 metros de anchura. Las láminas pueden ser lisas, con revestimiento o sin el, onduladas (en sentido longitudinal y transversal), laminas con relleno y reforzadas con fibra especiales, mallas, tejidos, etc. Por lo general, una instalación para la fabricación de lámina lisas consta de la **figura 2.3 (a)**, extrusora 1, cabezal plano 2, rodillos alisadores 3, cortador longitudinal 4, transportador de rodillos 5, dispositivos de estirado 6, cortador transversal 7 y recogedor 8. El cortador 7 está provisto de unas zapatas de sujeción desmontables y el recogedor 8, de un carrito 9 para transportar las láminas acabadas.

<sup>61</sup> Imagen de instalación de extrusión para la granulación, Libro de Transformación de plástico por V.K. Savgorodny, pag 74.

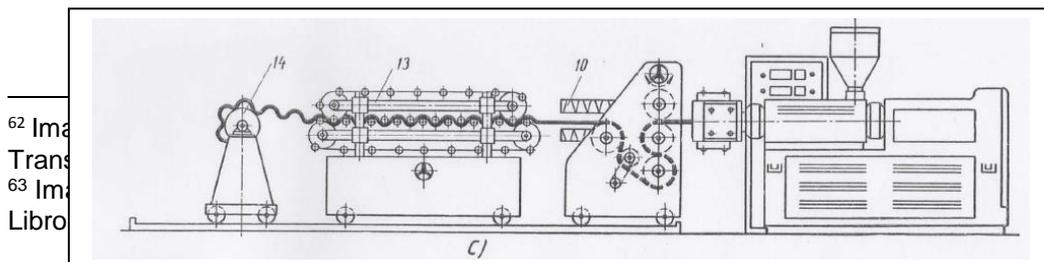


**Figura 2.3 (a)** Instalación para fabricar láminas de material termoplástico (a)- lisa<sup>62</sup>.

La instalación para fabricar laminas con ondulación longitudinal **figura 2.3 (b)**, se diferencia de la anterior por la existencia de dos dispositivos especiales 10 y 12 que sirven para calentar y efectuar el ondulado longitudinal, y dispositivos especiales 10 y 11, que sirven para calentar y efectuar el ondulado longitudinal, y un dispositivo complementario 12 para cortar los bordes de las láminas onduladas. Cuando el ondulado es transversal **figura 2.3 (c)**, inmediatamente después de los rodillos alisadores y de los calentadores se coloca el dispositivo 13 que realiza el ondulado, y un recogedor 14 que devana las láminas acabadas.



**Figura 2.3 (b)** Instalación para fabricar láminas de material termoplástico (b)- con ondulación longitudinal<sup>63</sup>.



62 Im  
Trans  
63 Im  
Libro

**Figura 2.3 (c)** *Instalación para fabricar láminas de material termoplástico  
(c) - con ondulación transversa<sup>64</sup>.*

El dispositivo alisador endereza, refrigera y alisa la cinta que sale de la extrusionadora. Los rodillos del dispositivo en cuestión se refrigeran con agua y se mantienen bien apretados el uno contra el otro por medio de un mecanismo hidráulico o neumático, cuyo esfuerzo oscila entre 2 y 9 KN (0,2 y 0.9 kg) por metro longitudinal de rodillo.

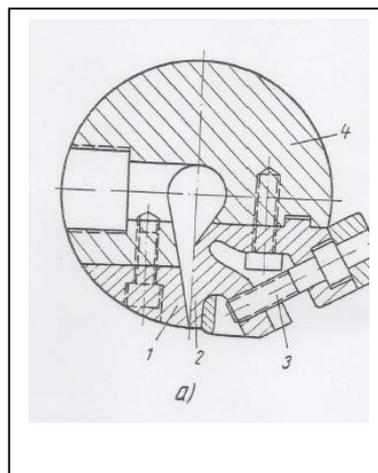
Cada rodillo posee un sistema regulador propio que regula automáticamente la temperatura del agua de refrigeración. Con el fin de no deteriorar la lámina, rodillos tensores van cubiertos de una capa delgada de goma; su velocidad de giro puede modificarse suavemente a intervalos bastantes amplios. Habitualmente el recogedor consta de dos transportadores de velocidad graduable y una guillotina movida por un accionamiento neumático. La guillotina está gobernada por un foto elemento o unos interruptores electromecánicos. Inmediatamente después de cortar la lámina aumenta la velocidad del transportador. La lámina es lanzada a un porta láminas y a continuación el transportador recupera la velocidad normal. Generalmente todas las instalaciones de extrusión modernas llevan aparatos para medir continua y periódicamente el espesor de las láminas. En la actualidad se da preferencia a los cabezales planos, cuya cavidad interior tiene la forma de la cola de un pez o bien un saliente de configuración especial. Los parámetros geométricos de la cavidad perfiladora en forma de cola de pez dependen del material a transformar. La estructura de estos cabezales es muy simple, sin

---

<sup>64</sup> Imagen de instalación para fabricar láminas de material termoplástico, con ondulación transversal, Libro de Transformación de plástico por V.K. Savgorodny, pág. 89.

embargo, el esfuerzo de empuje tiende a aumentar la anchura de la ranura en su parte central, aumentando el grosor de las láminas. Para evitar deformación suelen emplearse unas mordazas especiales de mando mecánico o hidráulico. El cabezal con el saliente de configuración especial colocado en el recorrido de la masa resulta bastante más rígido, debido a que las placas del cabezal están debidamente apretadas con tornillos en su parte central. El único inconveniente de estos cabezales consiste en que dividen el flujo de masa en dos partes, y ello origina la formación de costuras en la parte central de la lámina.

Para regular el huelgo que forman que se forma entre las mordazas a todo lo largo del cabezal se efectúan reajustes locales del huelgo mediante deformaciones elásticas de una de las mordazas. En la **figura 2.4 (a)** se ve claramente un cabezal que consta del cuerpo 4 la mordaza fija 1 y la regulable 2, cuya forma puede modificarse con la ayuda del tornillo regulador 3.

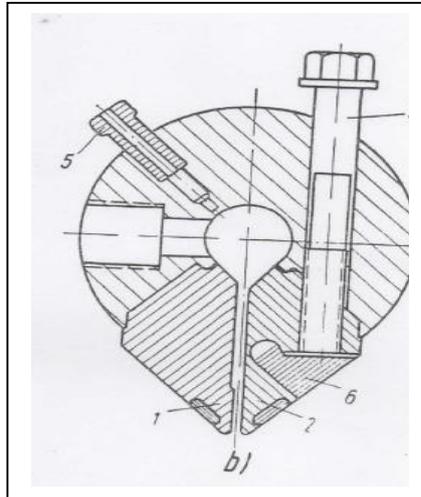


**Figura 2.4 (a)** Dispositivo para regular el huelgo en la hilera de cabezales planos; (a)- con mordaza flexible<sup>65</sup>.

En la **figura 2.4 (b)** se muestra una variante del cabezal anterior en la que el huelgo entre las mordazas 1 y 2 está regulado por medio del tornillo 3 y

<sup>65</sup> Imagen de Dispositivos para regular el huelgo en la hilera de cabezales planos con mordaza, Libro de Transformación de plástico por V.K. Savgorodny, pág. 90.

una cuña intermediaria 6. Para efectuar el control y la regulación automáticos de la temperatura los cabezales llevan unos calentadores eléctricos y pares termoeléctricos locales, ubicados en las boquillas 5.

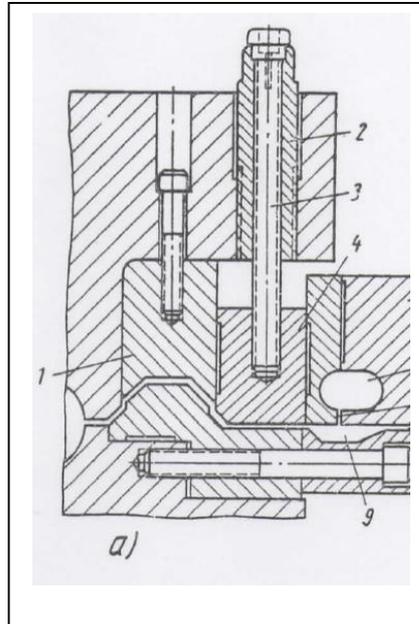


**Figura 2.4 (b)** Dispositivo para regular el huelgo en la hilera de cabezales planos: (b)- con mordaza flexible y cuña intermedia<sup>66</sup>.

El cabezal plano representado en la **figura 2.5 (a)**, es el adecuado para extrusión de láminas de material termoplástico y aplicar a su superficie una película fina de recubrimiento. Delante de la hilera perfiladora 8 se ha provisto la cámara 9, cuya longitud es igual a la anchura del cabezal. Las paredes delantera y trasera de la cámara están inclinadas con el fin de evitar la formación de torbellinos en el flujo de la masa. Con las piezas 1 y 4 y la mordaza 5 se puede regular la presión en el cabezal, la alimentación y el espesor de la lámina. La pieza 4 se desplaza con el casquillo 2, manteniendo el tornillo 3 asegurado. La intercomunicación de las cámaras 6 y 9 se logra mediante un canal vertical 7, que suministra el material de recubrimiento. Este último puede ser del mismo material que la lámina. Ir mezclado a otros componentes adicionales o bien cualquier otro material termoplástico. El grosor del recubrimiento depende exclusivamente del avance suministrado al material. A la salida de la

<sup>66</sup> Imagen de Dispositivos para regular el huelgo en la hilera de cabezales planos mordaza flexible, Libro de Transformación de plástico por V.K. Savgorodny, pág. 91.

hilera perfiladora ambas capas de material disminuyen de espesor, conservado desde luego la proporción programada.

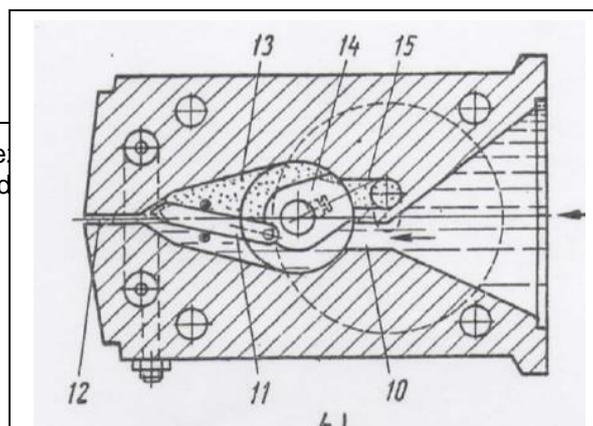


**Figura 2.5 (a)** Cabezal plano para extrusionar:

(a) - laminas con recubrimiento<sup>67</sup>.

Dicho cabezal es indicado para aplicar recubrimientos uniformes de 50 micras aproximadamente, y de muy buena calidad. Mediante un laminado posterior se puede conseguir películas con recubrimiento muy delgado.

La **figura 2.5 (b)**, muestra un cabezal plano, diseñado especialmente para fabricar láminas de dos colores. Los materiales que se han de componer se plastifican en la extrusora, y de allí, por los canales 10 y 15, pasan a la cámara.



<sup>67</sup> Imagen cabe  
Transformación d

**Figura 2.5 (b) Cabezal plano para extrusionar:**  
*(b) - láminas de dos colores (capas)<sup>68</sup>.*

Distribuidora 13, provista de la válvula 11, que alterna el suministro de masa de diferentes colores a la hilera 12. Por otro lado, hay un distribuidor de levas 14 que separan total o parcialmente los flujos de material alternando los colores a deseo del operario. Finalmente las láminas acabadas pasan al recogedor o dispositivo receptor de la instalación. Por este procedimiento fabricar también cintas, hilo, correas, tubos, mangueras y otros artículos de dos colores.

Durante el extrusionado de láminas y películas de material termoplástico a través de un cabezal plano con ranura perfiladora relativamente larga resulta difícil conseguir un flujo completamente uniforme de la masa y por consiguiente, evitar variaciones del espesor y heterogeneidad en los artículos extrusionados. La irregularidad del flujo, por lo general, es consecuencia de las oscilaciones de presión en todo lo ancho del cabezal, que provocan velocidades de extrusión desiguales al salir el material de la hilera.

Para suprimir este inconveniente varias casas, entre ellas la Ikegai de Japón y Berstorff de la RFA, han estudiado nuevos diseños de cabezales planos provistos de husillo. El cabezal unidireccional, representado en la

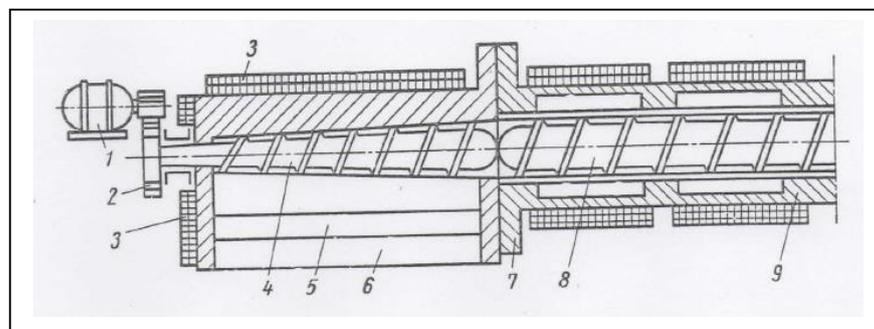
---

<sup>68</sup> Imagen cabezal plano para extrusionar, láminas de dos colores (capas), Libro de Transformación de plástico por V.K. Savgorodny, pág. 91

**figura 2.6**, se acopla a la máquina de extrusión 9 por medio de la brida 7. El husillo distribuidor 4, accionado por medio del motor eléctrico 1 a través del reductor 2, puede ser de varios canales, de paso uniforme o bien cónico de un solo canal y paso decreciente. La calefacción del cabezal está compuesta de varios calentadores 3.

También se suelen utilizar husillos distribuidores en forma de cono bilateral, decreciendo el diámetro hacia los lados del cabezal o bien alineando el husillo distribuidor al de la extrusionadora formando un conjunto único.

Igual que los descritos anteriormente, estos cabezales llevan una cámara acumuladora 5, colocada delante de la ranura perfiladora 6. Dichos cabezales garantizan una distribución uniforme de la masa a todo lo ancho de la ranura y permiten transformar materiales muy sensibles al calor, por ejemplo, cloruro de polivinilo plastificado y sin plastificar.



**Figura 2.6** Cabezal plano de husillo<sup>69</sup>.

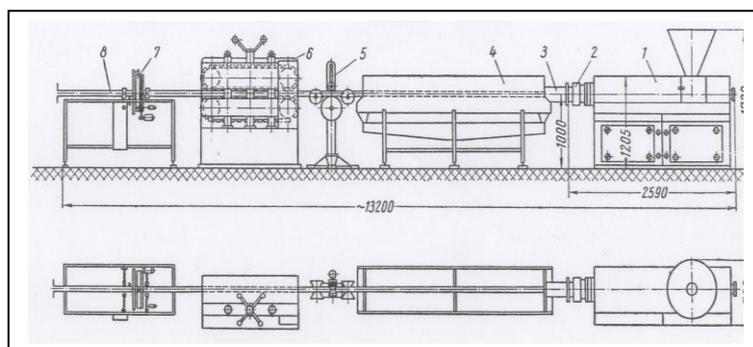
Una instalación soviética tipo AL-1500 concebida para la fabricación de láminas de poliestireno antichoque de hasta 1500 mm de anchura y de 0,5 y 6mm de espesor, tiene unos índices tecno-económicos y de explotación bastante elevados. Por ejemplo, una extrusionadora de este tipo con husillo de 150mm de diámetro alcanza una producción de 150 a

<sup>69</sup> Imagen cabezal plano de husillo, Libro de Transformación de plástico por V.K. Savgorodny, pág. 92.

250 kg/h, consumiendo hasta 10 m<sup>3</sup>/h de agua y 10 m<sup>3</sup> normales/h de aire. La potencia total de los motores, ventiladores y calentadores asciende a 250 Kw. La instalación necesita una superficie de base igual a 91,7 m<sup>2</sup> y tiene una altura de 3,78m.

### 2.1.3 INSTALACIONES PARA LA EXTRUSIÓN DE TUBOS, ARTÍCULOS PERFILADOS Y APLICACIÓN DE ENVOLTURA AISLANTE A ALAMBRE Y CABLES.

En principio una instalación para fabricar tubos, varillas, mangueras y otros artículos perfilados (**Figura 2.7**) consiste en una estrusionadora de husillo 1, cabezal anular 2, con su correspondiente hilera calibradora 3, dispositivos 4, 5, 6 y 7 para refrigerar, medir, estirar y cortar el tubo 8 en trozos de longitud determinada; también lleva un recogedor especial que ordena los tubos acabados (en la figura no se muestra). Los tubos de diámetros pequeños y las mangueras, por lo general, se recogen en bobinas.

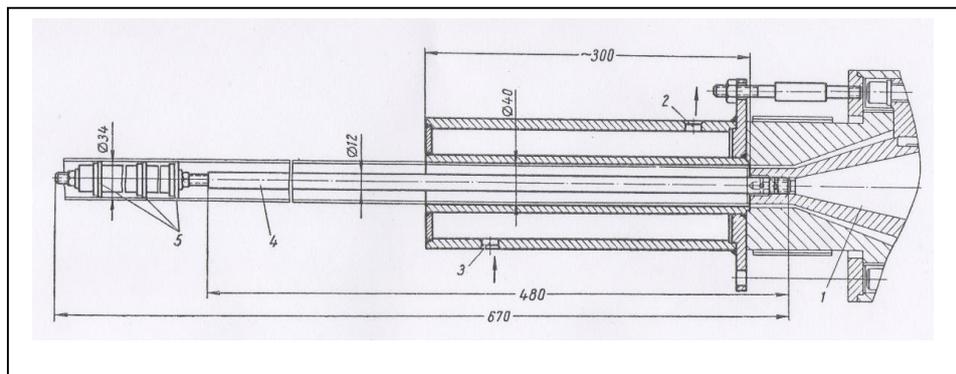


**Figura 2.7** Instalación para extrusionar tubos de material termoplástico con husillo de 60mm de diámetro<sup>70</sup>.

En la mayor de los casos, para calibrar el diámetro exterior del tubo se utilizan hileras calibradoras como la de la **figura 2.7**. Dicha hilera va

<sup>70</sup> Imagen instalación para extrusionar tubos de material termoplástico con husillo de 60mm de diámetro, Libro de Transformación de plástico por V.K. Savgorodny, pág. 93

acoplada directamente al cabezal o se coloca junto al dispositivo refrigerador. El tubo estrusionado se ajusta contra la superficie pulida de la hilera por medio de aire comprimido, inyectado al interior del tubo canal 1. Para hermetizar el tubo en su interior se coloca un tapón deslizante, formado por un juego de arcos de goma 5 montados sobre la barra 4. El tubo se refrigera por medio de una camisa de agua circulante, cuyo conducto de entrada es 3 y el de salida 2.

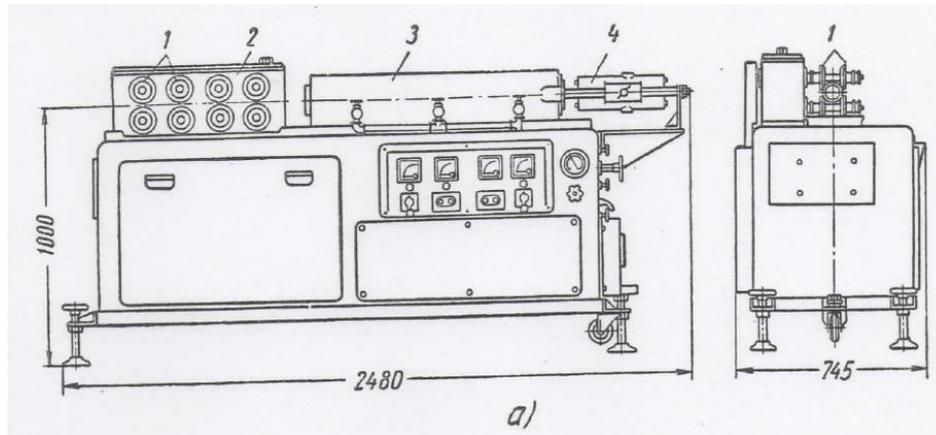


**Figura 2.8** Hilera calibradora para extrusión de tubos<sup>71</sup>.

También se suelen emplear, aunque en casos aislados, el calibrado de este caso no se requiere la hermetización del tubo. Los tubos de pared gruesa se suelen calibrar combinando cierta sobrepresión de aire comprimido en el interior del tubo con la acción de un vacío exterior.

Básicamente el dispositivo de refrigeración consiste en un baño desplazable independiente con agua circulante, por el cual pasa el tubo extrusionado. Los lados frontales del baño están debidamente cerrados por unos arcos de goma de empaquetadura provistos de agujeros para dar paso al tubo. Presenta interés el dispositivo representado en la **figura 2.9 (a)**, que consta de la hilera calibradora 4, baño de agua 3 y dispositivo de estirado 2; es adecuado para extrusionar tubos de material termoplástico de 80mm de diámetro.

<sup>71</sup> Imagen hilera calibradora para extrusión de tubos, Libro de Transformación de plástico por V.K. Savgorodny, pág. 93



**Figura 2.9 (a)** Dispositivos auxiliares para la fabricación de tubos  
 (a) - acoplado a la máquina para calibrar, refrigerar y estirar el tubo<sup>72</sup>

En el interior de la bancada se encuentran el accionamiento del dispositivo de estirado de velocidad regulable, la bomba de vacío de la hilera calibradora y los instrumentos que controlan la temperatura del agua en el baño. Dicho baño, que suelen medir un metro, es de aluminio y lo forman tres compartimientos.

#### 2.1.4 SELECCIÓN DE MODELADO PARA EXTRUSORA PARTIENDO DE LA PRODUCCIÓN.

De varias opciones se optó por las instalaciones para la extrusión de tubos articulados perfilados en el cual tienen una hilera de calibración para extrusión de tubos que se encuentran en el interior de molde se realiza una tabla de ponderación para ver sus beneficios y de ahí poder partir con el proyecto.

<sup>72</sup> Imagen dispositivos auxiliares, Libro de Transformación de plástico por V.K. Savgorodny, pág. 94.

Instalaciones tuberías	País	Husillo			Producción Kg/h	Potencia en Kw	
		Diámetro mm	L:D	Velocidad rpm		Calefacción	motor
Instalación de extrusión para la granulación de materiales termoplásticos alambre o varilla	BELGICA JUMEX	48	10:01	9,0 -60	60	4,8	3
		62	11:01	9,0 -60	100	6	5,2
		82	10:01	9,0 -60	160	12,5	9
		100	10:01	9,0 -60	350	18	12
		125	10:01	9,0 -60	630	24	17,5
Instalación de extrusión para la granulación de materiales termoplásticos	REPUBLICA FEDERAL DE ALEMANIA	30	18:1 Y 24:1	13-48	10	4	3,5
		45	18:1 Y 24:1	7,0-41	25	5,5	6,5
		60	18:1 Y 24:1	6,0-39	55	10	9
		90	18:1 Y 24:1	9,0-33	140	17	22
		120	14:1 Y 20:1	8,0-29	320	24	28
		150	14:1 Y 19:1	6,0-23	470	30	35
Instalación para fabricar láminas de material termoplásticos lisa	INGLATERRA WINDSOR	80 - 85 Y 90	(16-32):1	4,0-13	30	6	3,7
		104 Y 98	(17-34):1	6,0 - 18	45	7,0 - 8	7,5
		111,5	(18-36):1	0 - 40	180	30	37
Instalación para fabricar láminas de materiales termoplásticos con ondulación longitudinal	ITALIA BAUSANO	25	10:01	10,0-30	6	0,4	0,7
		35	10:01	6,0-54	20	0,8	2,2
		60	10:01	18-32	50	2,2	3

		80	12:01	10,0 -32	100	4	6
		100	12:01	7,0-25	150	6	9
		140	12:01	6,0-20	300	6,0 - 8,0	18
Instalación para fabricar láminas de material con ondulación transversal	LUXEMBURGO MAPRE	64	12:01	0-50	100	7	12
		92	10:01	0-48	150	8	15
		102	10:01	0-50	250	14	18
		160	10:01	0-33	800	28	37
Instalación para fabricar láminas de material termoplástico con ondulación transversal	CHINA	30	18:1 Y 24:1	13-48	10	4	3,5
		45	18:1 Y 24:1	7,0-41	25	5,5	6,5
		60	18:1 Y 24:1	9,0-33	140	17	22
		100	12:01	7,0-25	150	6	9

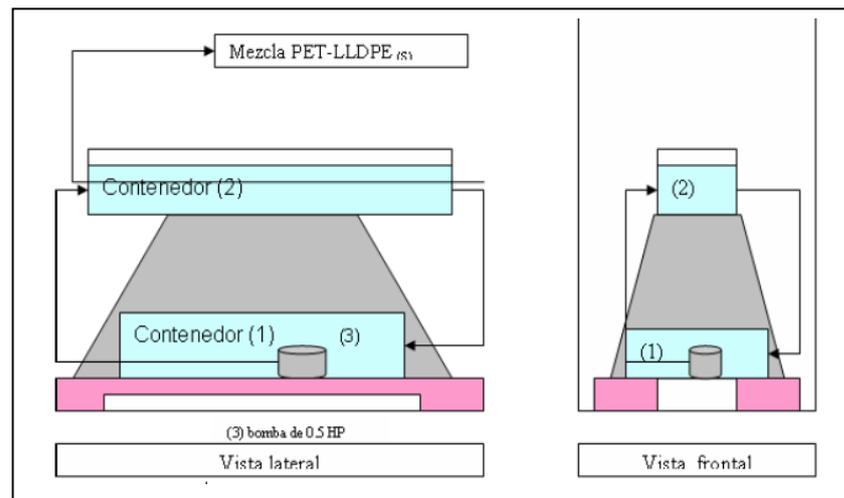
**Tabla 2.1** Ponderación de bondades de sistemas de instalación.

## 2.1.4 RESERVORIO Y TINA DE ENFRIAMIENTO.

### 2.1.4.1 Análisis en el contenedor (1 Reservorio)

Se procede a llenar con agua el contenedor (1), de la cual se bombea al contenedor (2) en este contenedor se produce la transferencia de momentum y calor simultáneos al enfriar el producto. El agua se hace recircular.

La tina de enfriamiento consta de una bomba sumergible al cual mantiene en constante recirculación el agua. En la **figura 2.10**, se ilustra las partes de la tina.



**Figura 2.10** Tina de enfriamiento con sistema de recirculación, el flujo es manipulado con una válvula para mantener esta constante<sup>73</sup>.

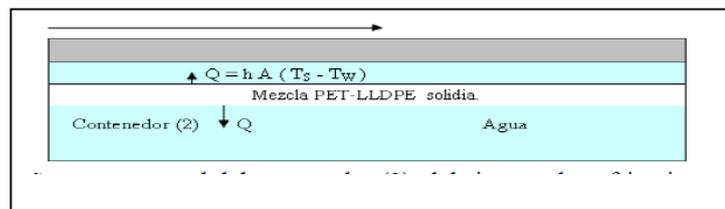
Para lograr lo anterior se propone, mantener el flujo de agua constante para no crear turbulencia. Por medio de un control proporcional se mantiene la temperatura constante, para cada corrida experimental. La temperatura que se fijó es de 35 °C, esta es fácil de mantener debido al

<sup>73</sup> Tina de enfriamiento con sistema de recirculación, el flujo es manipulado con una válvula para mantener esta constante, fuente : autor.

clima al que estamos que es de 22 °C, en cambio para las temperaturas de 5 y 11 °C para mantenerlas constantes se necesita de un intercambiador de calor o de un sistema de refrigeración.

#### 2.1.4.2 Análisis en el contenedor (2 Tina enfriamiento)

En el proceso de enfriamiento del plástico ocurre transferencia de momentum y de calor, simultáneamente. Analizando la interface solido-liquido del sistema, se tiene que el sólido es enfriado por convección forzada, como se muestra en la **figura 2.11**.



**Figura 2.11** Corte transversal del contenedor (2), del sistema de enfriamiento. En el cual se observa la pérdida de calor de la placa solida de la mezcla PET- LLDPE<sup>74</sup>.

Posteriormente se toma la medición de la velocidad a la que sale el flujo másico de la tira de mezcla PET- LLDPE en el sistema de jalón, ya que la mezcla fundida a la salida del extrusor corresponde a ese mismo flujo. Para conocer el perfil de temperatura del plástico a lo largo de la tina de enfriamiento, se produce a realizar un balance general en un elemento diferencial del plástico, para obtener modelos matemáticos que nos describan la variación de la temperatura del plástico, para obtener modelos matemáticos que nos describan la variación de la temperatura del plástico conforme aumenta la longitud. Como se describe enseguida.

<sup>74</sup> Imagen corte transversal del contenedor (2) del sistema de enfriamiento fuente: autor

Las temperaturas que se manipularon son: 5, 11 y 35 todas estas en grados Celsius. Utilizando dos tipos de flujo, a los que llamamos flujo =  $5.357 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{seg}$ . Cabe destacar que esta es la contribución del proyecto a las investigaciones ya realizadas, pretendiendo obtener diferentes propiedades mecánicas del producto final. En base a la cinética de cristalización<sup>75</sup>.

#### 2.1.2.4.1 *Conducción de camisa de enfriamiento*

##### **La conductividad térmica**

Los fundamentos de la conducción de calor se establecieron hace más de un siglo y se atribuyen generalmente a Fourier. En muchos sistemas que involucran flujo, tal como flujo de calor, flujo de fluido o flujo de electricidad, se ha observado que la cantidad que fluye es directamente proporcional a la diferencia de potencial e inversamente proporcional a la resistencia que se aplica al sistema, 0,

$$\text{Flujo} \propto \frac{\text{potencial}}{\text{resistencia}} \quad (2.1)$$

En el flujo de calor a través de una pared, el flujo se lleva a efecto por la diferencia de temperatura entre las superficies calientes y frías. Recíprocamente, de la **Ec. (2.1)**, cuando dos superficies de una pared están a diferente temperatura, necesariamente existe un flujo y una resistencia al flujo de calor. La **conductancia es** la recíproca de la resistencia al flujo de calor, y la **Ec. (2.1)** puede expresarse por

$$\text{Flujo} \propto \text{conductancia} \times \text{potencial} \quad (2.2)$$

---

<sup>75</sup> Fuente: Universidad autónoma metropolitana unidad iztapalapa ciencias básicas e ingeniería realizado por: Ing. Ángel Escobar Hernández.

Para hacer de la **Ec. (2.2)** una igualdad, la conductancia debe evaluarse de tal manera, que ambos lados sean dimensional y numéricamente correctos. Supóngase que una cantidad medida de calor Q (Btu) ha sido transmitida por una pared de tamaño desconocido en un intervalo de tiempo t, (h) con una diferencia de temperatura medida  $\Delta T$  °F. Escribiendo de nuevo la **Ec. (2.2)**

$$Q = \frac{Q'}{\theta} = \text{conductancia} \times A t \text{ Btu/h (2.3)}$$

y la conductancia tiene las dimensiones de Btu/(h)(°F). La conductancia es una propiedad ponderable de toda la pared, aun cuando se ha encontrado experimentalmente que el flujo de calor está independientemente influido por el grosor y el área de la misma. Es de desearse diseñar una pared que tenga ciertas características respecto al flujo de calor, la conductancia obtenida anteriormente no es útil, y es aplicable únicamente a la pared experimental. Para permitir un uso más amplio a la información experimental, se ha convenido reportar la conductancia únicamente cuando todas las dimensiones se refieren a valores unitarios. Cuando la conductancia se reporta para una cantidad de material de un pie de grueso con un área de flujo de un pie<sup>2</sup>, la unidad de tiempo 1 (h) y la diferencia de temperatura 1°F, se llama *conductividad térmica k*. Las correlaciones entre la conductividad térmica y la conductancia de una pared de grueso L y área A, están entonces dadas por

$$\text{Conductancia} = k \frac{A}{L} \text{ (2.4)}$$

Por lo tanto

$$Q = k \frac{A}{L} \Delta T$$

Donde  $k$  tiene las dimensiones resultantes de la expresión  $Q L/A \Delta T$  o Btu/(h) (pie<sup>2</sup> de área de flujo) ( °F de diferencia de temperatura)/ (pie de grueso de pared) y  $\Delta T$  es la variación de temperatura entre la entrada y la salida del agua <sup>76</sup>.

#### 2.1.4.2.2 *Influencia de la temperatura y la presión en k.*

La conductividad térmica de los sólidos es mayor que la de los líquidos, la que a su vez es mayor que la de los gases. Es más fácil transmitir calor a través de un sólido que a través de un líquido y más fácil por un líquido que por un gas. Algunos sólidos, tales como los metales, tienen altas conductividades térmicas y se llaman **conductores**. Otros tienen bajas conductividades y son malos conductores del **calor**. Estos son **aislantes**. En las determinaciones experimentales descritas arriba, se supuso que la conductividad térmica es independiente de la temperatura en cualquier punto del material de prueba. Consecuentemente, los valores reportados de le son los promedios del espécimen completo, y el error introducido por esta suposición se puede estimar examinando. Las conductividades de los sólidos pueden, ya sea aumentar o disminuir con la temperatura, y en algunos casos pueden hasta invertir su velocidad de cambio de una disminución a un incremento. Para la mayoría de los problemas prácticos no hay necesidad de introducir un factor de corrección para las variaciones de la conductividad térmica con la temperatura. Sin embargo, la variación puede usualmente expresarse por la ecuación lineal siguiente

$$k = k_0 + \gamma t \quad (2.5)$$

Donde  $k_0$ , es la conductividad a °F é  $\gamma$ , es una constante que denota el cambio en la conductividad por grado de cambio en la temperatura. La

---

<sup>76</sup> Fuente: Universidad autónoma metropolitana unidad iztapalapa ciencias básicas e ingeniería realizado por: Ing. Ángel Escobar Hernández pag 38.

conductividad para muchos líquidos decrece con aumento en la temperatura, aunque el agua es 'una excepción notable'<sup>77</sup>.

#### **2.1.4.2.3 Convección de camisa de enfriamiento.**

La transferencia de calor por convección se debe al movimiento del fluido. El fluido frío adyacente a superficies calientes recibe calor que luego transfiere al resto del fluido frío mezclándose con él. La convección libre o natural ocurre cuando el movimiento del fluido no se complementa por agitación mecánica. Puede aplicarse por medio de un agitador, aun cuando en muchas aplicaciones de proceso se induce circulando los fluidos calientes y fríos a velocidades considerables en lados opuestos de tubos. Las convecciones libres y, forzada ocurren a diferentes velocidades, la última es la más rápida y por lo tanto la más común. Los factores que promueven altas transferencias para la convección forzada. No necesariamente tienen el mismo efecto en la convección libre.

Se vio que en el flujo de calor de una tubería al aire, el paso de calor hacia el aire no se efectuó solamente por convección, en lugar de esto, el flujo se efectúa parcialmente por radiación y parcialmente por convección libre. Existía una diferencia de temperatura entre la superficie de la tubería y la temperatura **promedio** del aire. Puesto que la distancia de la superficie del tubo hasta la región del aire a temperatura promedio es indefinida, la resistencia no se puede computar usando  $R_a = L_a / K_a A$ , usando  $K$  para el aire. Sino que la resistencia debe determinarse experimentalmente midiendo apropiadamente la temperatura de la superficie del tubo, la temperatura del aire y el calor transferido desde el tubo, según la cantidad de vapor que se condense en él. La resistencia de la superficie completa se computo entonces de

---

<sup>77</sup> Universidad autónoma metropolitana unidad iztapalapa ciencias básicas e ingeniería realizado por: Ing. Ángel Escobar Hernández

$$Ra = \frac{\Delta t a}{Q} \text{ (h) } (^{\circ}\text{F}) / \text{Btu} \quad (2.6)$$

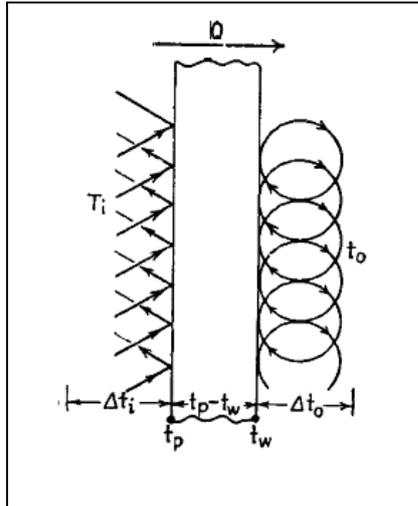
Si se desea, La puede también calcularse a partir de este valor de **Ra**, y sería la longitud de una capa de aire ficticia de conducción, equivalente a la resistencia combinada de conducción, convección libre y radiación. La longitud de la película es de poco significado, aun cuando el concepto de película ficticia encuentra numerosas aplicaciones. En lugar de esto, es preferible trabajar directamente con el recíproco de la resistencia unitaria **h**, que tiene un origen experimental. Debido a que el uso de la resistencia unitaria **L/k** es mucho más común que el uso de la resistencia total de superficie **L/kA**, la letra R se usará ahora para designar **L/k(h)(pie)(F)/Btu** y se llamará simplemente resistencia<sup>78</sup>.

No todos los efectos de la conducción son necesariamente combinaciones de dos de ellos. Particularmente en el caso de convección libre o forzada a líquidos, y de hecho a muchos gases a temperaturas y diferencia de temperaturas moderadas, la influencia de radiación puede despreciarse y la resistencia experimental corresponde a convección forzada o libre, según el caso.

Considérese una pared de tubería con convección forzada de diferentes magnitudes en ambos lados del tubo, como se muestra en la **Figura. 2.12** En el lado interior, el calor es depositado por un fluido caliente, y en el lado exterior el calor es recibido por un líquido frío. Cualquiera de las resistencias puede ser medida independientemente, obteniendo la diferencia de temperatura entre la superficie del tubo y la temperatura promedio del líquido.

---

<sup>78</sup> Universidad autónoma metropolitana unidad iztapalapa ciencias básicas e ingeniería realizado por: Ing. Ángel Escobar Hernández



**Figura 2.12** Dos coeficientes de convección<sup>79</sup>.

La transferencia de calor puede determinarse a partir del cambio de calor sensible en cualquiera de los fluidos y en la longitud del tubo en la cual ocurra transferencia de calor. Designando por **Ri** la resistencia interior, y la exterior por **Ro**; las temperaturas interiores y exteriores de la pared del tubo por  $t_p$ , y  $t_w$ , y aplicando una expresión para el estado estable.

$$Q = \frac{A_i (T_i - t_p)}{R_i} = A_o \frac{t_w - t_o}{R_o} \quad (2.7)$$

Donde  $T_i$  es la temperatura del fluido caliente en la parte interior y  $t_o$ , la temperatura del fluido frío en el exterior. Reemplazando las resistencias por sus recíprocos  $h_i$  y  $h_o$ , respectivamente,

$$Q = h_i A_i \Delta t_i = h_o A_o \Delta t_o, \quad (2.8)$$

Los recíprocos de la resistencia de transferencia de calor tienen las dimensiones de  $\text{Btu}/(\text{h})(\text{pie}^2)(^\circ\text{F})$  de diferencia de temperatura, y se llaman **coeficientes individuales de película** o simplemente **coeficientes de película**.

<sup>79</sup> Imagen dos coeficientes de convección ciencias básicas e ingeniería por: Ing. Ángel Escobar Hernández.

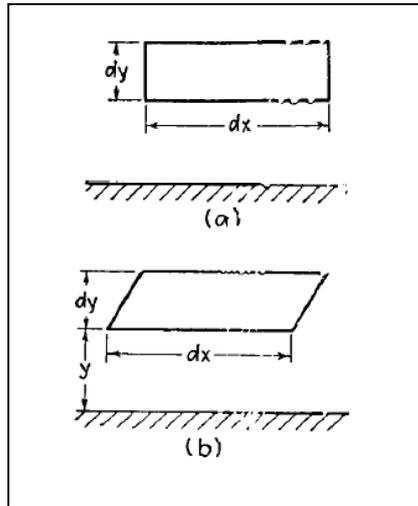
Además de que el coeficiente de película es una medida del flujo de calor por unidad de superficie y por unidad de diferencia de temperatura, indica la razón o velocidad a la cual fluidos que tienen una variedad de propiedades físicas y bajo diferentes grados de agitación, transfieren calor. Hay otros factores que influyen los coeficientes de película, tales como el tamaño del tubo y si el fluido se considera o no que está dentro del tubo. Con tantas variables, y cada una teniendo su propio grado de influencia en la razón de transferencia de calor (coeficiente de película), es fácilmente comprensible por qué no hay una derivación racional que permita un cálculo directo de los coeficientes de película. Por otra parte, no es práctico efectuar un experimento para determinar el coeficiente cada vez que se deba añadir o remover calor de un fluido<sup>80</sup>.

En lugar de esto, es deseable estudiar algún método de correlación mediante el cual y con la ejecución de algunos experimentos básicos, con un amplio rango de variables, obtener relaciones que mantengan su validez para cualesquiera otras combinaciones de variables. El problema inmediato es establecer un método de correlación y luego aplicarlo a datos experimentales.

**La viscosidad.** No es posible avanzar demasiado en el estudio de convección y flujo de fluidos, sin definir una propiedad que tiene importantes conexiones con ambas, la **viscosidad**. Para evaluar esta propiedad mediante la dinámica de los fluidos, es necesario hacer dos suposiciones: (1) donde existe una interface sólido líquido, no hay corrimiento entre el sólido y el líquido, y (2) la regla de Newton: el esfuerzo de corte es proporcional al esfuerzo en dirección perpendicular al movimiento.

---

<sup>80</sup> Fuente: libro Universidad autónoma metropolitana unidad iztapalapa ciencias básicas e ingeniería realizada por: Ing. Ángel Escobar Hernández.



**Figura 2.13** Deformación de un fluido<sup>81</sup>.

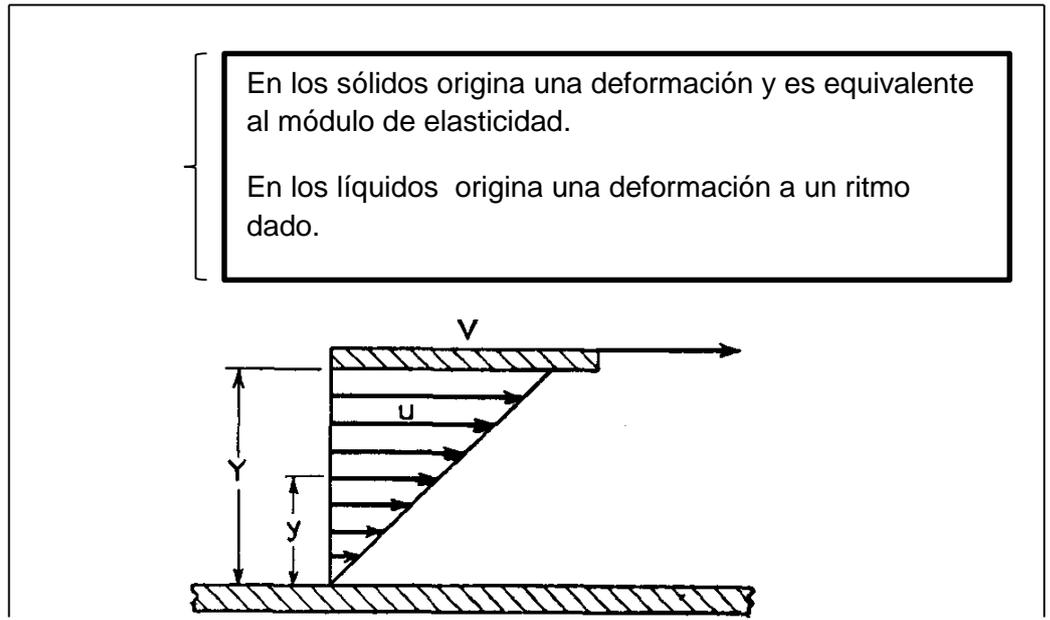
Una partícula de líquido no sometido a esfuerzo, como se muestra en la Fig. 3.4a, adoptará la forma de la **figura 2.13 (b)**, cuando una película de líquido se sujete al esfuerzo de corte. La razón del corte es proporcional al gradiente de velocidad  $du/dy$ . Aplicando la regla de Newton, si  $\tau$  es el esfuerzo de corte.

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (2.9)$$

Donde  $\mu$  es una constante de proporcionalidad.

<sup>81</sup> Imagen libro Universidad autónoma metropolitana unidad iztapalapa ciencias básicas e ingeniería realizada por: Ing. Ángel Escobar Hernández.

$$\mu = \frac{r}{du/dy}$$



**Figura 2.14** Esfuerzo de corte en un líquido<sup>82</sup>.

Para evaluar  $\mu$  refiérase la **figura 2.14** donde el corte es producido manteniendo la película del líquido entre una placa estacionaria a una distancia  $Y$  de una placa móvil que se desplaza con velocidad  $V$ . En cualquier punto de la película la velocidad  $u$  es dada por  $u = Vy / Y$ .

$$\text{Razón de corte} = \frac{du}{dy} = \frac{V}{Y} \quad (2.10)$$

$$\tau = \mu \frac{V}{Y} \quad (2.11)$$

Donde  $\mu$  se llama viscosidad y  $V$  y  $Y$  tienen valores unitarios. La fuerza real requerida para mover la placa es  $\tau A$ . Si  $F$  es libra-fuerza,  $L$  longitud, y “t” tiempo, las dimensiones de viscosidad son<sup>83</sup>.

<sup>82</sup> Imagen: libro Universidad autónoma metropolitana unidad iztapalapa ciencias básicas e ingeniería realizada por: Ing. Ángel Escobar Hernández.

<sup>83</sup> Fuente: libro Universidad autónoma metropolitana unidad iztapalapa ciencias básicas e ingeniería realizada por: Ing. Ángel Escobar Hernández.

$$\mu = \tau \frac{Y}{V} = \frac{F}{L^2} \frac{L}{L/t} = \frac{Ft}{L^2} \quad (2.12)$$

O usando libra-masa **M**, donde  $F = Mg$  y  $g = LP$ , la aceleración de la gravedad

$$\mu = \frac{ML}{L^2 \theta^2} \frac{L}{L/t} = \frac{M}{Lt} \quad (2.13)$$

Cuando se evalúa en unidades métricas cgs se llama viscosidad absoluta.

$$\mu = \frac{\text{gramos-masa}}{\text{centímetros} \times \text{segundo}} \quad (2.14)$$

A esta unidad se ha llamado poise en honor del científico francés Poiseuille. Esta es una unidad muy grande, y es costumbre usar y hablar de centípoise, o un centésimo de poise. En unidades de ingeniería su equivalente es definido por

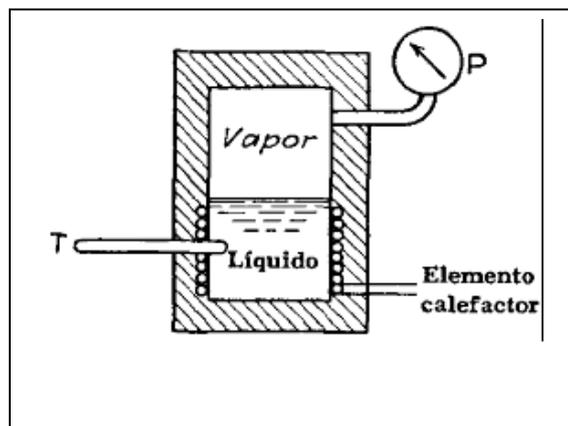
$$\mu = \frac{\text{libra-masa}}{\text{pie} \times \text{hora}} \quad (2.15)$$

Las viscosidades dadas en centipoises pueden convertirse a unidades de ingeniería multiplicando por 2.42. Esta unidad no tiene nombre. Otra unidad, la viscosidad cinemática, se usa también debido a que ocurre frecuentemente en sistemas físicos y produce gráficas de línea recta cuando se grafica viscosidad contra temperatura en coordenadas logarítmicas. La viscosidad cinemática es la viscosidad absoluta en centipoises dividida por la gravedad específica

$$\text{Viscosidad cinemática} = \frac{\text{viscosidad absoluta}}{\text{gravedad específica}} \quad (2.16)$$

La unidad de la viscosidad cinemática es el stokes, en honor del matemático inglés Stokes, y la centésima parte del stokes es el centistokes. La viscosidad puede determinarse directamente midiendo el

tiempo de emisión de un dispositivo calibrado que tiene un orificio y temperatura controlada. El más común de estos aparatos es el viscosímetro de Saybolt, y el tiempo de emisión de una taza estándar a un receptor estándar se mide en segundos y se registra como Segundos Saybolt Universal, S.S.U. Los factores de conversión del tiempo de emisión a centistokes para el viscosímetro de Saybolt y de otro tipo, se dan en la **figura 2.15**.

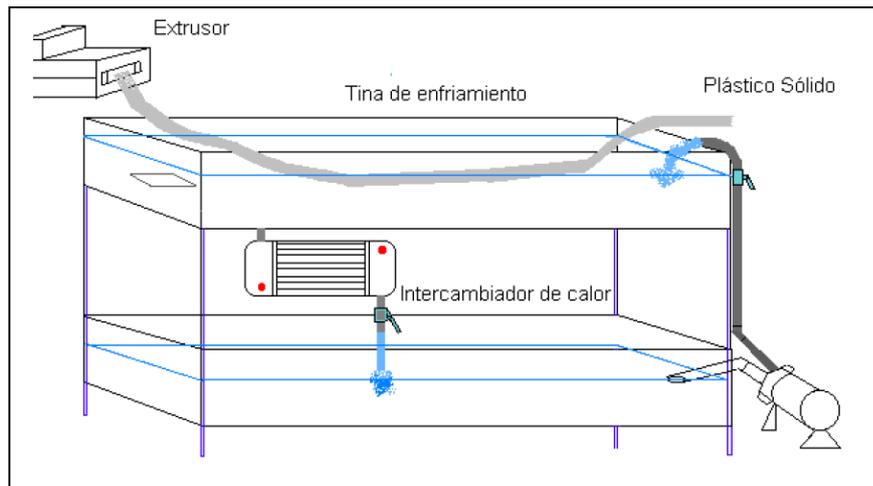


**Figura 2.15** Recipiente de equilibrio<sup>84</sup>.

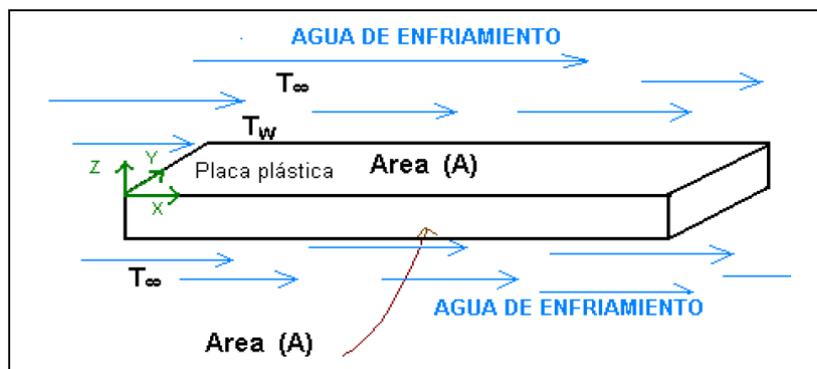
#### **2.1.4.2.4 Balance de calor en la tina de enfriamiento.**

En el extrusor sale la mezcla PET - LLDPE (90-100)%, totalmente fundida a una temperatura de 130 - 160°C, la cual se enfría en una tina de enfriamiento la cual se debe mantener a 5 °C por medio de un motor bomba que hace recircular el agua, en donde hay un intercambiador de calor que hace bajar la temperatura.

<sup>84</sup> Imagen: libro Universidad autónoma metropolitana unidad iztapalapa ciencias básicas e ingeniería realizada por: Ing. Ángel Escobar Hernández.



**Figura 2.16** Sistema de enfriamiento con recirculación de agua<sup>85</sup>.



**Figura 2.17** Paleta de plástico donde la cara en la coordenada Z es la que más emite calor, debido a que hay mayor área<sup>86</sup>.

**Postulados.**

El calor en la dirección X y Y emiten muy poco, es por eso que se desprecia. Considerando solo el calor que emite en dirección Z.

$$q_x = 0$$

$$q_y = 0$$

$$q_z = 0$$

<sup>85</sup> Fuente: Autor

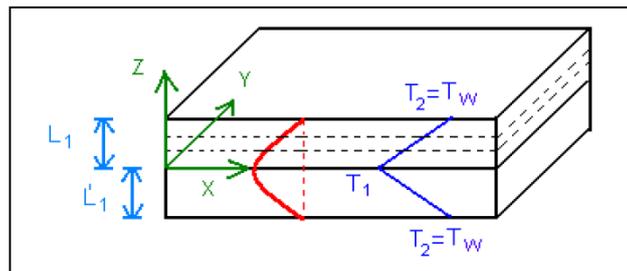
<sup>86</sup> Fuente: Autor

$k = \text{cte}$

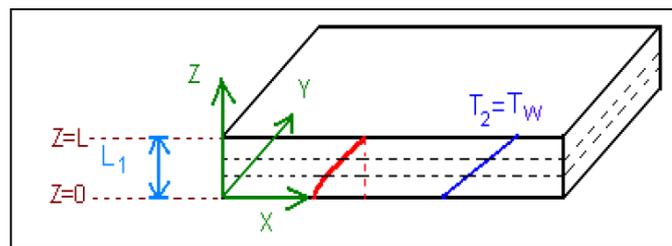
**Condiciones.**

Estado estacionario, la conductividad térmica no varía con la temperatura. La mayor temperatura se encuentra en el centro de la paleta de plástico,  $T_2 = T_w$  es la temperatura en la pared del plástico, que hipotéticamente se encuentra a  $130 - 160 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Balance en el elemento diferencial, el comportamiento real de la temperatura es una curva representado de color rojo, pero para el análisis analítico se considera que es lineal.



**Figura 2.18** En el centro de la placa se encuentra una mayor temperatura<sup>87</sup>.

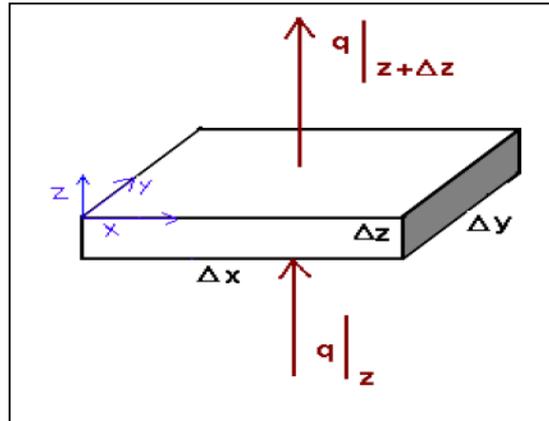


**Figura 2.19** Podemos observar que la cara que tiene mayor área emite más calor (dirección Z)<sup>88</sup>.

<sup>87</sup> Fuente: Autor

<sup>88</sup> Fuente: Autor

## Balance de energía calorífica



**Figura.2.20** Tomando una diferencial de volumen y fijando coordenadas rectangulares, así como la dirección del calor<sup>89</sup>.

I. Analizando el elemento diferencial con espesor, la primera ley de la termodinámica partiendo de la **Ec. (2.4)** establece que el calor que entra al sistema por conducción es igual al que sale de este. Analíticamente:

$$E - S = 0$$

$$(\Delta x \Delta y) q_z|_z - (\Delta x \Delta y) q_z|_{z+\Delta z} = 0 \quad (2.17)$$

$$\frac{q_z|_{z+\Delta z} - q_z|_z}{\Delta z} = 0$$

Limite  $\Delta z \rightarrow 0$   $\rightarrow$

$$\frac{dq_z}{dz} = 0 \quad (2.18)$$

II. Integrando la ecuación **(2.18)**

---

<sup>89</sup> Fuente: Autor

$$q = c_1 \quad (2.19)$$

Donde es una constante de integración, esta expresión ratifica analíticamente que el flujo de calor por unidad de área en la placa es constante, sustituyendo la ley de Fourier en la ecuación (2.19)

$$-k \frac{dT}{dz} = c_1 \quad \text{o} \quad \frac{dT}{dz} = -\frac{c_1}{k} \quad (2.20)$$

Se supone que la conductividad térmica del material es constante, integrando la **ecuación (2.20)**

$$\int dT = -\frac{c_1}{k} \int dz$$

$$T = -\frac{c_1}{k} z + c_2 \quad (2.21)$$

III. Por lo que se concluye que el perfil de temperatura a través de la placa es lineal. Si la conductividad térmica es constante. Las condiciones de integración  $c_1$  y  $c_2$  pueden evaluarse mediante las condiciones de frontera que corresponden a la situación física del problema.

Estas condiciones pueden determinarse recurriendo a las temperaturas en la mitad y la superficie de la placa. (Figura 2.20)

$$\left. \begin{array}{l} T = T_1 \quad \text{en} \quad z=0 \\ T = T_2 = T_w \quad \text{en} \quad z=L \end{array} \right\} \text{Condiciones en la frontera}$$

En la **ecuación (2.21)** aplicamos las condiciones de la frontera

$$T = -\frac{c_1}{k} z + c_2$$

Entonces  $C_2 = T_1$  **(2.22)**

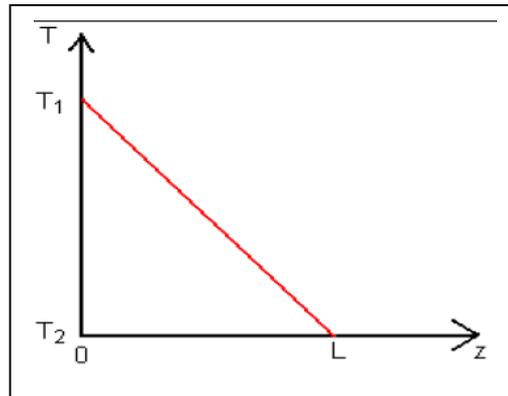
Y

$$C_1 = \frac{k}{L}(T_1 - T_2) \quad \mathbf{(2.23)}$$

Substituyendo en las **ecuaciones (2.22) y (2.23)** en **(2.21)**

$$T = T_1 - \frac{(T_1 - T_2)}{L} z \quad \mathbf{(2.24)}$$

Muestra la variación de la temperatura en la placa como función de z.

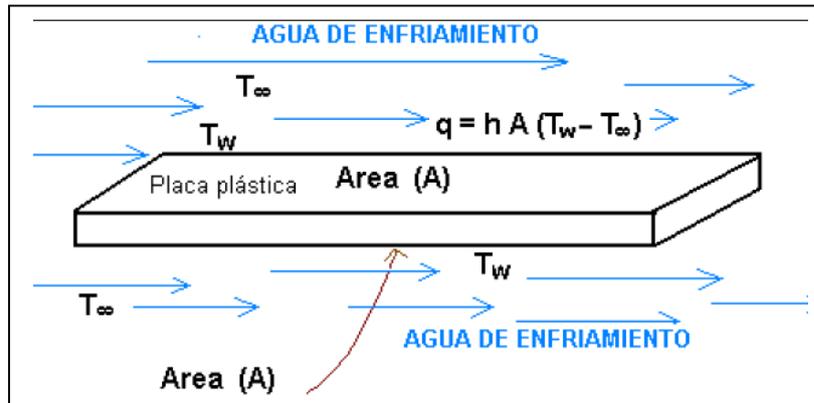


**Figura 2.21** Distribución de temperatura en una placa con conductividad térmica constante<sup>90</sup>.

#### 2.1.4.2.5 Calor transferido por la placa de plástico (convección).

---

<sup>90</sup> Fuente: Autor



**Figura 2.22** Calor que gana el agua proveniente del plástico, se obtiene con la correlación de Nusselt<sup>91</sup>.

$A$  = Es el área de la placa, donde se observa que es la parte que más emite calor, el área de las partes laterales es muy poco el calor que emiten, por lo tanto se desprecia. Se considera que el calor va en una sola dirección.

$T_{\infty}$  = Temperatura del agua de enfriamiento.

$T_w$  = Temperatura en la superficie de la placa de plástico.

$h$  = Coeficiente de transferencia de calor por convección.

El área de transferencia es  $2A$ .

### Suposiciones:

- Estado estacionario.
- El agua toma el calor del plástico.
- Propiedades constantes del agua para cada una de las temperaturas fijas.
- El Reynolds del sistema está sujeto a cada una de las temperaturas fijas, a las que se realiza cada corrida.

<sup>91</sup> Imagen: libro Universidad autónoma metropolitana unidad iztapaalapa ciencias básicas e ingeniería realizada por: Ing. Ángel Escobar Hernández

Correlación (Pohlhausen) de transferencia de calor por convección para flujo externo, esto para una placa.

$$h = 0.664 (Re)^{1/2} (Pr)^{1/3} (k/L) \quad (2.25)$$

$$NVL = 0.664 (Re)^{1/2} (Pr)^{1/3} \quad (2.26)$$

$$h = \frac{NVL k}{L} \quad (2.27)$$

### **Propiedades del agua a 1 atm**

T(°C)	$\rho \left( \frac{kg}{m^3} \right)$	$\mu \left( \frac{kg}{m \cdot s} \right)$	$k \left( \frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right)$	$Cp \left( \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right)$	Pr
5	999.75	0.0015	0.576	4.2069	11.167
11	999.55	0.00137	0.5868	4.1936	9.2166
35	993.6	0.00084	0.6256	4.174	4.7194
36.08	963.85	0.000814	0.6068	4.049	4.5781

**Tabla.2.2** Propiedades del agua a distintas temperaturas<sup>92</sup>.

Donde para calcular el número de Reynolds,  $Re = \rho v L_c / \mu$ , necesitamos conocer la longitud característica,  $L_c$ , que en nuestro caso es igual a 202,28 mm, que es lo que mide de ancho la tina de enfriamiento, la cual de alto mide 400 mm y de largo mide 2440 mm.

$$Re = \rho v L_c / \mu \quad (2.28)$$

### **Numero de Reynolds**

<sup>92</sup> Tabla: libro Universidad autónoma metropolitana unidad iztapalapa ciencias básicas e ingeniería realizada por: Ing. Ángel Escobar Hernández.

El número de Reynolds permite predecir el carácter turbulento o laminar en ciertos casos.

**En conductos o tuberías (en otros sistemas, varía el Reynolds límite):**

Si el número de Reynolds es menor de 2000 el flujo será laminar y si es mayor de 4000 el flujo será turbulento. El mecanismo y muchas de las razones por las cuales un flujo es laminar o turbulento es todavía hoy objeto de especulación.

Según otros autores:

- Para valores de  $Re \leq 2000$  el flujo se mantiene estacionario y se comporta como si estuviera formado por láminas delgadas, que interactúan sólo en función de los esfuerzos tangenciales existentes. Por eso a este flujo se le llama flujo laminar. El colorante introducido en el flujo se mueve siguiendo una delgada línea paralela a las paredes del tubo.
- Para valores de  $2000 \leq Re \leq 2300$  la línea del colorante pierde estabilidad formando pequeñas ondulaciones variables en el tiempo, manteniéndose sin embargo delgada. Este régimen se denomina de transición.
- Para valores de  $Re \geq 2300$ , después de un pequeño tramo inicial con oscilaciones variables, el colorante tiende a difundirse en todo el flujo. Este régimen es llamado turbulento, es decir caracterizado por un movimiento desordenado, no estacionario y tridimensional.
- Sabemos que para flujo laminar sobre una placa plana,  $Reynolds < 5 \times 10^5$

**2.1.4.2.6 Especificaciones de tina de enfriamiento para construcción.**

Se las normas y cálculos que se detallaron anteriormente obtenemos que la tina de enfriamiento más óptima para construir se detalla en la siguiente tabla de ponderación.

TINA DE ENFRIAMIENTO		
Características		Dimensionamiento
<b>Estructura</b>	Diámetro (mm)	1500 - 2000
	Base (mm)	395 mm
	Altura (mm)	292,280 mm
	Boquillas de entrada manguera (in)	1/2" - 2"
	Boquillas de salida manguera (in)	1/2" - 2"
	Temperatura promedio de estándar °C	5°,11°,35°
	Riel de desplazamiento horizontal (mm)	300mm
	Desplazamiento de calibración (mm)	150 mm
	Forma	Rectangular
	Volumen de agua	307098,596

**Tabla.2.2** Ponderación de características de tina de enfriamiento.

## 2.1.5 HALADOR.

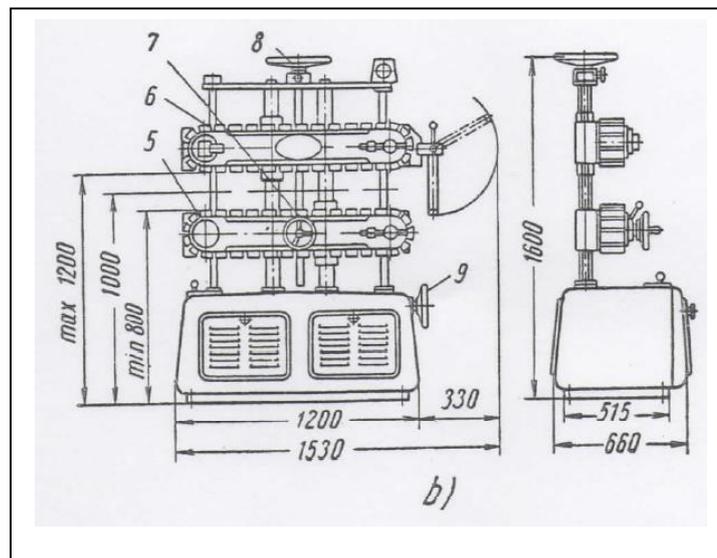
### 2.1.5.1 Halador de tubo y cortadora.

El dispositivo de estirado lleva cuatro pares de rodillos cónicos 1 revestidos de goma. La velocidad mínima de estirado suelen ser de 0,5 a 1,1 m/min. Un variador adecuadamente diseñado asegura el cambio suave de la velocidad cubriendo una gama de 1:9. La potencia del motor es de 0,5Kw. Para formar el vacío necesario se emplea una bomba biescalonada de 4 a 5 m<sup>3</sup>/h, accionada por un motor eléctrico de 0,5 a

3kw. Cuando se requiere un calibrado por medio de aire comprimido la bomba puede ser fácilmente reemplazada por un compresor.

### 2.1.5.2 Halador de tubo.

Para el estirado del tubo se emplean también dispositivos de oruga de sujeción mecánica, hidráulica y neumática. En la **figura 2.23 (b)**, se muestra un dispositivo adecuado para tubos de hasta 300mm de diámetro formado por las orugas 5 y 6, provistas de placas de 250mm de ancho cubiertas de goma porosa; accionamiento a velocidad variable, sin escalones, y con mecanismo para regular la distancia entre las orugas. Un variador permite cambiar suavemente las velocidades de estirado desde un mínimo de los 0,14 m/min hasta un máximo de 70, con un esfuerzo máximo de 3kN (300 kg).



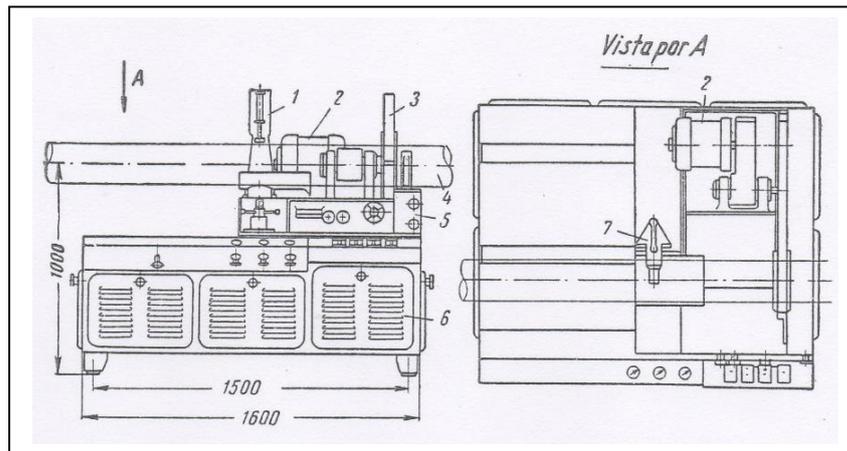
**Figura 2.23 (b)** Dispositivos auxiliares para la fabricación de tubos; (b) - De oruga para el estirado del tubo<sup>93</sup>.

<sup>93</sup> Imagen instalación para extrusionar tubos de material termoplástico con husillo de 60mm de diámetro, Libro de Transformación de plástico por V.K. Savgorodny, pág. 94.

Los volantes 8,7 y 9 sirven, respectivamente, para ajustar la distancia entre las orugas, la posición de la oruga inferior y la del variador. Para facilitar la labor del operario, el dispositivo lleva un contador de metros y un tacómetro. Las dimensiones principales del dispositivo en cuestión viene indicadas en el dibujo; el peso corresponde a 6,4 kN (640 kg). Para el estirado de artículos perfilados, por lo general, se emplea transportadores de cintas. Sin embargo, para el de artículos de perfil muy pronunciado se emplean dispositivos combinados formados por una oruga y varios rodillos. En la actualidad para cortar los tubos se utilizan principalmente sierras de disco de movimiento planetario, que se desplazan a la misma velocidad que el tubo y vuelven a su posición inicial una vez realizado el corte.

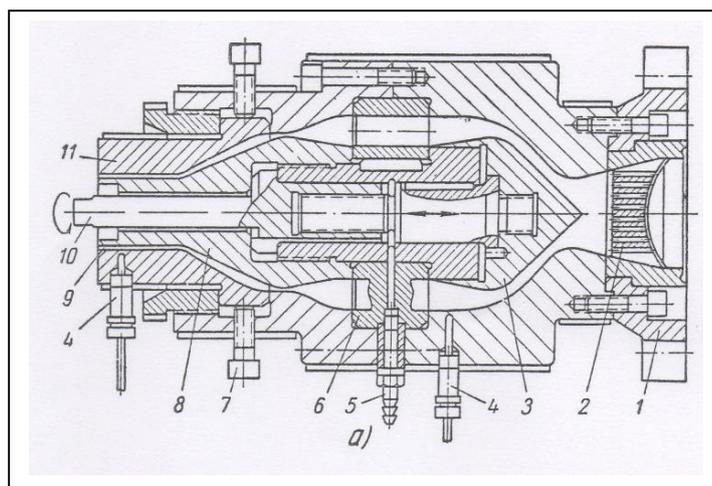
### **2.1.5.3 Cortador de tubo.**

En la **figura 2.24** está representado un dispositivo para cortar tubos de 20 a 200mm de diámetro, con velocidades de estirado comprendidas entre 0,05 y 10m/min. Consta de una bancada solida 6, con sus correspondientes guías, carro 5, motor eléctrico 2 de 4,5 kw y sierra de disco 3 de 600mm de diámetro. Esta última gira a una velocidad circunferencial de 40m/seg, siendo la carrera útil del carro de 700 mm (se regula por el diámetro del tubo y su velocidad de avance). Para facilitar el corte el tubo se sujeta con dos mordazas especiales 7, accionadas por medio de los cilindros neumáticos 1. Evidentemente el esfuerzo de sujeción y la presión de corte son regulables.



**Figura 2.24** Dispositivos para cortar tubos de 20 a 200 mm de diámetro<sup>94</sup>.

La unión entre el cabezal perfilador y el cilindro corre a cargo de la brida 1 **figura 2.25 (a)** en el interior de la brida va incorporada la malla filtrante 2. El anular perfilador 9 está formado por el mandril 8 y el aro 11. La posición del aro con respecto al mandril se puede fijar los tornillos 7. El mandril va ajustado al cuerpo del cabezal por medio del aro de posición 6, provisto de canales para el acceso del aire comprimido a través del racor 5. La temperatura en el cabezal se mide por medio de unos pares eléctricos 4.

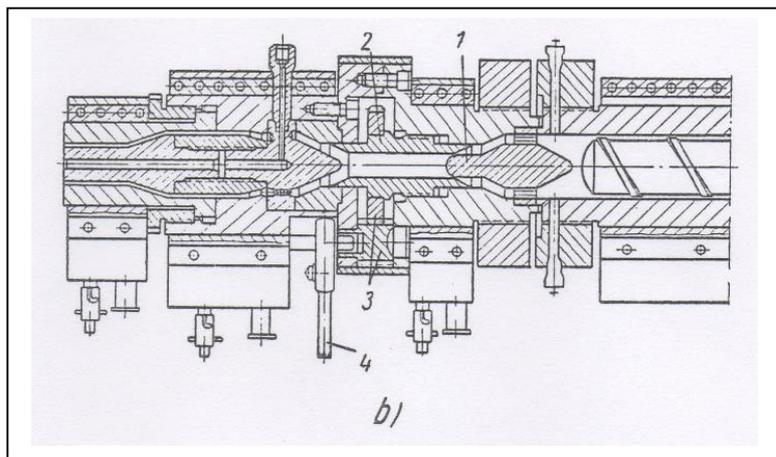


**Figura 2.25 (a)** Cabezales perfiladores con dispositivos para regular la presión de la masa; (a) - Con torpedo desplazable<sup>95</sup>.

<sup>94</sup> Imagen instalación para extrusionar tubos de material termoplástico con husillo de 60mm de diámetro, Libro de Transformación de plástico por V.K. Savgorodny, pág. 97.

La particularidad más característica de este cabezal consiste en el torpedo 3, que puede desplazarse longitudinalmente, girando el husillo 10, regulando así la resistencia del cabezal.

Un cabezal original, provisto de válvula reguladora de la presión, está representado en la **figura 2.25 (b)**. El huelgo anular formado entre el mandril intermedio 1 y el casquillo 2 se ajusta con la ayuda de la manivela 4 y los engranajes 3. En consecuencia, alterando la presión de la masa que se puede controlar la producción da la extrusionadora y el grado de homogeneización del material. Dicha válvula permite mantener un régimen de trabajo estable durante mucho tiempo. El cabezal está diseñado de manera que permita modificar la presión sin detener la máquina. Antes de iniciar el trabajo conviene fijar el huelgo anular mínimo desplazado el mandril, para luego ir aumentando poco a poco, a medida que se van obstruyendo las mallas filtradoras y aumentando la presión de la masa, con el fin de estabilizar el proceso de extrusión.



**Figura 2.25 (b)** Cabezales perfiladores con dispositivos para regular la presión de la masa; (b) - Con mandril intermedio desplazable<sup>96</sup>.

<sup>95</sup> Imagen instalación para extrusionar tubos de material termoplástico con husillo de 60mm de diámetro, Libro de Transformación de plástico por V.K. Savgorodny, pág. 97

<sup>96</sup> Imagen instalación para extrusionar tubos de material termoplástico con husillo de 60mm de diámetro, Libro de Transformación de plástico por V.K. Savgorodny, pág. 97

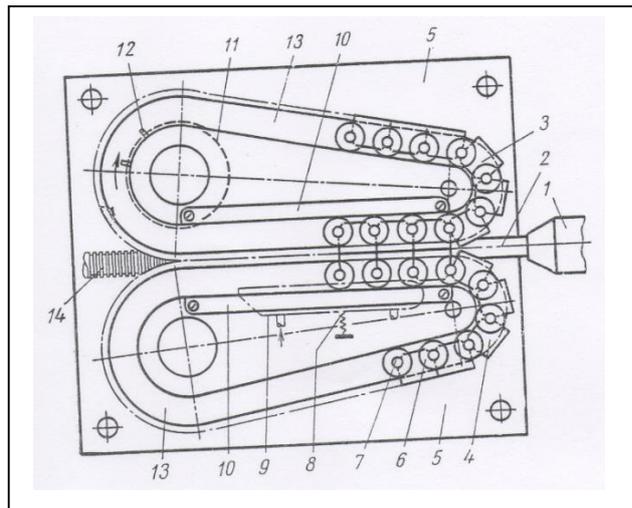
Por lo general, todas las instalaciones de extrusión van equipadas de aparatos automáticos de medición ininterrumpida del diámetro del tubo. Cuando el calibrado del tubo se efectúa por aire comprimido los aparatos van unidos a una válvula que controla automáticamente la presión del aire. Al mismo tiempo se puede vigilar la velocidad de extrusión, el diámetro y espesor del tubo. Al aumentar el espesor de las paredes del tubo la refrigeración transcurre más lentamente y las tensiones internas en el material del tubo bajan con mayor rapidez. Por otro lado al aumentar la temperatura del agua refrigerante aumenta la solidez del tubo en la sección longitudinal pero disminuye el módulo de elasticidad.

A título de orientación, en la **tabla 2.3** se indican las características principales de varias instalaciones soviéticas de uno y dos husillos destinadas a la fabricación de tubos, mangueras y artículos perfilados.

<b>TABLA 2.3</b>	<b>Características técnicas de las instalaciones soviéticas para la fabricación de tubos, mangueras y artículos perfilados</b>						
<b>Parámetros</b>	<b>591681</b>	<b>591856</b>	<b>591670</b>	<b>AT-2-90-32110</b>	<b>591673</b>	<b>591627</b>	<b>513568</b>
Diámetro del husillo, mm.	20	45	63	2 x 90	125	2 x 125	45 y 20
Relación L:D	25	25	20	12	30	12	25
Velocidad de giro del husillo, r.p.m	26-260	hasta 300	hasta 180		hasta 125	3,75 -15	
Producción máxima, kg/h	9	80	80	83	270	160	45
Velocidad de estirado, m/min	0,5 -14	0,5 - 10	0,5 -10		3		0,5 - 8
Dimensiones de los artículos:							
diámetro exterior, mm	10	6,0 - 50	10,0 - 50	32 - 110	110 - 160	125 - 400	
longitud, m		hasta 12		6	6,0 - 12	6,0 - 8	
sección de perfil, mm	20 x 15						
Números de motores:							
de corriente continua	3	3	3		2		3
de corriente alterna	1	6	4		8		2
Potencia de los motores , kw	3	25,9	28,5	34	135	70	22
Potencia de calefacción, kw	3	32,7	33,3		110		15,6
Consumo, m <sup>3</sup> /h:							
de agua	0,1	3	0,6	1	4	1,5	0,55
de aire comprimido	1,5	4		0,5	4,5	1	
Dimensiones (superficie de base x altura), m	10,2 x 0,74 x1,6	23,3 x 2,3 x 3,3	31,2 x 2 x 2,5	20 x 3,1 x 2,2	39,4 x 2,6 x 4,6	24,7 x 1,3 x 2,6	4,3 x 3,5 x 2,1
Peso de la máquina, KN (t)	15	55	54	69	158	178	35
	1,56	5,5	5,43	6,97	15,8	17,8	3,5

**Tabla 2.3** Características principales de varias instalaciones soviética

Gracias a su flexibilidad y elevada capacidad de deformación, sin perder sus cualidades originales los tubos ondulados o de fuelle de material termoplástico gozan de gran demanda para diferentes aplicaciones. El ondulado de un tubo liso 2, que salen de la extrusora 1, **figura 2.26**, se efectúa por medio de varios semimoldes 3 y 4, unidos entre sí con los ejes 7 y los cojinetes de bolas 6, formado dos cadenas sin fin que se desplazan por unas bandas-guía 13, instaladas en las placas 5.



**Figura 2.26** Esquema del dispositivo para moldear tubos ondulados<sup>97</sup>.

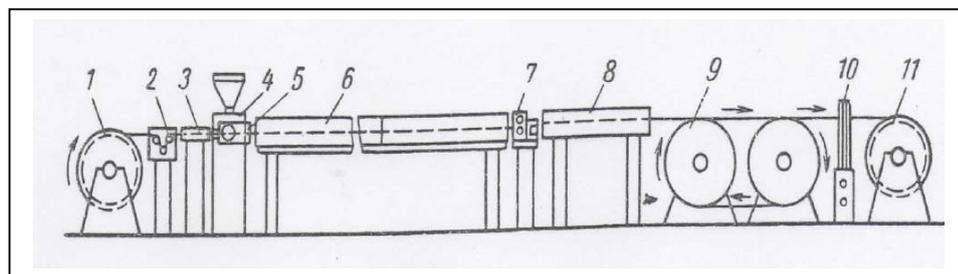
Con el fin de que las cadenas puedan girar con cualquier radio, sin alterar la calidad del tubo, los centros geométricos de giro de los semimoldes, que coinciden con los centros de giro de las bandas- guía, están situados en el plano de separación de los moldes. Las testas de los semimoldes llevan unos chaflanes, cuyo ángulo es igual a la mitad del ángulo de giro de la banda-guía.

Durante el cierre los semimoldes se centran por medio de unas columnas-guía. La refrigeración del tubo acabado 14 se efectúa con un dispositivo especial 9, mantenido en el interior de las cadenas por medio de los muelles 8. Las placas 10, dispuestas paralelamente a las bandas-guía,

<sup>97</sup> Imagen instalación para extrusionar tubos de material termoplástico con husillo de 60mm de diámetro, Libro de Transformación de plástico por V.K. Savgorodny, pág. 98

garantizan una colocación correcta de los moldes durante el trabajo. El movimiento proviene del tambor motor 11, mediante el engrane de los pivotes 12 con la cadena.

Otro tipo de instalación que permite aplicar la envoltura aislante a cables y alambres, es la representada esquemáticamente en la **figura 2.27**. El cable se toma del tambor 1, pasa entre los rodillos 2, que lo mantienen tensado y el conducto 3 le proporciona el calentamiento previo. A continuación ingresa en la extrusionadora 4, donde se le aplica el recubrimiento aislante, sale por el cabezal 5 e inmediatamente pasa al baño 6 de varias secciones, en las que la temperatura del agua escalonada. Una vez frío, en 7 se controla la calidad del aislamiento y 8 verifica el diámetro del cable, prosiguiendo su avance pasa el cabrestante 9, que lo estira antes del enrollado y luego de pasar por el distribuidor 10 llega al recogedor 11.



**Figura 2.27** Esquema de una instalación para aplicar aislamiento a cables y alambres<sup>98</sup>.

#### 2.1.5.4 Selección de halador partiendo de la producción.

Se tomó varias alternativas de haladores para buscar la mejor opción de este sistema para optimizar la producción.

<sup>98</sup> Imagen instalación para extrusionar tubos de material termoplástico con husillo de 60mm de diámetro, Libro de Transformación de plástico por V.K. Savgorodny, pág. 98

Características de haladores de rodillos						
Parámetros	HPIII, Fette	RS21,Manesty	DPIIS, Stokes	DDS-2, Stokes	280-47, Colton	APP - 20 - 200
País	Inglaterra windsor	Bélgica	Italiana Bausano	China	Republica federal Alemana	Italiana Mapre
Diámetro de husillo, mm	20	32	45	63	90	20
Relación L:D	25	25	25	20	20	25
Velocidad de giro del husillo r.p.m	12,5-125	11-160	9,0 - 90	7,5-75	11,0-72	12,5 - 125
	18-180	14-140	12-118	10-100		18-180
	26-260	21-212	18-180	15-150		26-260
Resistencia total de cabeza perfiladora mm <sup>3</sup>	0.035	0,075	0,1	0,105	3,05	0.045
Formado por rodillos		ok	ok	ok		
Formado por orugas	ok				ok	ok
Velocidad mínima m/min	0,10	0,12	0,13	0,14	0,18	0,1
Velocidad máxima m/min	30	45	60	70	95	32
Esfuerzo máximo (KN o Kg)	1 o 100	1,5 o 150	2 o 200	3 o 300	4 o 450	1,2 o 120
Adecuado para tubos hasta (pulgadas)	1/2"	1"	3/2"	2"	4"	1"
Motor eléctrico (hp)	1/4hp	1/4 hp	1/2 hp	1hp	2hp	1/4hp
Voltaje (v)	110/220	110/220	220-240	220-240	360/480	110/220
Frecuencia (hz)	60 hz	50hz	60hz	60hz	60hz	50hz
Factor de frecuencia fp	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83
Amperios	0,7/1	0,75/1,2	1,72/2,96	1,72/2,96	2,76/3	0,7/1
Variador de frecuencia	ok	ok	ok	ok	ok	ok

**Tabla 2.4** Ponderación de características de halador.

## **2.1.6 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO<sup>99</sup>**

### **2.1.6.1 Generalidades de sistemas de enfriamiento por cambio de fase con transferencia de masa.**

#### **Descripción de las torres de enfriamiento.**

Las torres de enfriamiento tienen como finalidad enfriar una corriente de agua por vaporización parcial, esta se logra con el consiguiente intercambio de calor sensible y latente entre una corriente de aire seco y frío y una corriente de agua caliente, estas corrientes de aire y agua circulan en contracorriente por la torre de enfriamiento. Al entrar en contacto el aire con el agua se forma una fina película de aire húmedo saturado sobre la lámina de agua que desciende por el relleno. Esto es debido a que la presión parcial de vapor de agua en la película de aire es superior a la del aire húmedo que circula por la torre, produciéndose una evaporación, la masa de agua evaporada extrae el calor latente de vaporización del propio líquido y calor latente es cedido al aire, obteniéndose de esta manera un enfriamiento del agua y un aumento en la temperatura del aire.

Otra manera de explicar el funcionamiento de una torre de enfriamiento es la siguiente: Cuando el líquido a una cierta temperatura  $T_{\text{agua}}$ , entra en contacto con el aire a temperatura  $T_{\text{aire}}$ , donde la temperatura  $T_{\text{aire}}$  es menor que  $T_{\text{agua}}$ , la película del líquido que está en contacto directo con el líquido se evapora. Para que este líquido pueda cambiar de fase, necesita obtener energía de algún lugar disponible; la fuente más cercana es el seno del líquido, por lo tanto, al tomar esta energía del líquido este disminuye su temperatura.

#### **Tipos de torre de enfriamiento.**

---

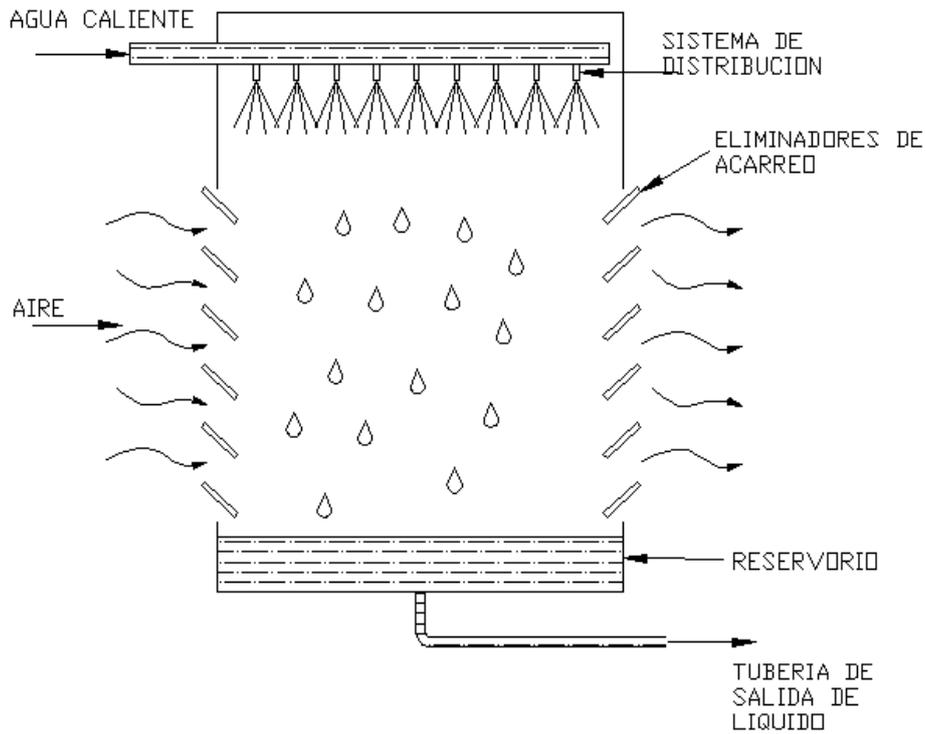
<sup>99</sup> Fuente: GUILLEN, R. Estudio Termotécnico de Torres de Enfriamiento Autoventiladas Tesis de Maestrado. Universidad de Oriente. Cuba. 1995

Las torres de enfriamiento se clasifican según la forma de suministro de aire en relleno; según este criterio, existen torres de circulación natural y torres de tiro mecánico; en las torres de circulación natural el movimiento del aire depende de las condiciones ambientales y de la geometría de la torre de enfriamiento, las torres de tiro mecánico necesitan ventiladores para mover el aire a través del relleno.

**Torres de circulación natural.-** Las torres de circulación natural se clasifican, a su vez, en torres atmosféricas y torres de tiro natural.

**Torres de tiro atmosféricas.-** Utilizan las corrientes de aire de la atmósfera. Dentro de estas torres, el aire se mueve en forma horizontal mientras el agua cae verticalmente. Estas torres se caracterizan por ser torres de gran altura y pequeña sección transversal, su instalación debe realizarse en lugares muy despejados, para evitar la obstrucción del aire y de esta manera pueda disminuir la eficiencia de este tipo de torre.

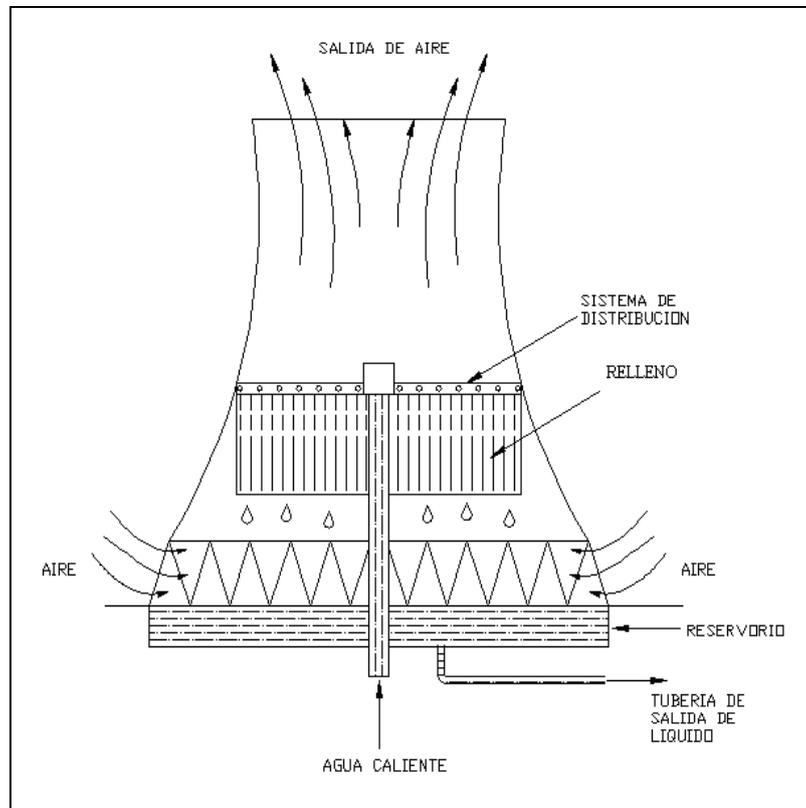
**Torre de tiro natural.-** es aquella en la que el aire es inducido por una gran chimenea situada sobre el relleno. La diferencia de densidades entre el aire húmedo caliente y el aire atmosférico es el principal motivo por el cual se crea un tiro de aire a través de la torre. La diferencia de velocidades entre el viento circulante entre el nivel del suelo y el viento que circula por la parte superior de la chimenea también ayuda a establecer el flujo de aire.



**Figura 2.28** Torre de enfriamiento de tiro atmosférica<sup>100</sup>.

Por estos motivos las torres de tiro natural han de ser altas y, además, deben tener una sección transversal grande para facilitar el movimiento del aire ascendente.

<sup>100</sup> Imagen: Fuente: GUILLEN, R. Estudio Termotécnico de Torres de Enfriamiento Autoventiladas Tesis de Maestrado. Universidad de Oriente. Cuba. 1995



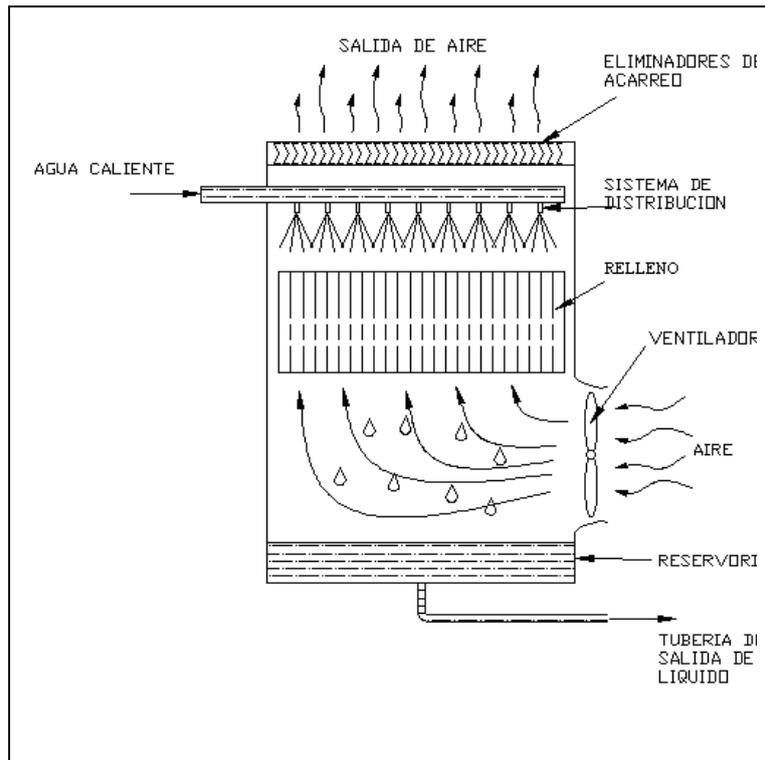
**Figura 2.29** Torre de enfriamiento de tiro natural<sup>101</sup>.

**Torres de tiro mecánico.-** Estas torres proporcionan un control total sobre el caudal de aire suministrado, en estas torres se puede controlar de forma precisa la temperatura de agua de salida. Si el ventilador se encuentra situado en la entrada de aire, el tiro es forzado, cuando el ventilador está ubicado en la zona de descarga del aire, se llama tiro inducido.

**Torres de tiro forzado.-** En estas torres el aire se descarga a baja velocidad por la parte superior de la torre. Estas torres son generalmente de flujo contracorriente, aunque existen pocos diseños en flujo a

<sup>101</sup> Imagen fuente: GUILLEN, R. Estudio Termotécnico de Torres de Enfriamiento Autoventiladas Tesis de Maestrado. Universidad de Oriente. Cuba. 1995

contracorriente. Son más eficientes que las torres de tiro inducido. El aire que se mueve es aire frío de mayor densidad que en el caso de tiro inducido. Esto también significa que el equipo mecánico tendrá una duración mayor en el caso de tiro inducido ya que el ventilador trabaja con aire frío, no saturado y menos corrosivo que el aire caliente y saturado de la salida.

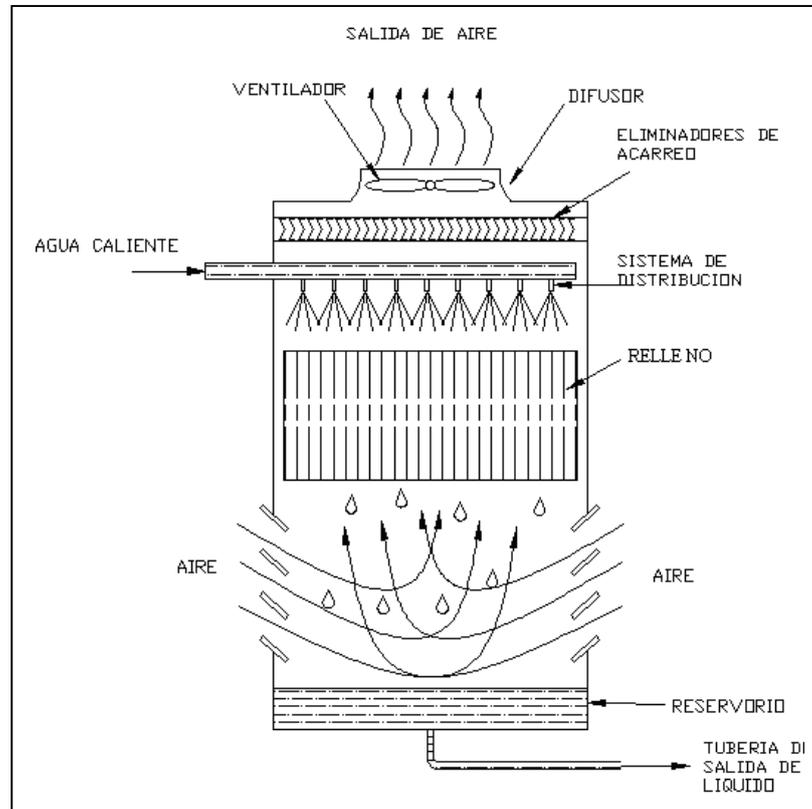


**Figura 2.30** Torre de enfriamiento de tiro forzado con flujo contracorriente<sup>102</sup>.

**Torres de tiro inducido.-** Estas torres pueden ser de flujo a contracorriente o flujo cruzado. El flujo a contracorriente significa que el aire se mueve verticalmente a través del relleno, de manera que los flujos de agua y de aire tiene la misma dirección pero en sentido opuesto. En estas torres el aire puede entrar en una o más paredes de la torre, con lo cual se consigue reducir en gran medida la altura de la entrada de aire. Además,

<sup>102</sup> Imagen fuente: GUILLEN, R. Estudio Termotécnico de Torres de Enfriamiento Autoventiladas Tesis de Maestrado. Universidad de Oriente. Cuba. 1995

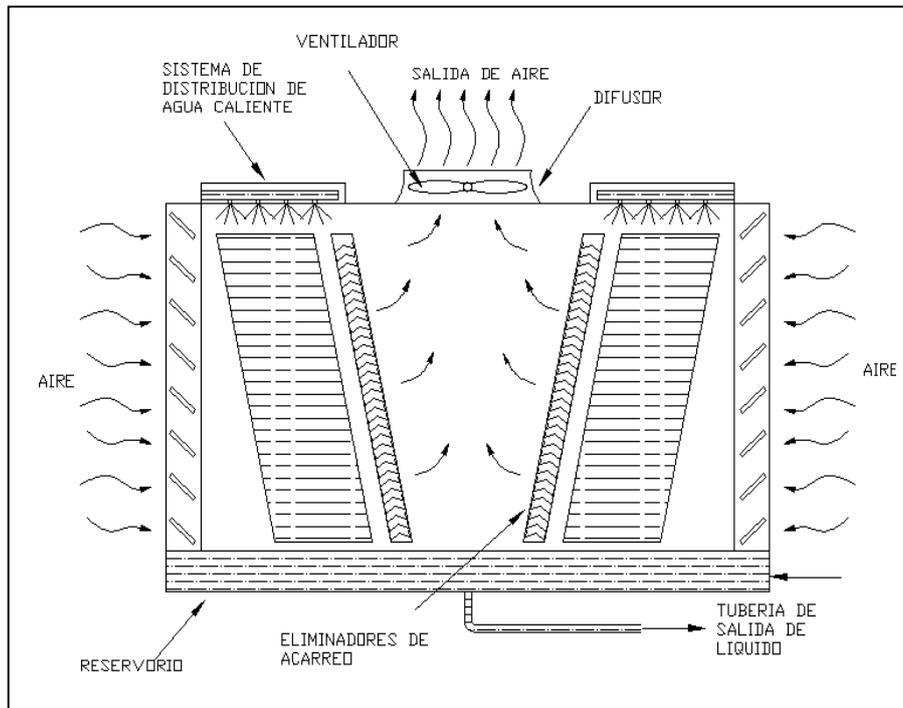
la elevada velocidad con la que entra el aire hace que exista riesgo de arrastre de suciedad y cuerpos extraños dentro de la torre.



**Figura 2.31** Torre de enfriamiento inducida de con flujo contracorriente<sup>103</sup>.

En las torres de tiro cruzado, el aire circula en dirección perpendicular respecto al agua que desciende. Estas torres tiene una altura menor que las torres de flujo a contracorriente, ya que la altura total de la torre es prácticamente la altura del relleno, la desventaja de estas torres es que no son recomendables para aquellos casos en los que se requiera gran salto térmico, puesto que eso significara más superficie transversal y más potencia de ventilación.

<sup>103</sup> Imagen torre de enfriamiento inducida fuente: GUILLEN, R. Estudio Termotécnico de Torres de Enfriamiento Autoventiladas Tesis de Maestrado. Universidad de Oriente. Cuba. 1995

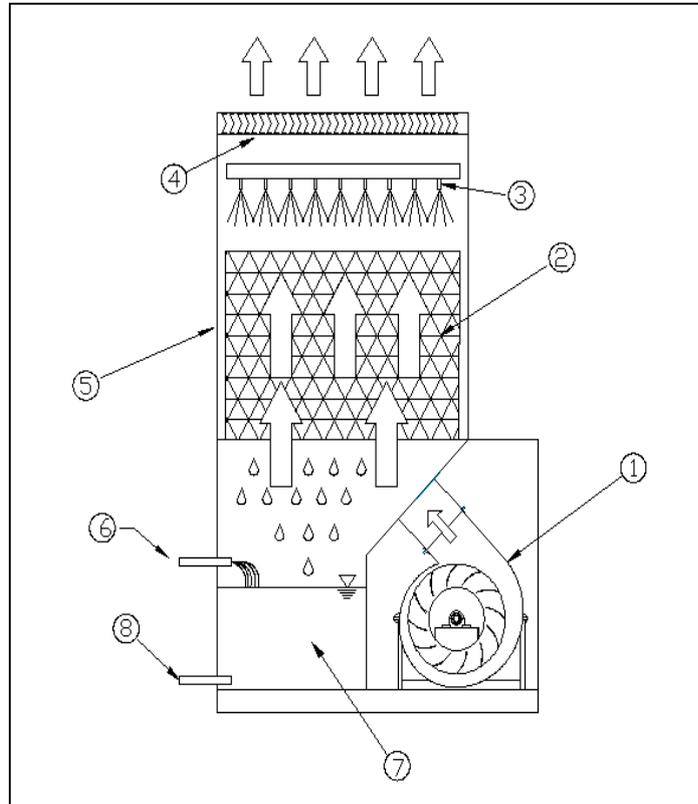


**Figura 2.32** Torre de enfriamiento inducida de tiro cruzado<sup>104</sup>.

### 2.1.6.1 Partes de una torre de enfriamiento.

La ha escogido un tipo de torre de enfriamiento de tiro natural ya que es fácil de construir y de bajo presupuesto pero si satisface el enfriamiento requerido, la torre consta de las siguientes partes el ventilador se a eliminado ya que la torre de enfriamiento se encuentra en la intemperie y es enfriado por el viento:

<sup>104</sup> Imagen torre de enfriamiento cruzado, fuente: GUILLEN, R. Estudio Termotécnico de Torres de Enfriamiento Autoventiladas Tesis de Maestrado. Universidad de Oriente. Cuba. 1995



**Figura 2.33** Partes de una torre de enfriamiento<sup>105</sup>.

1 Ventilador: es un elemento mecánico que dirige el aire al interior del relleno, este elemento puede ser de tipo centrífugo o axial la aplicación dependerá del diseño y del tipo de torre de enfriamiento.

2 Relleno: es una estructura que se encuentra en el interior de la torre y puede ser metálica, plástica o de madera, su función es que el agua que cruza en su interior se pueda dividir en gotas más pequeñas y también que las gotas permanezca la mayor cantidad del tiempo dentro

<sup>105</sup> Imagen partes de una torre de enfriamiento, fuente: GUILLEN, R. Estudio Termotécnico de Torres de Enfriamiento Autoventiladas Tesis de Maestrado. Universidad de Oriente. Cuba. 1995

del cuerpo de la torre a fin de garantizar una óptima transferencia de calor. De igual manera ayuda a que el flujo de aire se distribuya uniformemente en el interior del cuerpo.

3            Sistema de distribución y aspersores: Se encuentran en la parte superior de la torre y permiten que el agua caliente ingrese a la torre en forma de gotas para aumentar su superficie de contacto.

4            Eliminadores de acarreo: Los eliminadores de acarreo o cortadotas son unas estructuras ubicadas en la parte superior de la torre y tienen la finalidad que las gotas pequeñas no sean arrastradas por la corriente de aire fuera del sistema.

5            Cuerpo: esta parte es la estructura que le da forma a la torre, los materiales con las que puede estar construida pueden ser de metal, hormigón, madera, fibra de vidrio o de una combinación de ellos.

6            Tubería de restitución de líquido: Conforme se produce la evaporación del agua es necesario ir restituyéndola, para este propósito existe una tubería a presión que mantiene el nivel del reservorio constante.

7            Reservorio: Se encuentra en el fondo de la torre y es un tanque en el que se recoge el agua enfriada para que regrese nuevamente al sistema (carga térmica).

8            Tubería de salida de líquido: Esta tubería se encuentra en el nivel inferior del reservorio y su finalidad es extraer el agua que se ha logrado enfriar y enviarla a la carga térmica.

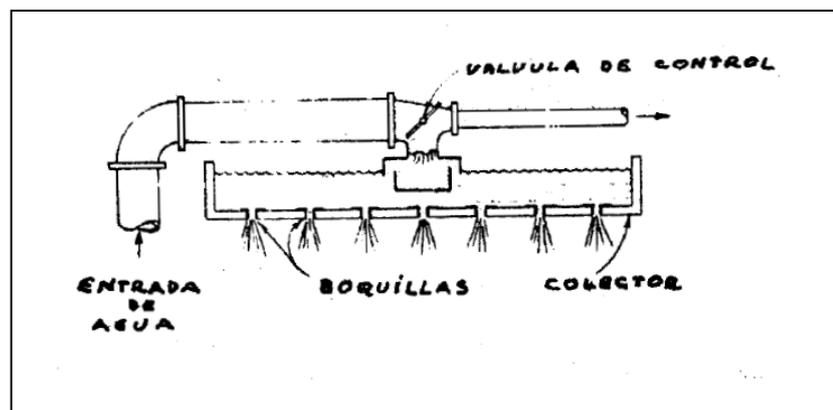
### 2.1.7 DISTRIBUIDOR DE AGUA DE ENTRADA A LA TORRE.

El agua de entrada a la torre puede ser distribuida por dos formas

1. Por flujo gravitatorio
2. Por Presión

#### 2.1.7.1 Distribuidores por flujo gravitatorio.

Para la distribución del agua por gravedad, comúnmente se emplea un recipiente o colector ubicado en la parte superior de la unidad, completamente abierto al ambiente para facilitar la inspección, limpieza y mantenimiento. Aquí, el agua es bombeada hasta el colector, de donde fluye por gravedad a través de boquillas removibles (aspersores) que pueden ser de plástico o porcelana. Como la salida a través de las boquillas es en forma de chorros, se colocan platos de salpicadura en la parte inferior de los respectivos chorros, para descomponerlos en gotas que caerán posteriormente sobre la empaquetadura o relleno de la torre.



**Figura 2.34** Distribuidor de agua por gravedad<sup>106</sup>.

<sup>106</sup> Imagen distribuidor de agua, fuente: GUILLEN, R. Estudio Termotécnico de Torres de Enfriamiento Autoventiladas Tesis de Maestrado. Universidad de Oriente. Cuba. 1995

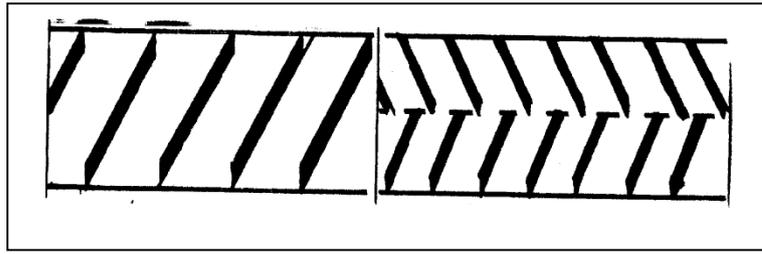
### **2.1.7.2 Distribución de agua por presión**

Cuando se emplea este método, el agua se introduce a presión a través de boquillas que atomizan el agua en vez de formar gotas como en el caso anterior. En esta forma el líquido ofrece mayor área de contacto efectivo al aire que circula, presentándose la desventaja de que si no se hace una selección adecuada de boquilla, las gotas atomizadas pueden ser arrastradas por el flujo de aire sin poder ser atrapadas por los separadores de gotas.

### **2.1.7.3 Separadores de gotas**

Son desviadores colocados adecuadamente en la parte superior de la zona empaquetada para minimizar las pérdidas de pequeñas cantidades de agua no evaporada, arrastradas en forma de pequeñas gotas por el aire que circula a través del equipo de enfriamiento.

Básicamente, los separadores de gotas forman a la corriente de aire que sale, a efectuar cambios bruscos de dirección, La fuerza centrífuga resultante, separa las gotas de agua del aire y las retiene en los separadoras, en donde se forma una fina película de agua que fluye al interior del sistema, **figura 2.35** Estos separadores de gotas deben ofrecer mínima resistencia al flujo de aire, mientras retienen máxima humedad al aire que sale, Los materiales utilizados para su construcción varían desde maderas tratadas hasta materiales de hierro galvanizado, aluminio. Fibra de vidrio, etc.



**Figura 2.35** Separadores de gotas<sup>107</sup>.

#### **2.1.7.4 Lumbreras de admisión de aire**

Las lumbreras de admisión de aire es el espacio entre separadores de gotas estas son diseñadas para distribución adecuada del aire que entra. Cuando el aire circula a baja velocidad con mínima caída de presión, en esta torre la distribución es adecuada sin presentarse fenómenos de acanalamiento, en virtud de lo cual, se aumenta la eficiencia de enfriamiento cuando el clima se encuentra frío.

#### **2.1.7.5 Tipos de rellenos.**

El relleno es la parte más importante en el proceso de intercambio de calor. Los rellenos son modelados por una ecuación característica que depende su forma y su disposición geométrica. Conociendo esta ecuación característica, podrá dimensionarse la torre. Por lo tanto el tamaño o volumen de la torre y su costo dependerán del tipo de relleno utilizado.

El relleno cumple dos funciones: proporcionar una superficie de intercambio de calor lo más grande posible entre el agua y el aire, y además, retardar el tiempo de caída del agua, asegurando una mayor duración del proceso de intercambio de calor, los mismos que se

---

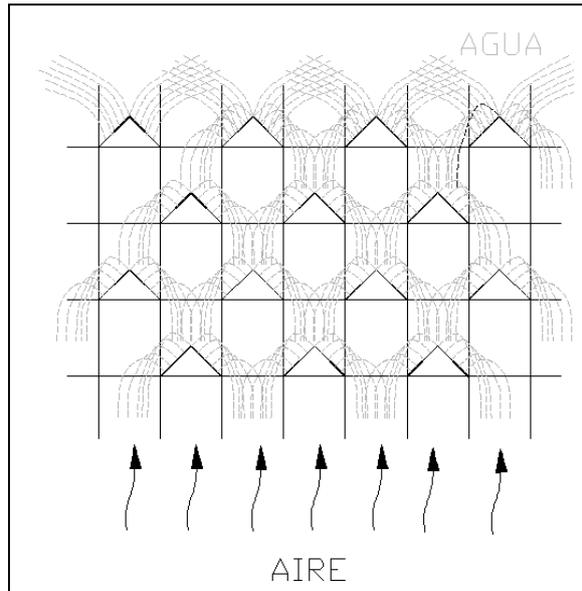
<sup>107</sup> Imagen separador de gotas fuente: GUILLEN, R. Estudio Termotécnico de Torres de Enfriamiento Autoventiladas Tesis de Maestrado. Universidad de Oriente. Cuba. 1995

traducirán en un aumento de calor cedido del agua al aire. El relleno debe ser de un material de bajo costo y de fácil instalación, la relación entre la superficie del relleno y volumen de relleno debe ser lo más grande posible, es importante que el relleno que se seleccione presente poca resistencia al paso del aire y que además proporcione una distribución uniforme del agua y del aire, Los rellenos se los puede clasificar de tres maneras:

- Relleno por salpicadura o goteo.
- Rellenos laminares o de película.
- Rellenos mixtos.

**Relleno por salpicaduras o goteo.-** En rellenos por salpicadura, el agua cae sobre una serie de pisos superpuestos de listones o rejillas. Al chocar con los listones el agua se va fraccionando en gotas cada vez más pequeñas. El aire, mientras tanto, se mueve en sentido vertical (flujo a contracorriente) o en sentido horizontal (flujo cruzado).

La finalidad del relleno por goteo es fraccionar el agua en pequeñas gotas, cuya superficie constituirá el área de intercambio de calor. Al salir del sistema de distribución el agua caliente cae sobre una serie de pisos sobrepuestos de rejillas o listones. El agua se fracciona en gotas cada vez más pequeñas, rompiéndose, además, las de mayor diámetro, que se habían formado por la unión de otras pequeñas gotas.



**Figura 2.36** Relleno por salpicadura o goteo<sup>108</sup>.

Parte del agua que golpea la zona superior del larguero salpica y se fracciona en gotitas, pero una gran parte del agua resbala por los lados, y, al llegar a la parte inferior del larguero, se rompe en flujo turbulento, con lo que se vuelven a formar nuevas gotas, este proceso se repetirá en todos los largueros que forman el relleno, Las ventajas de estos rellenos son los siguientes:

1. Provocan menor pérdida de carga (caída de presión) que los rellenos de película.
2. No se obstruyen debido a la suciedad y a las incrustaciones, esto implica un mínimo mantenimiento.
3. Son rellenos más adecuados para conseguir mayores saltos térmicos que los rellenos de película.

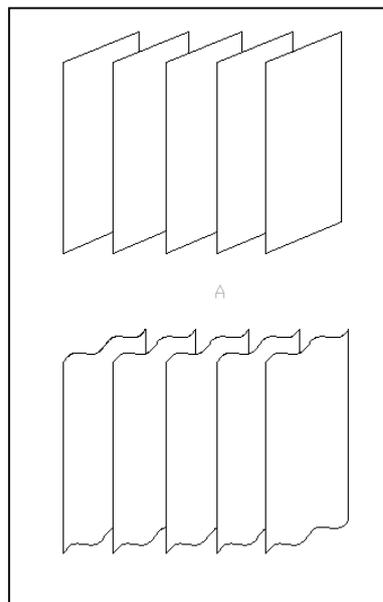
Las principales desventajas son las siguientes:

1. En este tipo de rellenos, el arrastre de agua es muy significativo, por lo que debe reducirse considerablemente utilizando eliminadores de acarreo de alto rendimiento.

<sup>108</sup> Imagen relleno por salpicadura o goteo, fuente: GUILLEN, R. Estudio Termotécnico de Torres de Enfriamiento Autoventiladas Tesis de Maestrado. Universidad de Oriente. Cuba. 1995

2. La superficie de intercambio por unidad de volumen en estos rellenos es menor que los rellenos de película, por lo tanto, la altura de relleno será mayor si se utiliza un relleno de goteo que uno de película, manteniendo la misma área transversal.

**Relleno laminares o de película.-** Este tipo de relleno distribuye el agua en una fina película que fluye por una superficie proporcionando la exposición de la película de agua a la corriente de aire, la película de agua debe ser muy delgada y debe cubrir la máxima superficie de relleno posible, para que así la evaporación sea mayor. La lámina de agua descende adherida a la superficie del relleno. La tensión superficial del líquido impide que la corriente de aire desprenda la película de agua del relleno. Si esto ocurriera, el rendimiento de la torre disminuiría bruscamente, ya que una porción de superficie de relleno dejaría de estar mojada. Los rellenos de película tienen más superficie por unidad de volumen (mayor compacidad) que los rellenos de salpicadura, y, en los rellenos por película es fácilmente calculable, mientras en los rellenos de salpicadura es muy difícil determinarlo de forma precisa.



**Figura 2.37** Relleno laminar o de película<sup>109</sup>.

---

<sup>109</sup> Imagen relleno laminar o de película, fuente: GUILLEN, R. Estudio Termotécnico de Torres de Enfriamiento Autoventiladas Tesis de Maestrado. Universidad de Oriente. Cuba. 1995

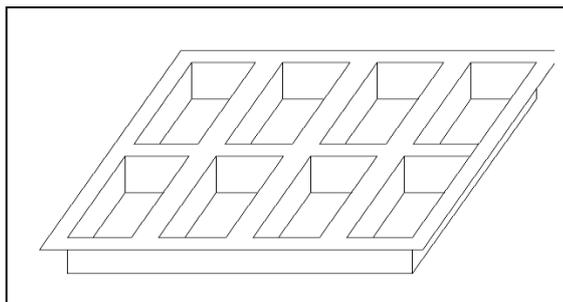
Las ventajas de estos rellenos son los siguientes:

- La compacidad en los rellenos por película es mayor que en los rellenos por goteo, por lo tanto para las mismas condiciones de diseño una torre con relleno de película tendrá menor volumen que una torre con relleno por goteo y, por lo tanto será más económica.
- Debido a la inexistencia de gotas en los rellenos por película, la velocidad del aire puede ser muy elevada, disminuyendo de esta manera la altura del relleno.

Las principales desventajas son las siguientes:

- El relleno por película acumula residuos y suciedad entre las láminas que lo constituyen, de esta manera, se necesitara con mayor frecuencia un mantenimiento preventivo para que la eficiencia de la torre de enfriamiento no disminuya drásticamente.
- Este tipo de relleno es muy sensible a las variaciones de caudal de agua y de aire, y a la distribución de la película de agua, por lo que la torre deberá diseñarse garantizando una correcta distribución del agua y del aire para todo el relleno.

**Rellenos mixtos.-** Los rellenos mixtos son aquellos que se basan en la pulverización y en la formación de película. De hecho, son, básicamente, rellenos de salpicaduras formados por listones, la superficie lateral de los cuales es más ancha que en el caso de rellenos de goteo, de esta forma, se contribuye a la formación de una película de agua en los lados de los listones, aumentando el efecto causado por la salpicadura.



**Figura 2.38** Relleno mixto<sup>110</sup>.

Este tipo de relleno está formado por varios tipos de rejillas. Los listones que constituyen las rejillas son de sección en T, y dejan unos huecos de forma rectangular por lo que circula el aire en contacto con la película agua descendente, es decir, el agua se fracciona en gotitas al impactar sobre la rejilla y, al mismo tiempo, se forma una película de agua que desciende por la superficie lateral por los distintos huecos que forma la rejilla, potenciando el efecto de salpicadura con la formación de película.

#### **2.1.7.6 Relleno dentro de las bandejas de la torre de enfriamiento**

Se escogió un relleno los más económico posible que pueda satisfacer por el presupuesto insuficiente pero que cumpla las necesidad, que no se desperdicie el agua al momento de la salpicadura por ende lo más óptimo es colocar cubetas de huevos plásticas entrelazadas pegadas una sobre y que se pueda cubrir toda el área necesaria dentro de cada una de las bandejas en la torre de enfriamiento.

---

<sup>110</sup> Imagen relleno mixto, fuente: GUILLEN, R. Estudio Termotécnico de Torres de Enfriamiento Autoventiladas Tesis de Maestrado. Universidad de Oriente. Cuba. 1995

## **2.2 DIMENSIONAMIENTO DE LOS DIFERENTES SISTEMAS QUE CONFORMAN EL SISTEMA DE MOLDEO LINEA SELECCIONADO.**

### **2.2.1 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE MOLEO**

El moldeado se inicia con la colocación del molde en la máquina y termina cuando se han conectado todos los sistemas de funcionamiento del molde. La diferencia radica que antes del análisis en ocasiones el montaje se iniciaba con la colocación de los suples en la máquina. Luego del análisis se ha definido una lista de moldes con sus respectivas prioridades de máquina, de manera que esta operación fue eliminada. La prioridad se la estableció en función del mejor encaje molde-maquina cuando esta trabaja con el molde, este último fue establecido considerándola eficiencia de la máquina.

El montaje se inicia con la colocación del molde en la máquina. El molde deberá estar colocado a un extremo de la maquina con sus respectivos componentes.

<b>Molde</b>	
<b>Características</b>	<b>Parámetros</b>
Ref. molde	23.99
Descripción	molde macho
Maquina china	VD 1000-B
Para rev.	95
Zona de Salida de Extrusión	A
Cavidades	1
Opción	4
Descripción	molde hembra
Maquina plasgo	R100B
Para Rev.	30-95
Zona de Salida de Extrusión	B
Cavidades	1

Opción	3
Modificaciones	4
Moldes plasto (pulg)	1/2" hasta 2"

**Tabla 2.5** Selección del sistema de moldeo.

### 2.2.2 DIMENSIONAMIENTO DE LA TINA DE ENFRIAMIENTO.

Para dimensionamiento de la tina de enfriamiento se debe tomar en cuenta los parámetros de producción para poder cumplir las exigencias de producción por el cual se ha desarrollado un sistema en forma de camisa para poder obtener un enfriamiento eficaz utilizando un control de nivel para llenado de agua para su enfriamiento por el cual sea a tomado las siguientes características para la construcción de la tina enfriamiento.

<b>TINA DE ENFRIAMIENTO</b>		
	<b>Características</b>	<b>Parámetros</b>
<b>Estructura</b>	Diámetro (mm)	1500 - 2000
	Boquillas de entrada manguera (in)	1/2" - 2"
	Boquillas de salida manguera (in)	1/2" - 2"
	Temperatura promedio de estándar °C	5°, 11°, 35°
	Riel de desplazamiento horizontal (mm)	300mm
	Desplazamiento de calibración (mm)	150 mm
<b>Control de nivel</b>	Voltaje (v)	220/240
	Código	B,F,M
	Sondas para detección de nivel de líquidos	LA9-RM201
<b>Re alimentación</b>	Bomba (hp)	1hp
	Velocidad (rpm)	1400 rpm
	Corriente (A)	1.2 A
	Reservorio de agua (lt)	500 lt

**Tabla 2.6** Dimensiones de tina de enfriamiento.

### 2.2.3 SELECCIÓN DEL HALADOR DE LA TUBERIA.

Para la selección hay que cumplir los siguientes parámetros por medio de tablas mediante el cual se toma en cuenta la producción que entrega la máquina. Para el estirado de tubo se empleó un sistema de dispositivos de rodillos de sujeción mecánica estos dispositivos de rodillos cubierta de goma porosa con un variador que permite cambiar las velocidades para distintos espesores.

Características de haladores de rodillos	
Parámetros	DDS-2, Stokes
País	China
Diámetro de husillo, mm	63
Relación L:D	20
Velocidad de giro del husillo r.p.m	7,5-75
	10-100
	15-150
Resistencia total de cabeza perfiladora mm <sup>3</sup>	0,105
Formado por rodillos	ok
Formado por orugas	
Velocidad mínima m/min	0,14
Velocidad máxima m/min	70
Esfuerzo máximo (KN o Kg)	3 o 300
Adecuado para tubos hasta (pulgadas)	2"
Motor eléctrico (hp)	1hp
Voltaje (v)	220-240
Frecuencia (hz)	60hz
Factor de potencia fp	0.83
Amperios	1,72/2,96
Variador de frecuencia	ok

**Tabla2.7** Selección de halador de tubería.

## 2.2.4 DIMENSIONAMIENTO DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO

La ecuación característica del relleno es indispensable para poder dimensionar correctamente una torre de enfriamiento, el punto de intersección entre la curva característica de la torre y la característica del relleno indica la relación de caudales correcta para el diseño.

### 2.2.4.1 Ecuación característica para rellenos de salpicadura.

Los investigadores Kelly y Swenson analizaron distintos tipos de disposiciones de relleno de salpicadura, y adaptaron una misma expresión de la **ecuación (2.29)** característica para todos ellos, la expresión es la siguiente:

$$K_x a \frac{V}{\dot{m}_{agua/area}} = 0.07 + SN \left( \frac{\dot{m}_{agua/area}}{\dot{m}_{aire/area}} \right)^{-n} \quad (2.29)$$

Dónde:

$S, n$  = constantes que dependen del tipo de relleno y del espaciado vertical de éste.

$N$  = número de pisos de largueros o rejillas utilizados.

$\dot{m}_{agua/area}$  = Flujo másico de agua por unidad de área, (Kg/sm<sup>2</sup>).

$\dot{m}_{aire/area}$  = Flujo másico de aire por unidad de área, (Kg/sm<sup>2</sup>).

$K_x$  = tasa de transferencia de masa en torres de enfriamiento.

$a$  = superficie de contacto del agua con el relleno.

$V$  = volumen del relleno.

$m_{agua/area}$ ,  $m_{aire/area}$ : Flujos considerados en la sección transversal que ocupa el relleno.

Esta ecuación engloba la característica del relleno y las características de las porciones de torre que hay por encima (distribución de agua), y por debajo del relleno (entre la entrada de aire y la parte inferior de relleno), es decir la **ecuación (2.29)** puede expresarse de la siguiente manera.

$$\left( Kxa \frac{V}{m_{agua/area}} \right)_{TOTAL} = \left( Kxa \frac{V}{m_{agua/area}} \right)_{PORCION SUPERIOR + INFERIOR} + \left( Kxa \frac{V}{m_{agua/area}} \right)_{RELLENO} \quad (2.30)$$

Dónde:

$$\left( Kxa \frac{V}{m_{agua/area}} \right)_{PORCION SUPERIOR + INFERIOR} \cong 0.07 \quad (2.31)$$

Los investigadores encontraron que el valor  $\left( Kxa \frac{V}{m_{agua/area}} \right)$  para las porciones de torre superior e inferior al relleno era aproximadamente un valor de 0,07.

Este valor depende del sistema de distribución de agua de la zona de entrada del aire, pero podría utilizarse para cualquier torre en caso de no poder determinarlo.

#### 2.2.4.2 Ecuación característica para rellenos de película.

Los investigadores Lowe y Christie también ensayaron distintas disposiciones de rellenos de película y les adaptaron la siguiente expresión.

$$\frac{K_x a}{\dot{m}_{agua/area}} = \lambda \left( \frac{\dot{m}_{agua/area}}{\dot{m}_{aire/area}} \right)^{-u} \quad (2.32)$$

Donde  $\lambda, u$  son dos factores relacionados con el relleno utilizado, dependen del tipo de sección que tengan, estas secciones podrían ser rectangulares o triangulares.

Los rellenos de película constituidos por acumulación de sólidos no se utilizan en torres de enfriamiento. No obstante, es conveniente el tipo de ecuación característica que los define, ya que podría adaptarse a cualquier otro tipo de relleno. Una forma usual de enunciar la ecuación característica para el relleno de película es la siguiente.

$$K_x a = m \cdot \dot{m}_{agua/area}^a \cdot \dot{m}_{aire/area}^b \quad (2.33)$$

Donde

$m, a, b$  = constantes que dependen del tipo y disposición del relleno.

$\dot{m}_{agua/area}$  = Flujo másico de agua por unidad de área. (Kg/sm<sup>2</sup>).

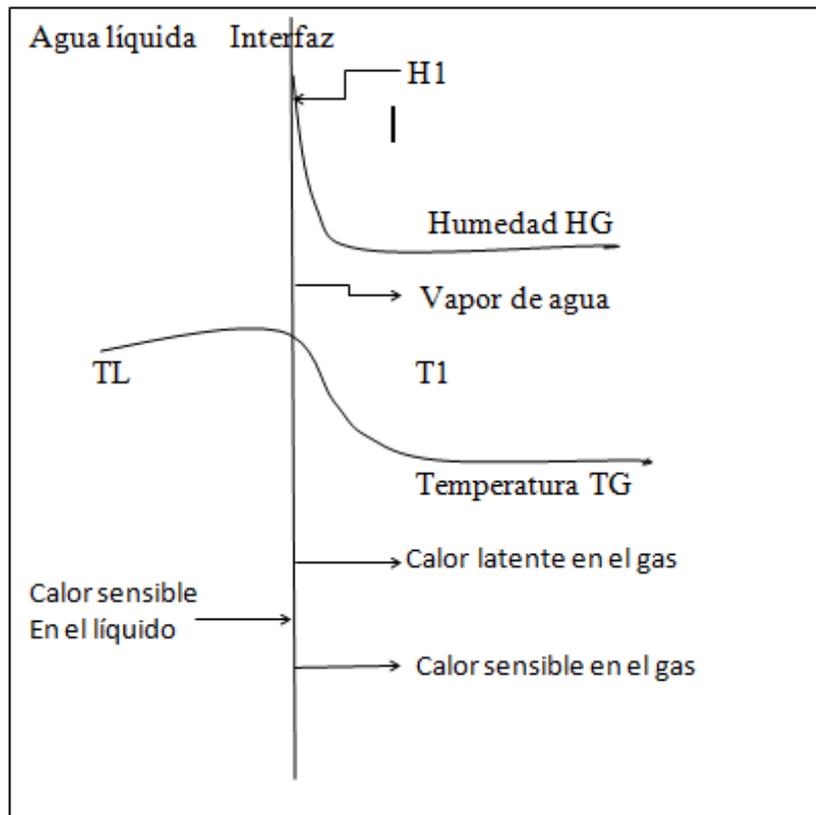
$\dot{m}_{aire/area}$  = Flujo másico de aire por unidad de área. (Kg/sm<sup>2</sup>).

$K_x$  = Tasa de transferencia de masa en torres de enfriamiento.

$a$  = superficie de contacto del agua con el relleno.

#### 2.2.4.3 Teoría para el cálculo de las torres de enfriamiento con agua.

Es un diagrama de perfiles de temperatura y concentración en términos de la humedad en la interfaz agua-gas. El vapor de agua se difunde de la interfaz hacia la fase gaseosa masiva con una fuerza impulsora en la fase gaseosa ( $H_i - H_G$ ) kg de  $H_2O$ /kg de aire seco. No hay fuerza impulsora para la transferencia de masa en la fase líquida, puesto que el agua es un líquido puro. La fuerza impulsora de la temperatura es  $T_L - T_i$  en la fase líquida y  $T_i - T_G$  °K o °C, en la fase gaseosa. Hay flujo de calor del líquido masivo a la interfaz en el líquido. También hay flujo de calor sensible desde la interfaz a la fase gaseosa. Además, de la interfaz del vapor de agua sale calor latente que se difunde a la fase gaseosa. El flujo de calor sensible del líquido a la interfaz es igual al flujo de calor sensible en el gas más el flujo de calor latente en el gas.



**Figura 2.38** Perfiles de temperatura y concentración en la parte superior de la torre de enfriamiento.

Las condiciones de la **(figura 2.38)**, se presentan en la parte superior de la columna de enfriamiento. En la parte inferior de dicha columna, la temperatura de la masa de agua es mayor que la del bulbo húmedo del aire, pero puede ser inferior a la temperatura del bulbo seco. Entonces, la dirección del flujo de calor sensible de la **(figura 2.38)**, se invierte.

Ecuación de velocidad para transferencia de calor y de masa. Se considerara una torre empacada para enfriamiento de agua con aire que fluye hacia arriba y agua a contracorriente hacia bajo, en la torre. El área interfacial total entre las fases aire y agua se desconoce puesto que el área superficial del empaque no es igual al área interfacial entre las gotas de agua y el aire. Por consiguiente, se define una cantidad  $a$ , que es  $m^2/m^3$ . Esto se combina con el coeficiente de transferencia de masa de la fase gaseosa  $K_G$  en  $Kg \text{ mol/s } 'm^2 ' Pa$  o  $kg \text{ mol/s } 'm^2. \text{ Atm}$ , para obtener un coeficiente volumétrico  $K_G a$  en  $kg \text{ mol/s} \cdot m^3 \text{ atm}$  ( $lb \text{ mol/h } 'pie^3 ' atm$ ).

El proceso se lleva a cabo adiabáticamente y las diversas corrientes y condiciones que se muestran en la **(figura 2.39)** son<sup>111</sup>:

$L$  = flujo de agua,  $Kg$  de agua/ $s \cdot m^2$  ( $Lbm/h. pie^2$ ).

$T_L$  = temperatura del agua.  $^{\circ}C$  o  $K$  ( $^{\circ}F$ ).

$G$  = flujo de aire seco.  $Kg/s. m^2$  ( $lbm/h. pie$ ).

$T_G$  = temperatura del aire,  $^{\circ}C$  o  $K$  ( $^{\circ}F$ ).

$H$  = Humedad del aire,  $Kg$  de agua/ $kg$  de aire seco ( $lb$  de agua/ $lb$  de aire seco).

$H_y$  = entalpia de la mezcla de aire – vapor de agua,  $J/kg$  de aire seco ( $btu/lbm$  de aire seco).

$$H_y = C_s (T - T_0) + H_{\lambda 0} \quad (2.34)$$

La entalpia  $H_y$ , tal como se expresa en la **ecuación (2.29)** es:

$$H_y = C_s (T - T_0) + H_{\lambda 0} = (1.005 + 1.88H)10^3(T - 0) + 2.501 \times 10^6 H$$

---

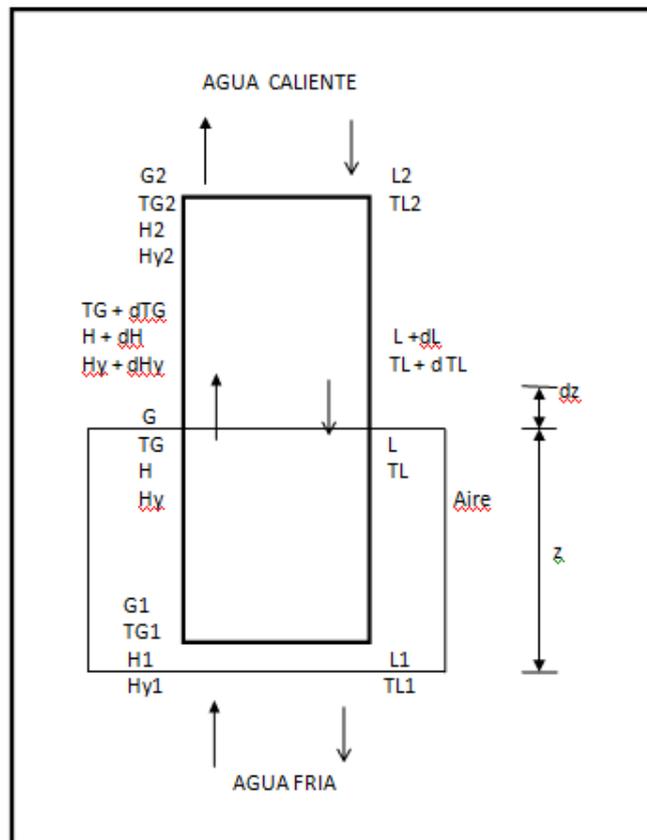
<sup>111</sup> fuente: GUILLEN, R. Estudio Termotécnico de Torres de Enfriamiento Autoventiladas Tesis de Maestrado. Universidad de Oriente. Cuba. 1995

$$H_y = C_s (T - T_0) + H_{\lambda 0} = (0.24 + 0.45 H)(T - 32) + 1075.4$$

La entalpia  $H_y$  tal como se expresa en la ecuación:

$$H_y = C_s (T - T_0) + H_{\lambda 0} = (1.005 + 1.88 H) 10^3 (T - 0) + 2.501 \times 10^6 H$$

$H_y = C_s (T - T_0) + H_{\lambda 0} = (0.24 + 0.45 H) 10^3 (T - 32) + 1075.4 H$  (Unidades del sistema ingles).



**Figura 2.39** Diversas corrientes adiabáticas<sup>112</sup>.

Enfriador de agua adiabático que opera en régimen continuo:

La temperatura básica seleccionada es 0 °C O 273 K (32 °F). Nótese que  $(T - T_0) °C = (T - T_0) K$ . Si se efectúa un balance total de calor para la sección marcada con líneas punteadas en la figura se obtiene una línea de operación.

$$G (H_y - H_{y1}) = LCL (TL - TL1) \quad (2.35)$$

<sup>112</sup> Imagen diversas corrientes adiabáticas, fuente: GUILLEN, R. Estudio Termotécnico de Torres de Enfriamiento Autoventiladas Tesis de Maestrado. Universidad de Oriente. Cuba. 1995

Se supone que L es esencialmente constante puesto que solo se evapora una cantidad pequeña. La capacidad calorífica CL de líquido se supone constante e igual a  $4.187 \times 10^3 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$  ( $1.00 \text{ btu/lbm} \cdot \text{°F}$ ). Cuando esta **ecuación (2.35)**, se grafica con Hy en función de TL, se obtienen una recta con pendiente de LCL/G. Llevando a cabo un balance general de calor en ambos extremos de la torre.

$$G (Hy_2 - Hy_1) = LCL (TL_2 - TL_1) \quad (2.36)$$

Al efectuar nuevamente un balance de calor para la altura dz de la columna y depreciarlos términos de calor sensible en comparación con el calor latente.

$$LCL dTL = G dHy \quad (2.37)$$

La transferencia de calor sensible del volumen del líquido a la interfaz es **(figura 2.38)**.

$$LCL dTL = G dHy = hLa dz (TL - Ti) \quad (2.38)$$

Donde hLa es el coeficiente volumétrico de transferencia de calor de la fase líquida en  $\text{W/m}^3 \cdot \text{K}$  ( $\text{btu/h} \cdot \text{pie}^3 \cdot \text{°F}$ ) y Tf es la temperatura en la interfaz.

Para una transferencia adiabática de masa, la velocidad de transferencia de calor debida al calor latente en el vapor de agua que se está transfiriendo, se puede obtener de la **ecuación (2.37)**, si se reordena y se usa una base volumétrica.

$$\frac{q\lambda}{A} = MB KGa P \lambda_0 (Hi - HG) dz \quad (2.39)$$

Donde  $q\lambda / A$  esta en  $\text{W/m}^2$  ( $\text{btu/h} \cdot \text{pie}^2$ ), MB = peso molecular del aire, KGa es un coeficiente volumétrico de transferencia de masa en el gas en  $\text{Kg mol/s} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{Pa}$ , P = presión atmosférica en Pa,  $\lambda_0$  es el calor latente del agua en  $\text{J/kg}$  de agua, Hi es la humedad del gas en la interfaz en kg de agua / kg de aire seco, y HG es la humedad del gas en la fase gaseosa

masiva en kg de agua/kg de aire seco. La velocidad de transferencia de calor sensible en el gas es:

$$\frac{q_s}{A} = h_{Ga} (T_i - T_G) dz \quad (2.40)$$

Donde  $q_s/A$  se da en  $W/m^2$  y  $h_{Ga}$  es un coeficiente volumétrico de transferencia de calor en el gas en  $W/m^3 \cdot K$ .

Ahora con base en la **figura (2.38)**, la **ecuación (2.38)** debe ser igual a la suma de las **ecuaciones (2.39)** y **(2.40)**.

$$G dH_y = MB K G a P \lambda_0 (H_i - H_G) dz + h_{Ga} (T_i - T_G) dz \quad (2.41)$$

La ecuación (4.14) indica que:

$$\frac{h_{Ga}}{MBPK_{Ga}} \equiv CS \quad (2.42)$$

Sustituyendo  $K_{ya}$  por  $PK_{Ga}$ ,

$$\frac{h_{Ga}}{MBPK_{Ga}} \equiv CS \quad (2.43)$$

Sustituyendo la **ecuación (2.40)** en la **(2.41)** y reordenando.

$$G dH_y = MB K G a P dz [(c_s T_i + H_i \lambda_0) - (c_s T_G - H_G \lambda_0)] \quad (2.44)$$

Sumando y restando  $c_s T_0$  en los corchetes.

$$G dH_y = MB K G a P dz \{c_s (T_i - T_0) + H_i \lambda_0 - [c_s (T_G - T_0) + H_G \lambda_0]\} \quad (2.45)$$

Los términos dentro de las llaves son  $(H_{yi} - H_y)$  y la **ecuación (2.45)** se transforma en:

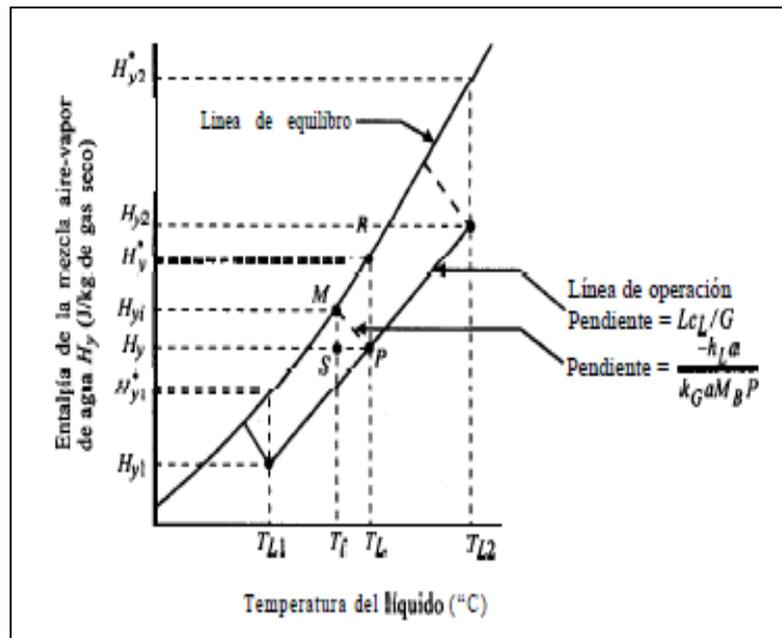
$$G dH_y = MB K G a P dz (H_{yi} - H_y) \quad (2.46)$$

Al integrar, la ecuación final válida para calcular la altura de la torre es:

$$\int_0^z dz = z = \frac{G}{MB KG aP} \int_{Hy1}^{Hy2} \frac{dHy}{Hyi - Hy} \quad (2.47)$$

Al igualar la **ecuación (2.38)** con la **(2.46)**, y al reordenar al resultado,

$$\frac{hLa}{MB KG aP} = \frac{Hyi - Hy}{Ti - TL} \quad (2.48)$$



**Figura 2.40** Diagrama entalpía – temperatura y tarea de operación para una torre de enfriamiento con agua.

#### 2.2.4.4 Diseño de una torre de enfriamiento de agua mediante el uso de coeficientes de transferencia de masa de película.

El diseño de la torre se realiza siguiendo los pasos siguientes:

1. Se grafica la entalpía del aire saturado  $H_{yi}$  en función de  $T_i$  en una gráfica de  $H$  contra  $T$  tal como se muestra en la **figura 2.40**. Esta entalpía se calcule con la **ecuación (2.36)**. Usando la humedad de saturación obtenida de la gráfica de humedad para una temperatura dada, con  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$

(273 K) como temperatura base. En la Tabla 10 – 5 - 1 se muestran valores calculados.

2. Conociendo las condiciones del aire de entrada TG y H1, se calcula la entalpia de este aire Hy1 a partir de la ecuación  $H_y = C_s (T - T_0) + H_{A0}$ . El punto Hy1 y TL1 (la temperatura deseada de salida del agua) se incluye en la **figura 2.40**. Como uno de los puntos de la línea de operación. Esta se grafica con una pendiente de LcL y termina en un punto TL2, que es la temperatura de entrada del agua. (Esto proporciona Hy2). En otro procedimiento, Hy2 se puede calcular en la ecuación  $G (H_{y2} - H_{y1}) = L_{cL} (T_{L2} - T_{L1})$ .

TL		Hy		TL		Hy	
		btu	J			btu	J
°F	°C	Lbm de aire seco	Kg de aire seco	°F	°C	Lbm de aire seco	Kg de aire seco
60	15,6	18,78	43,68 x 10 <sup>3</sup>	100	37,8	63,7	148,2 x 10 <sup>3</sup>
80	26,7	36,1	84,0 x 10 <sup>3</sup>	105	40,6	74	172,1 x 10 <sup>3</sup>
85	29,4	41,8	97,2 x 10 <sup>3</sup>	110	43,3	84,8	197,2 x 10 <sup>3</sup>
90	32,2	48,2	112,1 x 10 <sup>3</sup>	115	46,1	96,5	224,5 x 10 <sup>3</sup>
95	35	55,4	128,9 x 10 <sup>3</sup>	140	60	198,4	461,5 x 10 <sup>3</sup>

**Tabla 2.8** Entalpia de mezclas saturados aire-vapor de agua (temperatura 0 °C).

3. Conociendo hLa y KGa, se grafican líneas con pendiente – hLa/kGaMBP como se indica en la **figura 2.40**. En la **ecuación (2.48)**, el

punto P representa a  $H_y$  y a TL que son las condiciones de interfaz. Por consiguiente, la línea MS o  $H_{yi}$ ,  $H_y$  representa a la fuerza impulsora en la ecuación (10S - 13).

4. Se calcula la fuerza impulsora  $H_{yi} - H_y$  para varios valores de TL entre TL1 - TL2. Entonces al graficar  $i/(H_{yi} - H_y)$  en función de  $H_y$  desde  $H_{y1}$  hasta  $H_{y2}$ , se lleva a cabo una integración grafica para obtener el valor integral en la **ecuación (2.47)**. Finalmente, se calcula la altura z con la **ecuación (2.47)**.

#### 2.2.4.5 Diseño de una torre de enfriamiento de agua utilizando los coeficientes globales de transferencia de masa.

A menudo solo se dispone de un coeficiente global de transferencia de masa KGa en kg mol/ s´m<sup>3</sup> ´atm, y la **ecuación (2.47)** se transforma en

$$Z = \frac{G_{aire}}{2MbKg_a A} \int_{H_1}^{H_2} \frac{dH_{aire}}{(H' - H)} \quad (2.48)$$

El valor de  $H_y''$  se determina verticalmente desde el valor de  $H_y$  en el punto hasta la línea de equilibrio para dar  $H_y''$  en el punto R, como se muestra en la **figura 2.40**. En muchos casos no se dispone de los coeficientes de película experimentales KGa y hLa. Los pocos datos experimentales disponibles indican que hLa es muy grande y la pendiente de las líneas  $-hLa/(KG_a MB P)$  de la **ecuación (2.48)**, sería muy grande, y que el valor de  $H_y'$  se acercaría al de  $H_y''$  de la **figura 2.40**. Para diseñar la torre utilizando el coeficiente global de transferencia de masa se pasa por las siguientes etapas<sup>113</sup>:

1. Los datos de entalpia y temperatura de la **tabla 4.1**, se grafica como se indican en la **figura 2.40**.

<sup>113</sup> fuente: GUILLEN, R. Estudio Termotécnico de Torres de Enfriamiento Autoventiladas Tesis de Maestrado. Universidad de Oriente. Cuba. 1995

2. La línea operativa se calcula como en las etapas 1 y 2 para los coeficientes de película y se grafica como se muestra en la **figura 2.40**.
3. En la **figura 2.40**, el punto P representa  $H_y$  y TL en la línea operativa y el punto R representa  $H_y''$  sobre la línea de equilibrio. Por consiguiente, la línea vertical RP o  $H_y'' - H_y$  representa la fuerza impulsora en la **ecuación (2.48)**.
4. La fuerza impulsora  $H_y'' - H_y$  se calcula para varios valores de TL entre TL1 y TL2. Después graficando  $1/(H_y'' - H_y)$  en función de  $H_y$  desde  $H_{y1}$  hasta  $H_{y2}$ , se realiza una integración grafica para obtener el valor de la integral en la **ecuación (2.48)**. Por último, la altura z se obtiene de la **ecuación (2.48)**.

Si se dispone de datos de enfriamiento experimentales de una corrida real en una torre de enfriamiento con altura a conocida, se utiliza la **ecuación (2.48)**, para obtener el valor experimental de KGa.

$H_{yi}$	$H_y$	$H_{yi} - H_y$	$1/(H_{yi} - H_y)$
$94,4 \times 10^3$	$71,7 \times 10^3$	$22,7 \times 10^3$	$4,41 \times 10^{-5}$
$108,4 \times 10^3$	$83,5 \times 10^3$	$24,9 \times 10^3$	$4,02 \times 10^{-5}$
$124,4 \times 10^3$	$94,9 \times 10^3$	$29,5 \times 10^3$	$3,39 \times 10^{-5}$
$141,8 \times 10^3$	$106,5 \times 10^3$	$35,3 \times 10^3$	$2,83 \times 10^{-5}$
$162,1 \times 10^3$	$118,4 \times 10^3$	$43,7 \times 10^3$	$2,29 \times 10^{-5}$
$184,7 \times 10^3$	$129,9 \times 10^3$	$54,8 \times 10^3$	$1,82 \times 10^{-5}$

**Tabla 2.4** Valores de entalpia para la resolución de la torre de enfriamiento (en J/kg de aire seco)<sup>114</sup>.

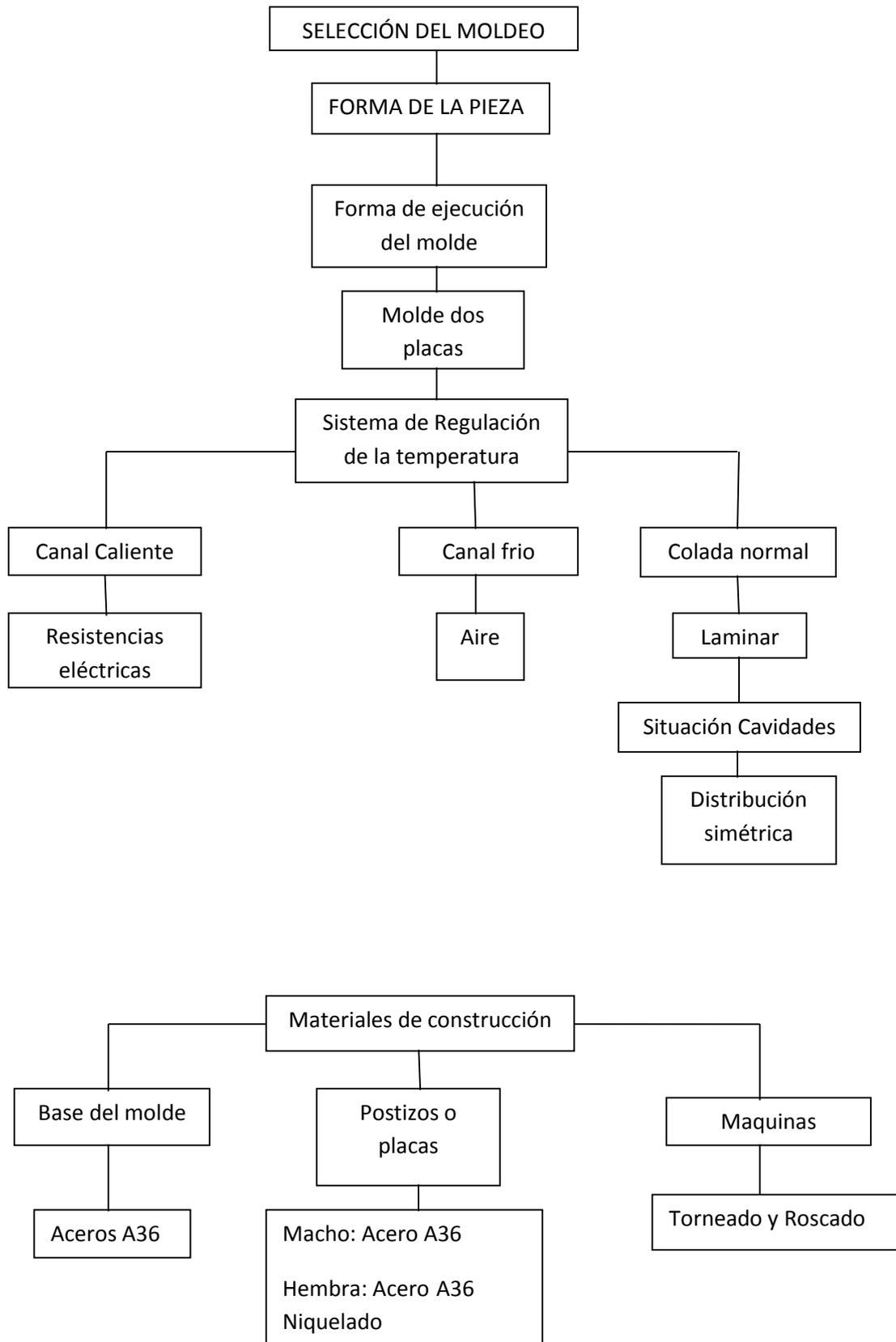
<sup>114</sup> Tabla de valores de entalpia para la resolución de la torre de enfriamiento, fuente: GUILLEN, R. Estudio Termotécnico de Torres de Enfriamiento Autoventiladas Tesis de Maestrado. Universidad de Oriente. Cuba. 1995

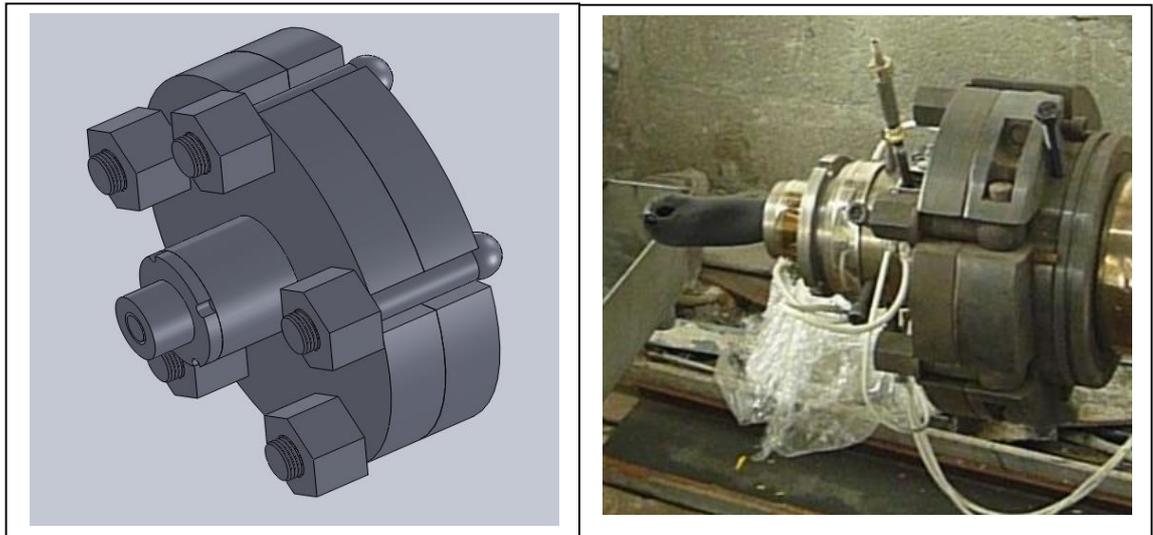
## **CAPITULO III: CONTRUCCIÓN E INSTALACIÓN**

### **3.1 CONSTRUCCION.**

#### **3.1.1 Instalación del sistema de moldeo.**

Para la selección y construcción de piezas de inyección y sus correspondientes moldes se utilizan cada vez con mayor frecuencia el método de elementos finos perfiladores, con este método se reduce el tiempo de desarrollo y los costos, así como optimizar la funcionalidad de las piezas. Solo cuando se han determinado la piezas y todas las exigencias que influyen en el diseño de un molde, se puede ejecutar la construcción definitiva de este. Por ende se ha seleccionado la norma DIN E 16750 de 1/2" a 2" moldes perfiladores para manguera que tiene como división Molde estándar (molde de dos placas).

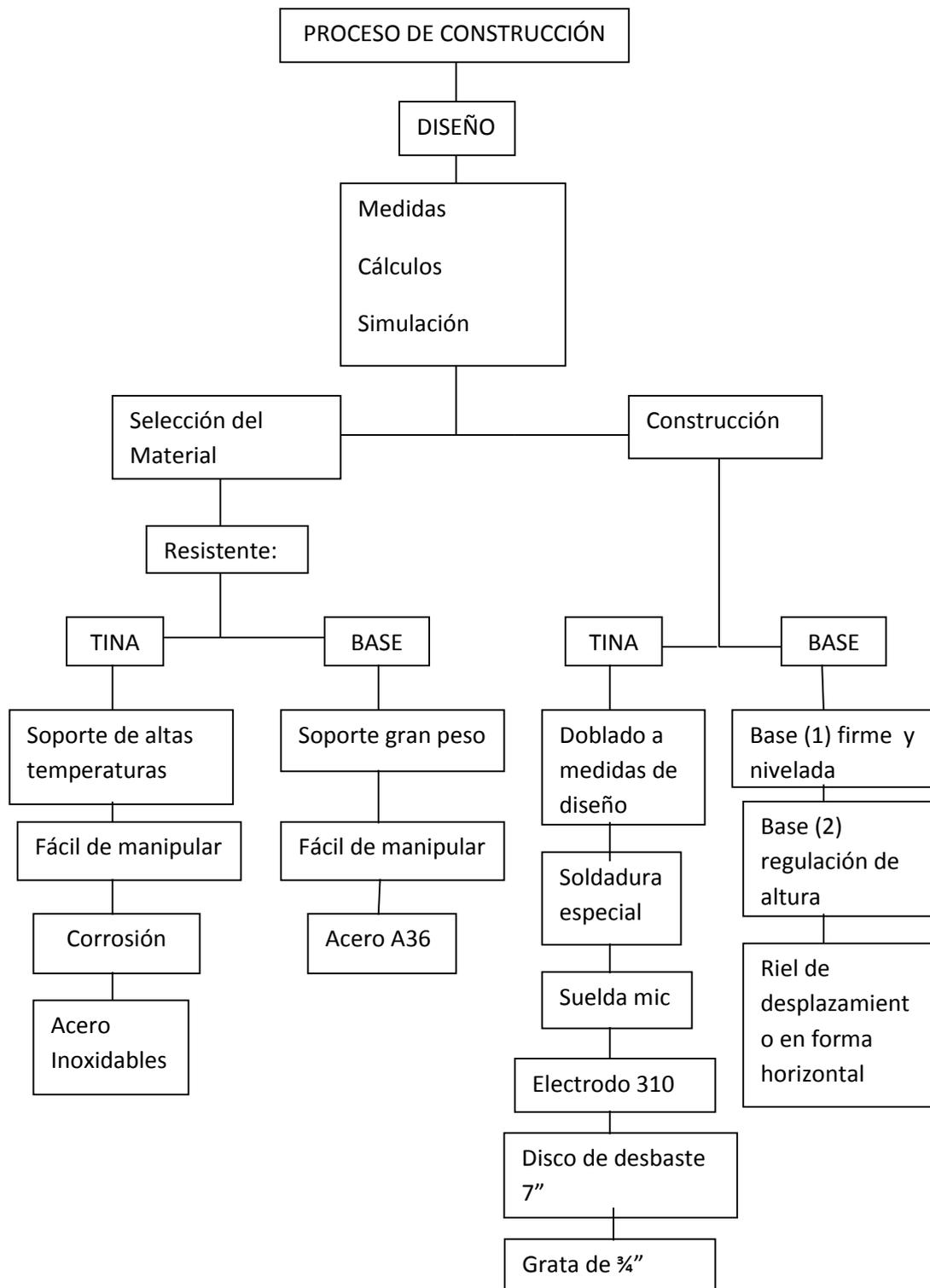


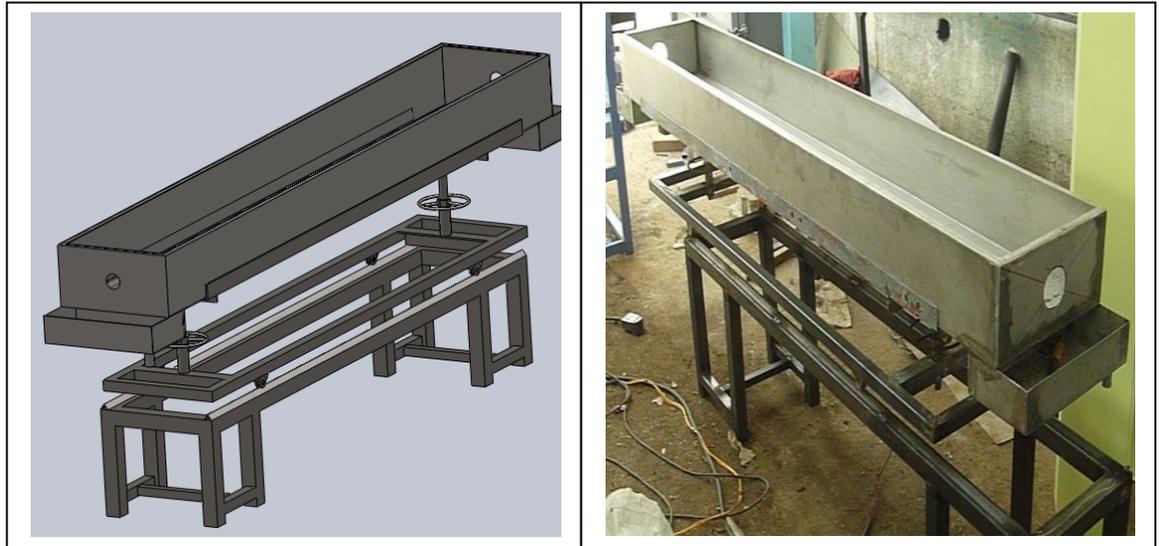


**Figura 3.1** Diseño de selección de molde.

### **3.1.2 Construcción de la tina de enfriamiento.**

Tiene por objeto remover el calor excedente que la tubería conserva a la salida del tanque de calibración. La importancia, radica en la estabilidad que adquiere el plástico para no deformarse al pasar por una unidad de tiro, de donde el tubo se somete a presiones que podría producir alteraciones en la forma circular requerida. Por lo cual sea dimensionado el enfriamiento por inmersión, el tubo pasa por una tina de enfriamiento; así se lleva a cabo por un intercambio de calor también constante, la inmersión de tubería de diámetro, donde por la velocidad alta de extrusión se requiere de un enfriamiento intenso.

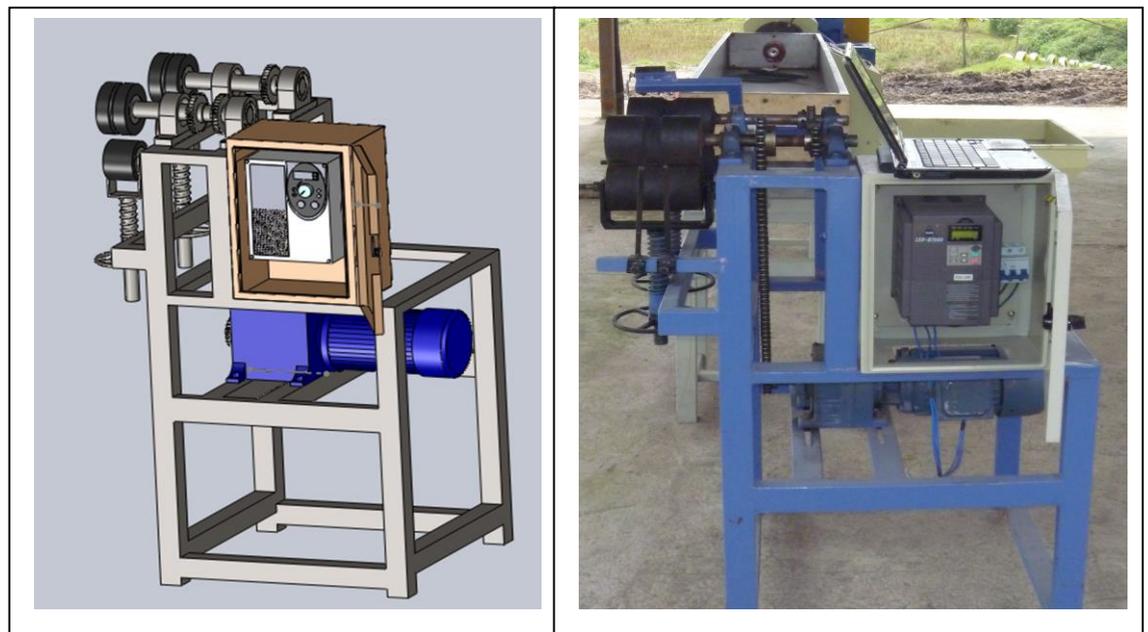




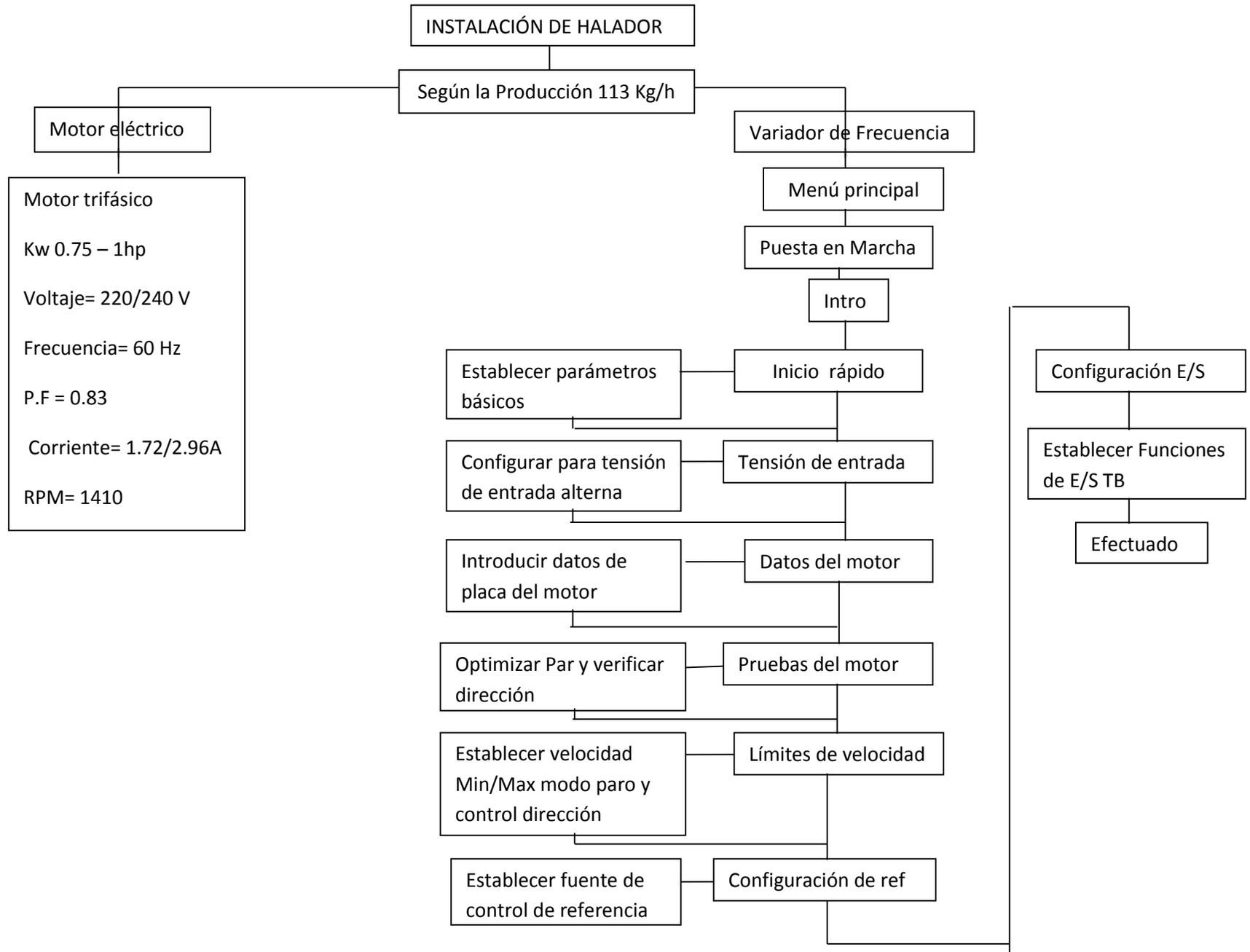
**Figura 3.2** *Diseño y construcción de tina de enfriamiento.*

### **3.1.3 INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE HALADOR DE TUBERÍA.**

Una vez que sale el tubo de la tina de enfriamiento completamente rígido pasa por un sistema de tiraje para lo cual se utiliza un jalador o puller el cual hará la función de jalar al tubo. Este transporte jalador además tiene la función de controlar el espesor de la tubería mediante la regulación de velocidad con lo que se pueden obtener tubos con paredes de diferente espesor.

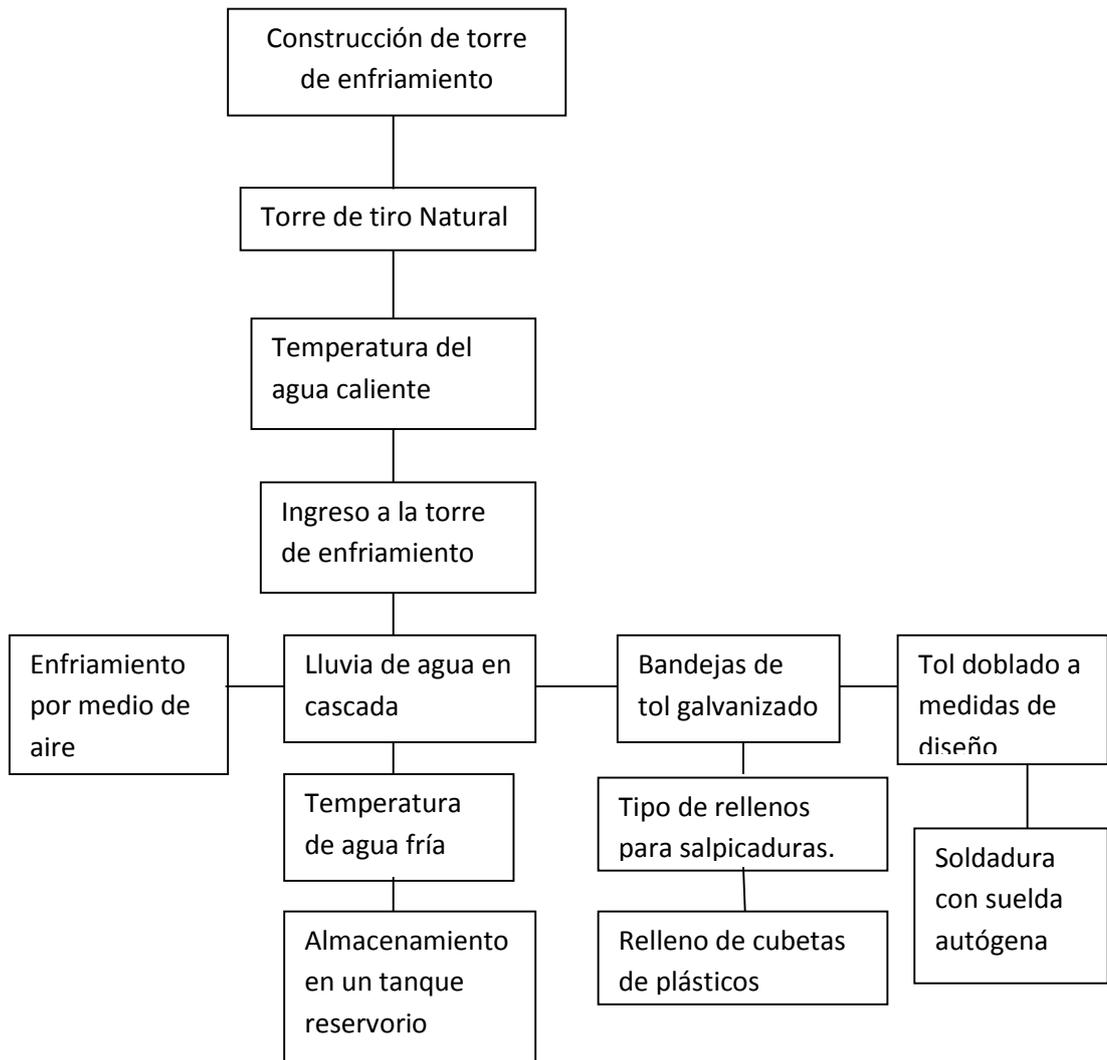


***Figura 3.2 Instalación del halador.***



### 3.1.4 DIMENSIONAMIENTO DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO.

Este diseño tiene como finalidad enfriar una corriente de agua por vaporización parcial de esta con el consiguiente intercambio de calor sensible y latente de una corriente de aire seco y frío que circula por el mismo circuito de tuberías las torres pueden ser de muchos tipos pero sin embargo el enfoque se centra en la siguiente torre de enfriamiento de tiro natural.





**Figura 3.3** Dimensionamiento de torre de enfriamiento.

## **3.2 DISEÑO ELECTRICO**

### **3.2.1 SISTEMA DE ARRASTRE DE LA TUBERIA**

En este sistema de arrastre de la tubería se ha realizado un control de velocidad de arrastre con la que se va estirar el producto, esto siempre va depende de la producción. Este control consta de un variador de frecuencia que se toma los datos de la tabla 2.7 de selección de halador de tubería.

#### **3.2.1.1 Circuito y simulación.**

Para la simulación y diseño del circuito se ha utilizado un software CAD – electrical que cumple las normas internacionales más a detalle en el Anexo A2.

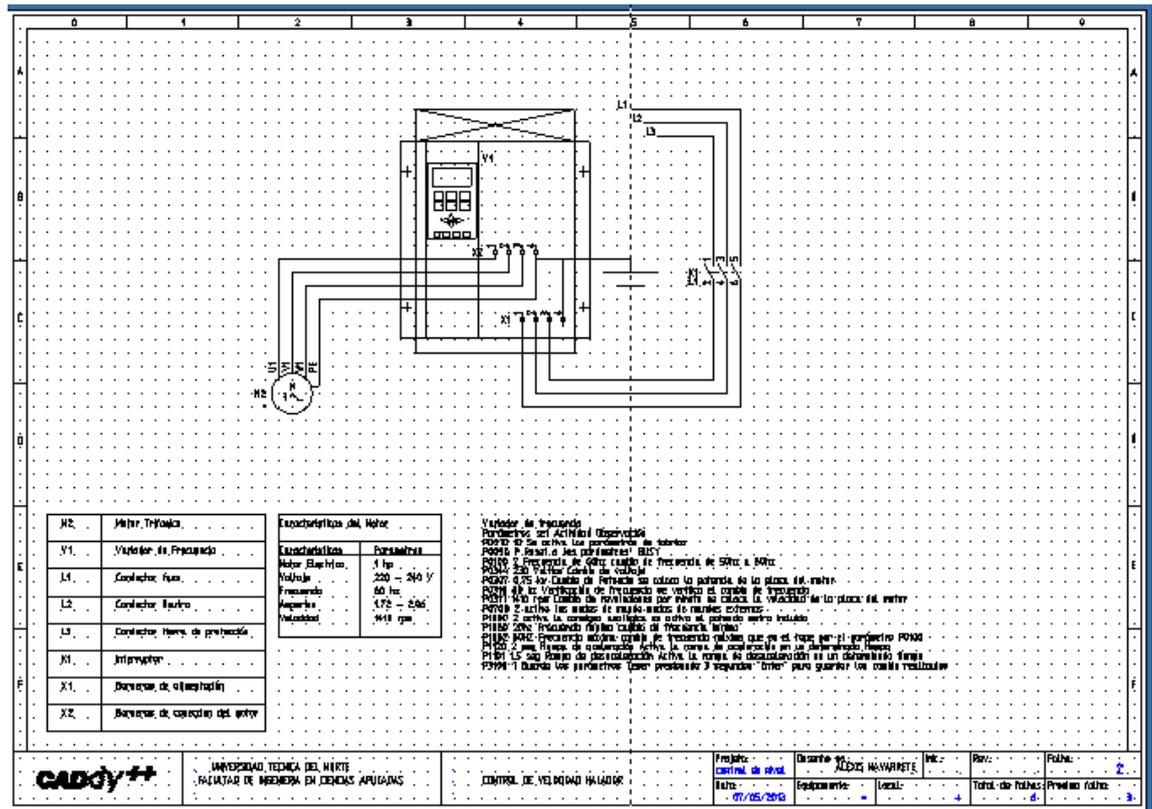


Figura 3.4 Circuito eléctrico de control del sistema de arrastre.

### 3.2.1.2 Selección del motor y variador de frecuencia

Para este sistema sea seleccionado un motor que cumple con las exigencias de la producción que se encuentra en la tabla 2.7 por medio de estos parámetros podemos obtener que se va ingresar en el variador de frecuencia para su óptimo desempeño.

Variador de frecuencia			
Parámetros	set	Actividad	Observación
P0010	10	Se activa los parámetros de fabrica	
P0090	P	Reset a los parámetros	BUSY
P0100	2	Frecuencia de 60hz	cambio de frecuencia de 50hz a 60hz
P0344	230 Voltios	Cambio de voltaje	

P0307	0,75 kw	Cambio de Potencia	se coloca la potencia de la placa del motor
P0310	60 hz	Verificación de frecuencia	se verifica el cambio de frecuencia
P0311	1410 rpm	Cambio de revoluciones por minuto	se coloca la velocidad de la placa del motor
P0700	2	activa los modos de mando	modos de mandos externos
P1000	2	activa la consigna analógica	se activa el potencio metro incluido
P1080	20hz	Frecuencia mínima	cambio de frecuencia mínima
P1082	60HZ	Frecuencia máxima	cambio de frecuencia máxima que es el tope por el parámetro P0100
P1120	2 seg	Rampa de aceleración	Activa la rampa de aceleración en un determinado tiempo
P1101	1,5 seg	Rampa de desaceleración	Activa la rampa de desaceleración en un determinado tiempo
P3100	1	Guarda los parámetros	Tener presionado 3 segundos "Enter" para guardar los cambios realizados

**Tabla 3.1** *Parámetros de programación variador.*

### **3.2.2 SISTEMA DE NIVEL DE TINA DE ENFRIAMIENTO**

Se ha desarrollado un control de nivel óptimo para las facilidad de llenado de la tina de enfriamiento por el cual se pretende que siempre el producto (manguera) siempre este sumergido.

#### **3.2.2.1 Circuito y simulación**

Para la simulación y diseño del circuito se ha utilizado un software CAD – electrical que cumple las normas internacionales más a detalle en el Anexo A2.

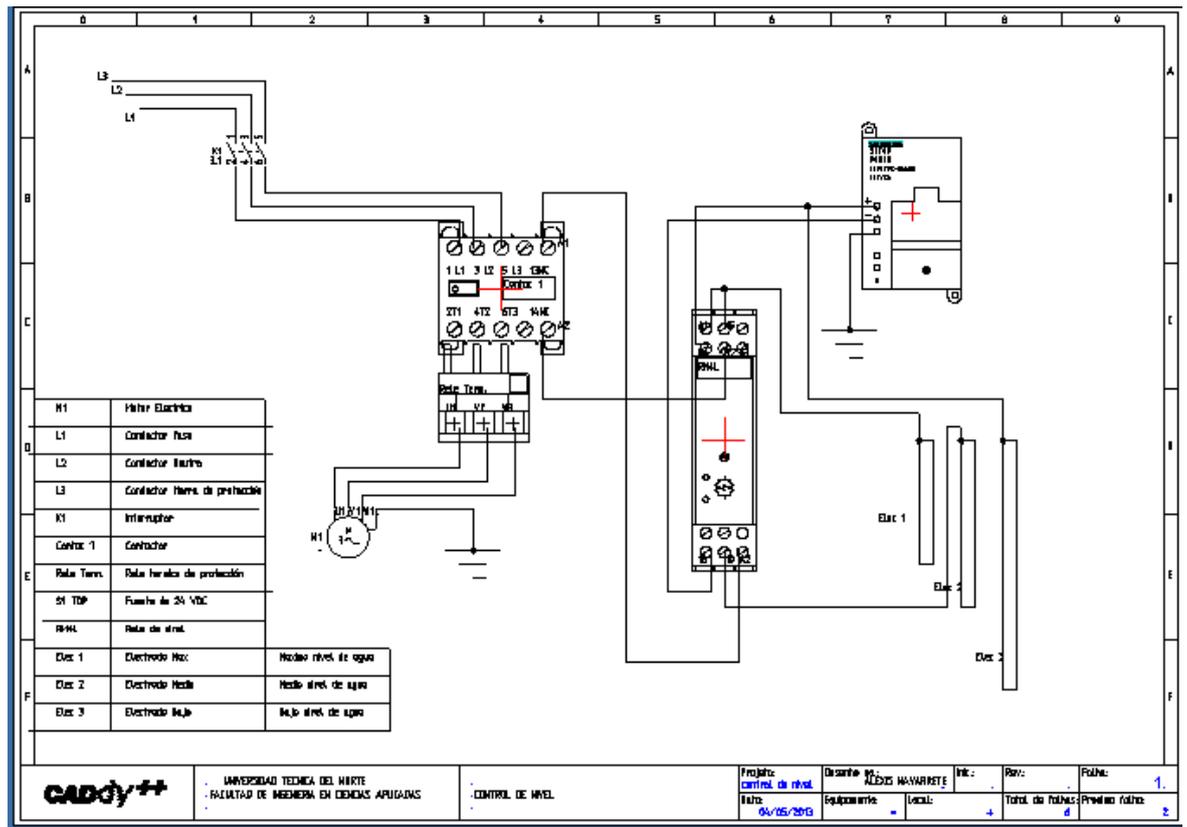


Figura 3.5 Circuito eléctrico de control de nivel tina de enfriamiento.

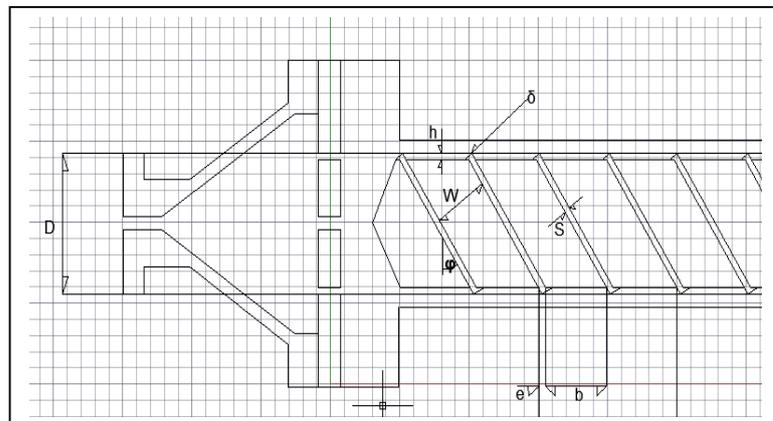
## CAPITULO IV: CALCULOS, SIMULACION Y PRUEBAS

### 4.1 PRUEBA DEL MOLDEO ESTILO LINEAL

#### 4.1.1 CALCULOS DE PRODUCCION. Flujo de Granza

Para encontrar la temperatura del molde tenemos que saber la producción de la extrusora. Necesitamos determinar la producción de una extrusionadora, que fabrica tubos de polietileno de baja densidad, siendo constantes la anchura y profundidad del canal; el husillo es de un solo filete o canal ( $m = 1$ ).

Las características técnicas de la extrusionadora son: diámetro del husillo  $D = 63\text{mm}$ , longitud  $L = 1512\text{mm}$ , holgura radial entre los vértices de husillo y el cilindro  $\delta = 0.0064\text{mm}$ , anchura vértice  $e = 6,3\text{mm}$ , paso del canal helicoidal  $t = 63\text{mm}$ , profundidad del canal  $h = 3\text{mm}$ , y la resistencia total de la cabeza perfiladora  $k = 0,105\text{mm}^3$  girando el husillo a  $n = 90\text{ rpm}$ .



**Figura 4.1** Sección del husillo y molde datos generales<sup>115</sup>.

<sup>115</sup> Fuente: Autor

### Datos<sup>116</sup>

Diámetro,	D = 63 mm
Longitud,	L = 1512 mm
Holgura,	$\delta = 0.0064$ mm
Anchura vértice,	e = 6,3 mm
Paso del canal helicoidal,	
$t = 63$ mm	
Profundidad del canal,	h = 3 mm
Giro del husillo,	n = 90 r.p.m
Resistencia total de la cabeza perfiladora,	k = 0,105 mm <sup>3</sup>

#### **Ecuación (4.1) ángulo de la hélice**

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{t}{2\pi Rm} = \operatorname{arctg} \frac{t}{m(2R1-h)} \quad (4.1)$$

Reemplazando los valores:

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{63}{\pi(63)}$$

Se obtiene:

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{1}{\pi}$$

$$\varphi = 17,65^\circ$$

$$\operatorname{sen}\varphi = 0.303$$

$$\operatorname{cos}\varphi = 0.952$$

---

<sup>116</sup> Fuente: Universidad Técnica del Norte, Tesis Extrusora de plástico autor: Leonel Flores.

### Ecuación (4.2) flujo de arrastre $\alpha$

Las constantes de los flujos  $\beta$ ,  $\alpha$  y  $\gamma$  se determina por las formulas

$$\alpha = \frac{\pi m D h \left(\frac{t}{m} - e\right) \cos^2 \varphi}{2} \quad (4.2)$$

$$\alpha = \frac{\pi (1)(6,3) (0,46) \left(\frac{6,3}{1} - 0,63\right) (0,952)^2}{2}$$

$$\alpha = 23,43 \text{ cm}^3$$

### Ecuación (4.3) flujo de Presión

$$\beta = \frac{m h^2 \left(\frac{t}{m} - e\right) \text{sen } \varphi \cos \varphi}{12 L} \quad (4.3)$$

$$\beta = \frac{1 (0,46)^2 \left(\frac{6,3}{1} - 0,63\right) \text{sen } 17,65 \cdot \cos 17,65}{12 (151,2)}$$

$$\beta = 8,78 \times 10^{-5} \text{ cm}^3$$

### Ecuación (4.4) flujo de filtración

$$\gamma = \frac{\pi^2 D^2 \delta^3 \text{tg } \varphi}{10 e L} \quad (4.4)$$

$$\gamma = \frac{\pi^2 (6,3)^2 (0,0064)^3 \text{tg } 17,65}{10 (0,63) (151,2)}$$

$$\gamma = 3,43 \times 10^{-8} \text{ cm}^3$$

#### Ecuación (4.5) Producción de una extrusionadora de tubo.

$$Q = \left( \frac{\alpha k}{k + \beta + \gamma} \right) \cdot n \quad (4.5)$$

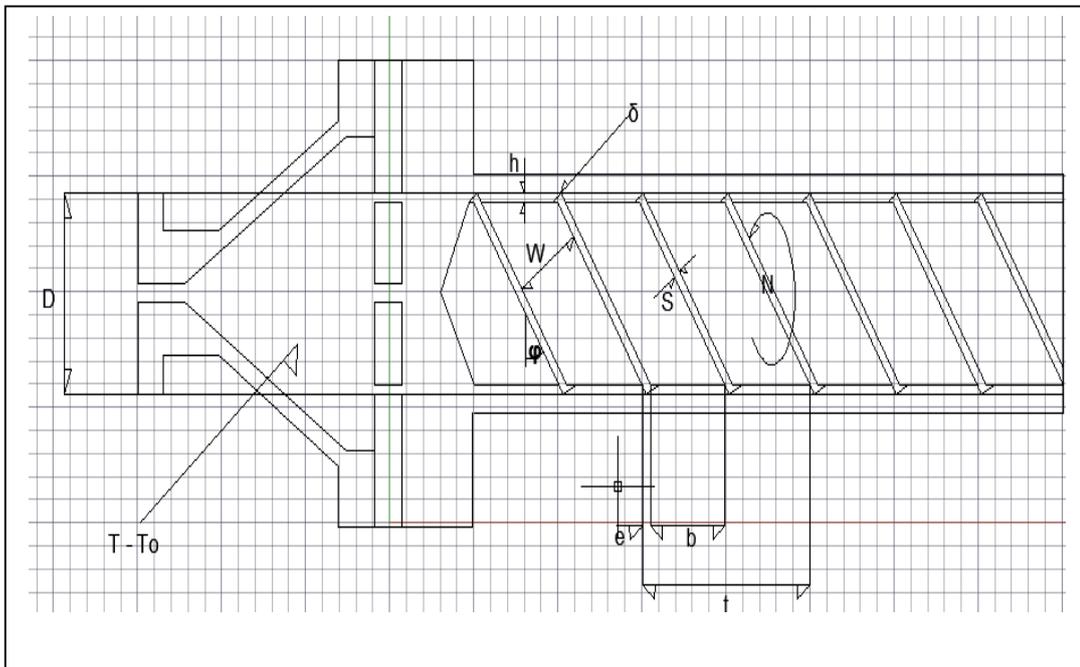
$$Q = \left( \frac{(23,43) (0,105)}{0,105 + 8,78 \times 10^{-5} + 3,43 \times 10^{-8}} \right) \cdot 90$$

$$Q = 2108.56 \text{ cm}^3/\text{min}$$

En donde podemos observar en la figura entre la viscosidad efectiva del polietileno y la velocidad de cortadura.

En donde una densidad especifica del polietileno  $\gamma = 0,00091 \text{ kg/cm}^3$  tendremos  $Q = 113 \text{ kg/h}$ .

#### 4.1.2 CALCULO DE TEMPERATURA DE LA GRANSA DERRETIDA



**Figura.4.2** relación de temperatura y variables.

Durante el proceso de extrusión adiabática la distribución de la temperatura del material a lo largo del husillo continua al cabezal perfilados del molde se determina la salida de temperatura aplicando la formula.

#### **Ecuación (4.6) Temperatura de perfilados del molde**

$$T - T_o = \frac{n}{b} \ln \left( \frac{bl}{nch} \left( \frac{\pi Dh}{mo h} \right)^{\frac{1}{n}} S + 1 \right) \quad (4.6)$$

En el cual

$T - T_o$  = es la diferencia de temperatura en el material donde  $T_o$  es la temperatura del material al comienzo de la zona examinada.

$b$  = un coeficiente que caracteriza la dependencia de la temperatura

$$[m = m_o e^{b(T-T_o)}]$$

$m$  y  $n$  = los coeficientes de la ecuación correspondiente a la curva de flujo.

$L$  = la distancia a lo largo del eje del husillo.

$c$  = la capacidad calorífica por unidad de volumen.

$h$  = mitad de la altura del canal del husillo.

$D$  = el diámetro del husillo

$N$  = el número de revoluciones del husillo.

$S$  = se determina por nomograma, como función de  $\mu$ .

$T_o$  = Temperatura ambiente.

Dónde:

Datos:

$$Q = 113 \text{ kg/h}$$

$$D = 63 \text{ mm}$$

$$N = 90 \text{ rpm}$$

$$h = 0,46 \text{ mm}$$

$$113 \frac{kg}{h} \times \frac{1 h}{60 min} = 1,883 \text{ kg/min}$$

$$90 \text{ rpm} \times \frac{9,549 \frac{rad}{seg}}{1 rpm} = 859,41 \frac{rad}{seg} \times \frac{60 seg}{min} = 51564,6 \frac{rad}{min}$$

$$\mu = \frac{Q}{\pi D^2 N h}$$

$$\mu = \frac{1,883}{\pi (63)^2 (51564,6) (0,46)}$$

$$\mu = 6,366 \times 10^{-9} \text{ Kg/rad}^2 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{x + \frac{\cos\varphi}{\mu} \text{sen}\varphi - 1}{q^{\frac{1}{n}}}$$

$$S = \frac{1512 + \frac{\cos 17,65}{6,366 \times 10^{-9}} * \text{sen} 17,65 - 1}{1,883^{51564,6}}$$

$$S = 45387195,25 \text{ mm}$$

Datos:

$$n = 6$$

$$b = 1$$

$$m = 1$$

$$L = 1512 \text{ mm}$$

$$D = 63 \text{ mm}$$

$$N = 51564,6 \frac{rad}{min}$$

$$S = 45387195,25\text{mm}$$

$$c = 1,98 \frac{\text{kJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}$$

$$h = 0,46 \text{ mm}$$

De la **ecuación (4.6)**

$$T - T_o = \frac{n}{b} \ln\left(\frac{bl}{nch} \left(\frac{\pi Dh}{mo h}\right)^{\frac{1}{n}} S + 1\right)$$

$$T - T_o = \frac{6}{1} \ln\left(\frac{1(1512)}{3(1,98)(0,46)} \left(\frac{\pi(63)(0,46)}{1(0,46)}\right)^{\frac{1}{6}} 4538195,25 + 1\right)$$

$$T - T_o = \frac{6}{1} \ln(3,950538751 \times 10^{13})$$

$$T - T_o = 140.736 \text{ } ^\circ\text{C}$$

## 4.2 CÁLCULOS DE LA CAMISA DE ENFRIAMIENTO.

Usando las propiedades del agua de la **tabla 2.1**.

Por lo tanto la velocidad del agua en la tina es:  $V = 3.5 \times 10^{-5} \frac{m}{s}$

Re= Numero de Reynolds

h = Coeficiente de transferencia de calor por convección.

NVL= Correlación de Nusselt.

$T_{\infty}$  = Temperatura del agua, la cual se fija para cada corrida.

$T_w$  = Temperatura de la pared de plástico.

Tomando las **ecuaciones (2.25), (2.26) y (2.28)** obtenemos que

**Para T = 5 °C**

$$Re = \frac{\left(999.75 \frac{kg}{m^3}\right) \left(3.5 \times 10^{-3} \frac{m}{s}\right) (0.20228 m)}{\left(0.0015 \frac{kg}{m \cdot s}\right)}$$

$$Re = 471.859$$

$$h = 0.664 (471.859)^{1/2} (11.167)^{1/3} \left(\frac{0.576}{0.20228}\right) = 91.38 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$NVL = 0.664 (471.859)^{1/2} (11.167)^{1/3} = 32.23$$

**Para T = 11 °C**

$$Re = \frac{\left(999.55 \frac{kg}{m^3}\right) \left(3.5 \times 10^{-3} \frac{m}{s}\right) (0.20228 m)}{\left(0.00137 \frac{kg}{m \cdot s}\right)}$$

$$Re = 516.54$$

$$h = 0.664 (516.54)^{1/2} (9.1266)^{1/3} \left( \frac{0.5868}{0.20228} \right) = 91.48 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}$$

$$NVL = 0.664 (516.54)^{1/2} (9.1266)^{1/3} = 31.53$$

**Para T = 35 °C**

$$Re = \frac{\left( 993.6 \frac{kg}{m^3} \right) \left( 3.5 \times 10^{-3} \frac{m}{s} \right) (0.20228 \text{ m})}{\left( 0.0084 \frac{kg}{m \cdot s} \right)}$$

$$Re = 837.43$$

$$h = 0.664 (837.43)^{1/2} (4.71294)^{1/3} \left( \frac{0.6256}{0.20228} \right) = 99.68 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}$$

$$NVL = 0.664 (837.43)^{1/2} (4.71294)^{1/3} = 32.23$$

**Para T = 36.08 °C**

$$Re = \frac{\left( 963.85 \frac{kg}{m^3} \right) \left( 3.5 \times 10^{-3} \frac{m}{s} \right) (0.20228 \text{ m})}{\left( 0.000814 \frac{kg}{m \cdot s} \right)}$$

$$Re = 838.31$$

$$h = 0.664 (838.31)^{1/2} (4.5781)^{1/3} \left( \frac{0.6068}{0.20228} \right) = 95.76 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}$$

$$NVL = 0.664 (838.31)^{1/2} (4.5781)^{1/3} = 31.92$$

T ( °C )	Re	NVL	$h \left( \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C} \right)$
5	471.859	32.23	91.8027
11	516.541	31.53	91.38
35	837.439	32.23	99.68
36.08	838.31	31.92	95.76

**Tabla 4.1** Con las correlaciones de Pohlhausen se obtiene h.

Obtenemos el calor a partir de la **ecuación (2.8)**:

$$Q = h (2A) (T_w - T_\infty) \quad (2.8)$$

$T_\infty$  (temperatura del agua, la cual se fija para cada corrida), mientras que la pared del plástico en promedio tiene un valor de  $T_w$ .

Área para un tubo de plástico.

Para calcular el área del círculo que forma un tubo se debe hacer diámetro interno de la tubería, al cuadrado, al resultado multiplicarlo por el número  $\pi$  y luego dividir todo por 4, es decir.

$d = \frac{1}{2}$  pulgada = 0.0127m (diámetro de la circunferencia).

$$A = ((d^2) * \pi) / 4 \quad (2.29)$$

Entonces

$$A = ((0.0127^2) * \pi) / 4$$

$$A = 1.266 \times 10^{-4} m^2$$

Pero como es:  $2A = 2 (1.266 \times 10^{-4} m^2) = 2.532 \times 10^{-4} m^2$

Diámetros de tubos (pulgadas)	Diámetro (metros)	Area ( $m^2$ )
$\frac{1}{2}$	0.0127	$1.266 \times 10^{-4}$
$\frac{3}{4}$	0.01905	$2.850 \times 10^{-4}$
1	0.0254	$5.067 \times 10^{-4}$
$1 \frac{1}{2}$	0.0381	$1.140 \times 10^{-3}$
2	0.0508	$2.026 \times 10^{-4}$

**Tabla 4.2** De conversión de diferentes tipos de tubería.

NOTA: La temperatura que se calculó a la salida de la extrusora es de 140 °C (tubo), por ende se toma 130 °C por contacto con el medio ambiente.

**Entonces realizo el cálculo a una temperatura  $T_{\infty} = 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ :**

**Diámetro de la tubería a  $\frac{1}{2}$  "**

$$Q = \left( 91.8027 \frac{W}{m^2 \text{ }^{\circ}\text{C}} \right) (2.532 \times 10^{-4} m^2) (130 \text{ }^{\circ}\text{C} - 5^{\circ}\text{C})$$

$$Q = 2.90 \text{ W}$$

**Diámetro de la tubería a  $\frac{3}{4}$  "**

$$Q = \left( 91.8027 \frac{W}{m^2 \text{ }^{\circ}\text{C}} \right) (2.850 \times 10^{-4} m^2) (130 \text{ }^{\circ}\text{C} - 5^{\circ}\text{C})$$

$$Q = 3.27 \text{ W}$$

**Diámetro de la tubería a 1"**

$$Q = \left( 91.8027 \frac{W}{m^2 \text{ }^{\circ}\text{C}} \right) (5.067 \times 10^{-4} m^2) (130 \text{ }^{\circ}\text{C} - 5^{\circ}\text{C})$$

$$Q = 5.814 \text{ W}$$

**Diámetro de la tubería a 1  $\frac{1}{2}$  "**

$$Q = \left( 91.8027 \frac{W}{m^2 \text{ }^{\circ}\text{C}} \right) (1.140 \times 10^{-3} m^2) (130 \text{ }^{\circ}\text{C} - 5^{\circ}\text{C})$$

$$Q = 13.08 \text{ W}$$

**Diámetro de la tubería a 2"**

$$Q = \left( 91.8027 \frac{W}{m^2 \text{ }^{\circ}\text{C}} \right) (2.026 \times 10^{-3} m^2) (130 \text{ }^{\circ}\text{C} - 5^{\circ}\text{C})$$

$$Q = 23.24 \text{ W}$$

**Entonces realizo el cálculo a una temperatura  $T_{\infty} = 11 \text{ }^{\circ}\text{C}$ :**

**Diámetro de la tubería a  $\frac{1}{2}$  "**

$$Q = \left( 91.38 \frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C} \right) (2.532 \times 10^{-4} m^2) (130 \text{ }^{\circ}\text{C} - 11^{\circ}\text{C})$$

$$Q = 2.75 \text{ W}$$

**Diámetro de la tubería a  $\frac{3}{4}$  "**

$$Q = \left( 91.38 \frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C} \right) (2.850 \times 10^{-4} m^2) (130 \text{ }^{\circ}\text{C} - 11^{\circ}\text{C})$$

$$Q = 3.09 \text{ W}$$

**Diámetro de la tubería a 1 "**

$$Q = \left( 91.38 \frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C} \right) (5.067 \times 10^{-4} m^2) (130 \text{ }^{\circ}\text{C} - 11^{\circ}\text{C})$$

$$Q = 5.50 \text{ W}$$

**Diámetro de la tubería a 1  $\frac{1}{2}$  "**

$$Q = \left( 91.38 \frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C} \right) (1.140 \times 10^{-3} m^2) (130 \text{ }^{\circ}\text{C} - 11^{\circ}\text{C})$$

$$Q = 12.39 \text{ W}$$

**Diámetro de la tubería a 2 "**

$$Q = \left( 91.38 \frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C} \right) (2.026 \times 10^{-3} m^2) (130 \text{ }^{\circ}\text{C} - 11^{\circ}\text{C})$$

$$Q = 22.03 \text{ W}$$

**Entonces realizo el cálculo a una temperatura  $T_{\infty} = 35\text{ °C}$ :**

**Diámetro de la tubería a  $\frac{1}{2}$  "**

$$Q = \left( 99.68 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right) (2.532 \times 10^{-4} m^2) (130\text{ °C} - 35\text{ °C})$$

$$Q = 2.39\text{ W}$$

**Diámetro de la tubería a  $\frac{3}{4}$  "**

$$Q = \left( 99.68 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right) (2.850 \times 10^{-4} m^2) (130\text{ °C} - 35\text{ °C})$$

$$Q = 2.69\text{ W}$$

**Diámetro de la tubería a 1"**

$$Q = \left( 99.68 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right) (5.067 \times 10^{-4} m^2) (130\text{ °C} - 35\text{ °C})$$

$$Q = 4.79\text{ W}$$

**Diámetro de la tubería a 1  $\frac{1}{2}$  "**

$$Q = \left( 99.68 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right) (1.140 \times 10^{-3} m^2) (130\text{ °C} - 35\text{ °C})$$

$$Q = 10.79\text{ W}$$

**Diámetro de la tubería a 2"**

$$Q = \left( 99.68 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right) (2.026 \times 10^{-3} m^2) (130\text{ °C} - 35\text{ °C})$$

$$Q = 19.18\text{ W}$$

**Entonces realizo el cálculo a una temperatura  $T_{\infty} = 36.08 \text{ }^{\circ}\text{C}$ :**

**Diámetro de la tubería a  $\frac{1}{2}$  "**

$$Q = \left( 95.76 \frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C} \right) (2.532 \times 10^{-4} m^2) (130 \text{ }^{\circ}\text{C} - 36.08^{\circ}\text{C})$$

$$Q = 2.27 \text{ W}$$

**Diámetro de la tubería a  $\frac{3}{4}$  "**

$$Q = \left( 95.76 \frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C} \right) (2.850 \times 10^{-4} m^2) (130 \text{ }^{\circ}\text{C} - 36.08^{\circ}\text{C})$$

$$Q = 2.56 \text{ W}$$

**Diámetro de la tubería a 1 "**

$$Q = \left( 95.76 \frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C} \right) (5.067 \times 10^{-4} m^2) (130 \text{ }^{\circ}\text{C} - 36.08^{\circ}\text{C})$$

$$Q = 4.55 \text{ W}$$

**Diámetro de la tubería a 1  $\frac{1}{2}$  "**

$$Q = \left( 95.76 \frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C} \right) (1.140 \times 10^{-3} m^2) (130 \text{ }^{\circ}\text{C} - 36.08^{\circ}\text{C})$$

$$Q = 10.17 \text{ W}$$

**Diámetro de la tubería a 2 "**

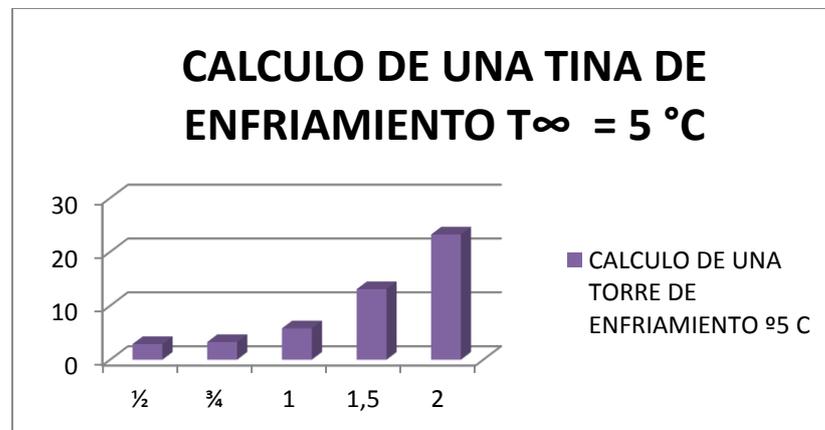
$$Q = \left( 95.76 \frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C} \right) (2.026 \times 10^{-3} m^2) (130 \text{ }^{\circ}\text{C} - 36.08^{\circ}\text{C})$$

$$Q = 18.22 \text{ W}$$

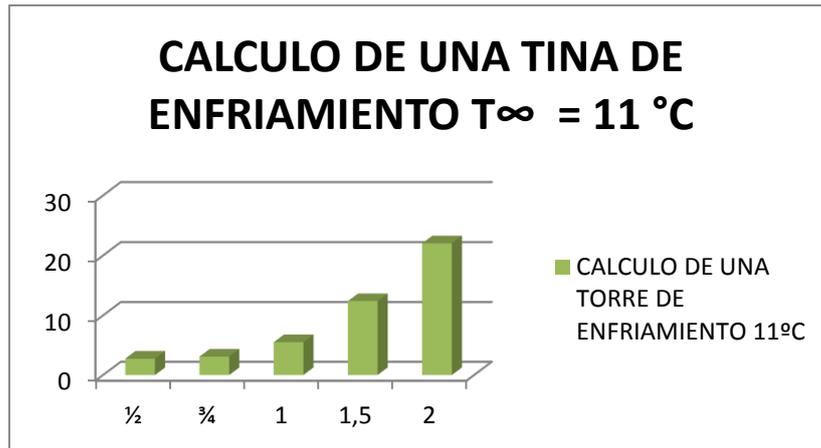
Es importante mencionar que aquí, no se necesita sacar un promedio entre la temperatura de la pared del plástico y la temperatura del agua, porque este valor  $T$  permanece fijo por medio de la recirculación de agua y un intercambiador de calor.

	Q	Q	Q	Q
Diámetros de tubos (pulgadas)	$T_{\infty} = 5^{\circ}\text{C}$	$T_{\infty} = 11^{\circ}\text{C}$	$T_{\infty} = 35^{\circ}\text{C}$	$T_{\infty} = 36.08^{\circ}\text{C}$
½	2.90 W	2.75 W	2.39 W	2.27 W
¾	3.27 W	3.09 W	2.69 W	2.56 W
1	5.814 W	5.50 W	4.79 W	4.55 W
1 ½	13.08w	12.39 W	10.79W	10.17W
2	23.24 W	22.03 W	19.18 W	18.22 W

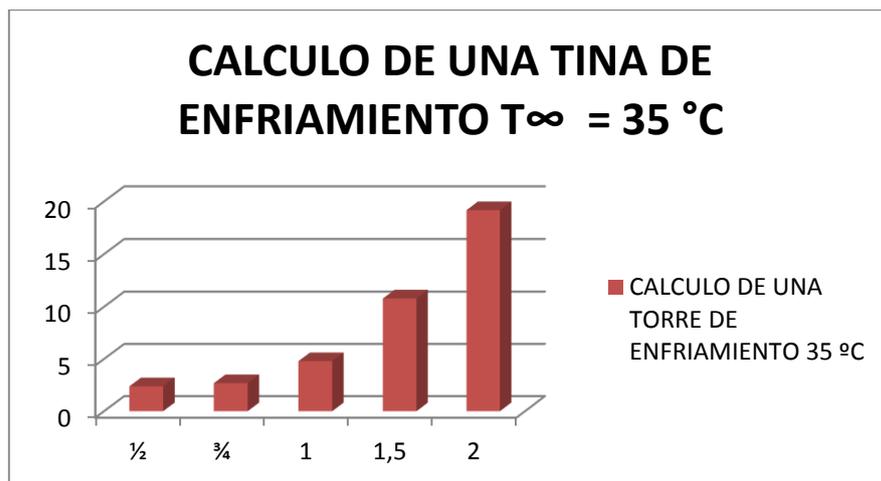
**Tabla 4.3** Calor que transfiere el tubo de plástico hacia el agua.



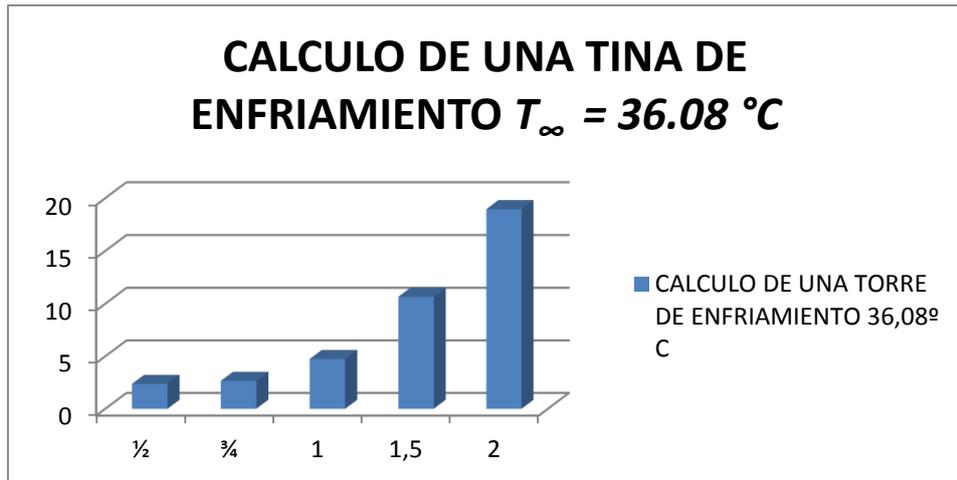
**Figura 4.1** Diagrama de transferencia de calor de plástico hacia el agua a una temperatura de  $5^{\circ}\text{C}$ .



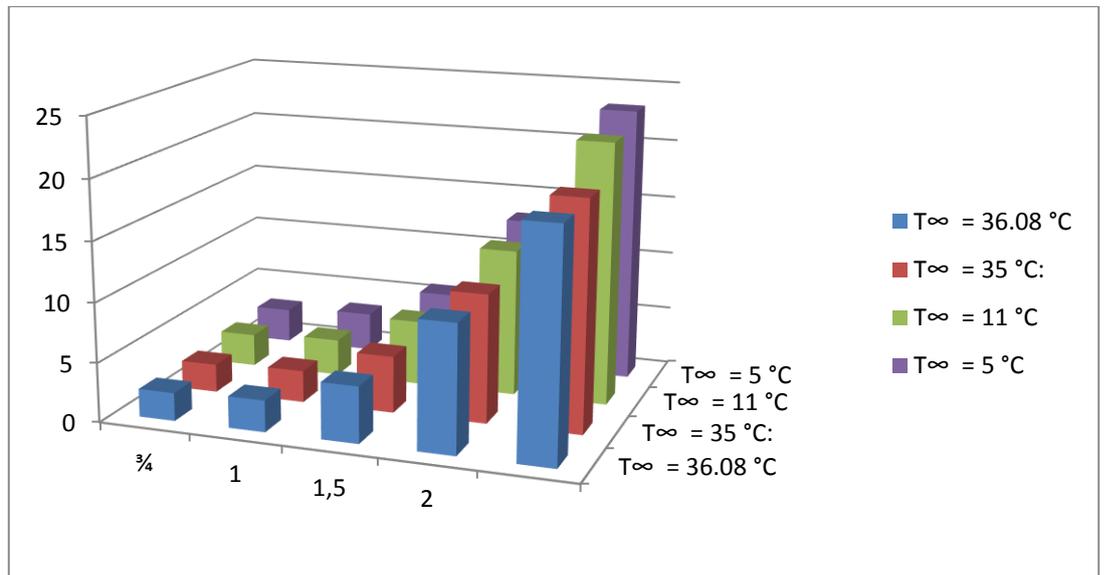
**Figura 4.2** Diagrama de transferencia de calor de plástico hacia el agua a una temperatura de 11 °C.



**Figura 4.3** Diagrama de transferencia de calor de plástico hacia el agua a una temperatura de 35 °C.



**Figura 4.4** Diagrama de transferencia de calor de plástico hacia el agua a una temperatura de  $36.08 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .



**Figura 4.5** Diferencia entre distintas temperaturas.

### 4.3 CÁLCULOS DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO

#### 4.3.1 DISEÑO DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE AGUA EMPLEANDO COEFICIENTES DE PELÍCULA.

Se desea enfriar agua desde una temperatura estimada  $T_{L2} = 43,3 \text{ }^\circ\text{C}$  (110  $^\circ\text{F}$ ) hasta  $T_{L1} = 29,4 \text{ }^\circ\text{C}$  (85  $^\circ\text{F}$ ) en una torre de enfriamiento de agua empacada trabajando a contracorriente, con un flujo de aire  $G = 1.356 \text{ kg de aire seco/s}^2\text{m}^2$  y una velocidad de flujo de agua de  $L = 1.356 \text{ kg de agua/s}^2\text{m}^2$ . El aire de entrada tiene  $29,4 \text{ }^\circ\text{C}$  y una temperatura de bulbo húmedo de  $23,9 \text{ }^\circ\text{C}$ . El coeficiente de transferencia de masa  $kGa$  tiene un valor estimado de  $1,207 \times 10^{-7} \text{ kg mol/s}^2\text{m}^3$ .  $P_a$  y  $hLa/kGaMBP$  es  $4.187 \times 10^4 \text{ J/kg}^{\circ}\text{K}$  (10.0  $\text{btu/lbm}^{\circ}\text{F}$ ). Calcule la altura  $z$  de la torre empacada. La torre opera a una presión de  $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ .

$T_{L2}$ = Temperatura de agua caliente

$T_{L1}$ = Temperatura de agua fría

$G$  = Flujo de aire seco

$L$  = Una velocidad de flujo de agua

$H_1$ = Humedad del aire,  $\text{kg de agua/kg de aire seco}$  ( $\text{lb de agua/lb de aire seco}$ ).

$H_y$ = Entalpia de la mezcla de aire vapor de agua,  $\text{J/kg de aire seco}$  ( $\text{btu/lbm de aire seco}$ )

$P$ = Presión atmosféricas.

$kGa$  = Coeficiente de transferencia de masa

$z$ = Altura de la torre.

DATOS:

$T_{L2} = 43,3 \text{ }^\circ\text{C}$  (110  $^\circ\text{F}$ ).

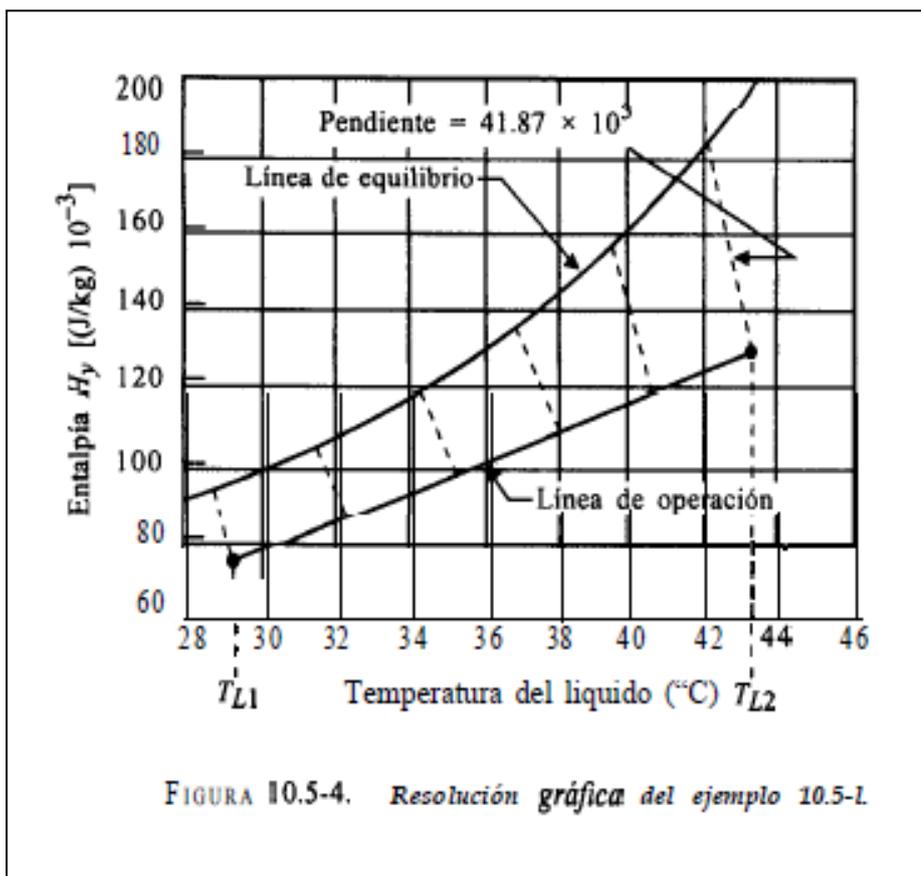
$T_{L1} = 29,4 \text{ }^\circ\text{C}$  (85  $^\circ\text{F}$ ).

$G = 1.356 \text{ kg de aire seco/s} \cdot \text{m}^2$ .

$L = 1.356 \text{ kg de agua/s} \cdot \text{m}^2$ .

$T_{G1} = 29,4 \text{ }^\circ\text{C}$  tiene una temperatura de bulbo húmedo de  $23,9 \text{ }^\circ\text{C}$ .

$H_1 = 0,0165 \text{ kg de H}_2\text{O/kg de aire seco}$



**Figura 4.5** Curvas de Entalpía.

Entonces: Sustituyendo en la **ecuación (4.8)**

$$H_y = C_s (T - T_0) + H_{\lambda 0}$$

Se observa

$$\Delta T = T - T_0$$

$$\Delta T = (29,4 - 0) \text{ }^\circ\text{C}$$

En donde

$$H_{y1} = (1.005 + 1.88 \times 0.0165) 10^3 (29,4 - 0) + 2.501 \times 10^6 (0.0165)$$

$$H_{y1} = 71.7 \times 10^3 \text{ J/kg}$$

Se grafica el punto  $H_{y1} = 71.7 \times 10^3$  y  $T_{L1} = 29,4 \text{ }^\circ\text{C}$ . Entonces, sustituyendo en la **ecuación (4.10)** y resolviendo.

$$G (H_y - H_{y1}) = L_{CL} (T_L - T_{L1})$$

$$1.356 (H_{y2} - 71.7 \times 10^3) = 1.356 (4.187 \times 10^3)(43.3 - 29.4)$$

$$H_{y2} = (4.187 \times 10^3)(43.3 - 29.4) + 71.7 \times 10^3$$

$$H_{y2} = 129.9 \times 10^3 \text{ J/kg}$$

Se grafican ahora las líneas con la pendiente  $-h_{La}/k_G a M_B P = -41.87 \times 10^3$  J/kg °K proporcionando los valores de  $H_{yi}$  y  $H_y$ , que se tabulan en la **tabla (4.2)** junto con los otros valores calculados. Se grafican ahora valores de  $1/(H_{yi} - H_y)$  en función de  $H_y$  y el área bajo la curva desde  $H_{yi} = 71.7 \times 10^3$  hasta  $H_{y2} = 129.9 \times 10^3$  es:

$H_{yi}$	$H_y$	$H_{yi} - H_y$	$1/(H_{yi} - H_y)$
$94,4 \times 10^3$	$71,7 \times 10^3$	$22,7 \times 10^3$	$4,41 \times 10^{-5}$
$108,4 \times 10^3$	$83,5 \times 10^3$	$24,9 \times 10^3$	$4,02 \times 10^{-5}$
$124,4 \times 10^3$	$94,9 \times 10^3$	$29,5 \times 10^3$	$3,39 \times 10^{-5}$
$141,8 \times 10^3$	$106,5 \times 10^3$	$35,3 \times 10^3$	$2,83 \times 10^{-5}$
$162,1 \times 10^3$	$118,4 \times 10^3$	$43,7 \times 10^3$	$2,29 \times 10^{-5}$
$184,7 \times 10^3$	$129,9 \times 10^3$	$54,8 \times 10^3$	$1,82 \times 10^{-5}$

**Tabla 4.4** Valores de entalpia para la resolución de la torre de enfriamiento (en J/kg de aire seco).

$$\int_{Hy1}^{Hy2} \frac{dHy}{Hy_i - Hy} \quad (4.21)$$

$$\int_{71.7 \times 10^3}^{129.9 \times 10^3} \frac{dHy}{129.9 \times 10^3 - 71.7 \times 10^3} = 1.82$$

Sustituyendo en la **ecuación (4.23)**,

$$z = \frac{G}{2kGaMB P} \int \frac{dHy}{Hy_i - Hy}$$

$$z = \frac{1.356}{(2)(29)(1.207 \times 10^{-7})(1.013 \times 10^3)} \quad (1.82)$$

$$z = 3.48 \text{ m}$$



## **CAPITULO V: ANALISIS SOCIO ECONOMICO**

### **5.1 ADECUACION DE INFORMACION CONTABLE PARA DAR UN ANALISIS DE LA RENTABILIDAD<sup>117</sup>.**

Atendiendo a los presupuestos establecidos en las actas del Gobierno autónomo descentralizado de Otavalo. Se puede planear posibilidades de aplicación de periodos de maduración ya actualización de este proceso.

#### **5.1.1 PARAMETROS DE INGRESOS**

- Costo total de la máquina 16000 usd
- Producción 113 kg/h
- Rollo de 100 metros de manguera negra 15 usd
- Rollo de 100 metros pesa 13 Kg
- El periodo de vida útil de una Extrusora es 15 años
- La depreciación acelerada es del 5% para maquinaria.
- El consumo de energía es de 36KW/h de las resistencias.
- El consumo total de extrusión es de 50 KW/h
- Un kg de plástico peletizado cuesta 40ctvs el de mejor calidad
- La inflación anual en el Ecuador para el año 2011 fue de 5.41%

---

<sup>117</sup> Fuente: Universidad Técnica del Norte, Tesis Extrusora de plástico autor: Leonel Flores

### 5.1.2 PRODUCCION ANUAL

$$113 \frac{kg}{h} \cdot \frac{1 \text{ rollo}}{13kg} \cdot \frac{8h}{1 \text{ dia}} \cdot \frac{240 \text{ dias}}{1 \text{ año}} = 16689,23 \approx 17000 \frac{\text{rollos}}{\text{año}}$$

### 5.1.3 INGRESO ANUAL

$$17000 \frac{\text{rollos}}{\text{año}} \cdot \frac{15 \text{ usd}}{\text{rollos}} = 255000 \frac{\text{usd}}{\text{año}}$$

### 5.1.4 COSTO DE MATERIA PRIMA

$$17000 \frac{\text{rollos}}{\text{año}} \cdot \frac{0.4 \text{ usd}}{\text{rollos}} = 6800 \frac{\text{usd}}{\text{año}}$$

Cabe recalcar que la materia prima proviene del relleno sanitario pero para ingresar a la maquina tiene que realizar un proceso de selección de plástico mediante un proceso de bandas separadoras de residuos sólidos.

Análisis de costos			
Detalle	cantidad al mes	valor unitario (dólares)	valor total anual (dólares)
Consumo de energía	1	3000	36000
Materia prima	1	640	6800
Arriendos	1	200	2400
Transporte materia prima	1	100	1200
Mantenimiento	1	250	3000
Mano de obra	1	1000	12000
Depreciación	1	800	9600
Costos indirectos	1	500	6000
		total	77880

**Tabla 5.1** Análisis de costos.

### 5.1.5 FLUJO DE CAJA:

Se va analizar la viabilidad del proyecto de inversión los flujos de fondos son la base son la base de cálculo del valor actual neto.

Flujo de caja			
Año de Operación	Ingresos usd	Costos	Utilidad bruta usd
0	-16000	0	-16000
1	288000	77880	210120
2	303580,8	82093,308	221487,492
3	320004,521	86534,556	233469,965
4	337316,766	91216,0754	246100,69
5	355565,603	96150,8651	259414,738
6	374801,702	101352,627	273449,075
7	395078,474	106835,804	288242,67
8	416452,22	112615,621	303836,599
9	438982,285	118708,126	320274,159
10	462731,226	125130,236	337600,99
11	487764,986	131899,782	355865,204
12	514153,071	139035,56	375117,512
13	541968,752	146557,383	395411,369
14	571289,262	154486,138	416803,124
15	602196,011	162843,838	439352,173

**Tabla 5.2** Flujo de Caja.

### 5.1.6 TASA DE DESCUENTO<sup>118</sup>

La tasa de descuento empleada en la actualización de los flujos de caja de un proyecto es una variable que más influyen en el resultado de evaluación del mismo.

Descripción	Valor	%	Tasa Ponderarte
Inversión	-16000	100	5%

**Tabla 5.3** Tasa de Descuento.

<sup>118</sup> Fuente: Universidad Técnica del Norte, Tesis Extrusora de plástico autor: Leonel Flores.

**Ecuación (5.1)** Tasa de rendimiento medio.

$$TRM = (1 + TP) \cdot (1 + IF) - 1 \quad (5.1)$$

Dónde:

- *TP*: Tasa Ponderante.
- *IF*: Índice de inflación (5.41%).

$$TRM = (1 + 0.05) \cdot (1 + 0.0541) - 1$$

$$TD = 0.107 = 10.7\%$$

## 5.2 RELACIÓN BENEFICIO COSTO

Se toma los ingresos y egresos presentes netos del estado de resultado, para determinar cuáles son los beneficios por cada peso que se sacrifica en el proyecto.

### DATOS<sup>119</sup>.

**Valor actual neto (V.A.N)** = 4 439 409,7

**Tasa interna de rentabilidad (T.I.R)** = 1193%

**Beneficio/costo** = 3.69

---

<sup>119</sup> Fuente: Universidad Técnica del Norte, Tesis Extrusora de plástico autor: Leonel Flores.

Año de operación	costos totales (usd)	Beneficios totales (usd)	Factor de actualización 10,7%	Costos actualizados (USD)	Beneficios actualizados (USD)	Flujo neto de efectivo actual (USD)
0	0	-16000	1	0	-16000	-16000
1	77880	288000	0,903	70355,15	260173,15	189817,99
2	82093,30	303580,8	0,816	74925,57	277074,55	202148,97
3	86534,55	320004,52	0,737	79710,52	294769,28	215058,75
4	91216,07	337316,76	0,666	84715,83	313278,89	228563,06
5	96150,86	355565,60	0,602	89957,40	332662,20	242704,79
6	101352,6	374801,70	0,543	95463,93	353025,34	257561,41
7	106835,8	395078,47	0,491	101222,97 1	374322,23	273099,26
8	112615,6	416452,22	0,443	107277,52	396711,96	289434,44
9	118708,1	438982,28	0,401	113614,71 6	420146,87	306532,15
10	125130,2	462731,22	0,362	120283,44	444807,79	324524,33
11	131899,7	487764,98	0,327	127284,74	470698,57	343413,836
12	139035,5	514153,07	0,295	134646,90	497923,82	363276,92
13	146557,3	541968,75	0,267	142370,38	526485,24	384114,86
14	154486,1	571289,26	0,241	150502,40	556557,42	406055,02
15	162843,8	602196,01	0,218	159045,34	588149,18	429103,84
<b>total</b>	1733339	6393885,6		1651376,8 7	6090786,57	4439409,7

**Tabla 5.4** Indicadores de rentabilidad financiera<sup>120</sup>.

<sup>120</sup> Fuente: Universidad Técnica del Norte, Tesis Extrusora de plástico autor: Leonel Flores.



## **CAPITULO VI:**

### **CONCLUSIONES RECOMENDACIONES.**

#### **6.1 CONCLUSIONES**

- Al diseñar un molde para una pieza perfiladora para tubería plástica, es importante tomar en consideración que el objetivo es producir tubería con la mejor calidad posible y en un ciclo de inyección tan corto como sea posible, porque se necesita mucha destreza y rapidez del operador para conseguir dar inicio a la conformación de la manguera.
  
- La producción inicial siempre es defectuosa por que el sistema requiere de una estabilización en el flujo de aire, temperatura de trabajo y guiado de la manguera a través del halador hasta conseguir una buena conformación.
  
- La selección de materiales para las placas del molde es importante, puesto que su función es permitir el flujo del plástico fundido con la mayor facilidad posible y proporcionar un mejor acabado superficial, evitando imperfecciones como porosidades y rugosidad en el producto.
  
- Se diseñó y se construyó una tina de enfriamiento que si cumpla con las exigencias de enfriar el producto ya extruido para que solidifique para tener una mejor consistencia y rigidez.
  
- Mediante un halador se pudo comprobar que mediante el cambio de velocidad se puede obtener tubería de mayor espesor.

- El proceso óptimo para la extrusión del HDPE de desecho se obtuvo a una temperatura promedio del 140°C en todo el barril y a una velocidad de rotación de 90 rpm del tornillo consiguiendo un flujo de 113 kg/h.
- El sistema de extrusión está diseñado independientemente del producto terminado, esto quiere decir que se puede obtener diferentes productos únicamente cambiando el perfil de la boquilla.
- El producto final es de buena calidad y cumple con las exigencias del consumidor, ya que permite su correcta colocación en tuberías de agua potable sin presentar rupturas.

## **6.2 RECOMENDACIONES**

- Hay que tomar en cuenta las características del polímero con el cual se piensa trabajar ya que las temperaturas y presiones de trabajo varían según el polímero, más aun si se trabaja con material reciclado.
- Tomar en cuenta las debidas normas de seguridad utilizando el EPP, equipo personal de protección en el caso de las personas que estén vayan a manipular las maquinas.
- Realizar una limpieza del cabezal y molde antes de empezar la producción. una de las formas para limpiar es poner trozos de PVC en la tolva de la máquina para que sea fundida ya que el este plástico es limpio, y es capaz de arrastrar las impurezas internas del molde.

- Verificar siempre que los electrodos del control de nivel de la tina de enfriamiento envíen señal al relé de nivel para que se enciendan los led's.
- Limpiar las bandejas de la torre de enfriamiento de impurezas que se encuentren dentro de estas ya que podrían ocasionar que se tapen los orificios de coladera por estar expuesta a campo abierto.



## CAPITULO VII: BIBLIOGRAFÍA

### 7.1 LIBROS.

- Dr. Andrés Ozols. *Propiedades mecánicas de los materiales. Proceedings of CONAMET – SAM SIMPOSIO MATERIA 2004*, La Serena, 2004; 807- 810.
- Jesús Rodríguez Pérez, *Análisis y desarrollo de metodología para la obtención de propiedades mecánicas de materiales a altas velocidades de deformación y alta temperatura. Universidad Complutense de Madrid. Departamento de ciencias de materiales E.T.S.I. CAMINOS- 1993; 256 – 257.*
- Dr. Barr Harbor 100 *Manual de Normas ASTM International*, USA, West Conshohocken, PA 1898: Norma ASTM\_D 638 , ASTM\_D1044 y ASTM\_D1242.
- Dipl. Ing. Hans Gastrow. *Moldes de inyección para plásticos, 4ª edición alemana completa corregida y ampliada editada por el Dipl. Ing. Edmund Linder y el Dr. Ing. Peter Unger. Impreso en España por JNP. 153 – 268; ISBN para la edición alemana 3-446-15628-3.*
- José Eduardo Morales Mendaz. *Introducción a la ciencia y tecnología de los plásticos*, Edición 1; Editorial TRILLAS, 2010, IBSN 9786071706249.
- Donald Q. Kem. *Procesos de transferencia de calor*, Editorial Cecs. 1ª Edición 1975, 981.
- Smith, Van Ness, Abbott- *Introducción a la termodinámica en ingeniería química*, Editorial Mc GrawHill 5ta Edición , 1997. 457 – 578, ISBN 9701013336.
- Ing. Angel Escobar Hernandez, *Ciencias básicas de la Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana de Cordova*, Editorial Iztapalapa, 2da Edición, 1985,
- Guiller R. *Estudio Termotecnico de Torres de Enfriamiento Autoventiladas Tesis de Maestrado*, Universidad de Oriente Cuba, 1995.
- Leonel Flores. *Extrusora de Plástico Reciclado. Tesis de Ingeniería*, Universidad Técnica del Norte- Ecuador. 2013.

- V.K. Savgorodny *Transformación de plástico*. Traducción de Ing. Luis Uralde. Barcelona Editorial Gustavo Gili, S.A. 1973. 26- 444. ISBN 84-252-0746-0
- Libro Douglas M. Bryce. *Plastics Infection Moldong, Manufacturing `process Fundamentals*, SME. Dearborn 1996.
- Ramon Anguita Delgado. *Moldeo por Inyección*, Editorial Blume 1975.

## 7.2 PAGINAS WEB.

- VALLS, José María [http](http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/8259-Transformacion-de-materiales-termoestables-usos-y-aplicaciones.html), Transformación de materiales termoestables: usos y aplicaciones, Disponible en <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/8259-Transformacion-de-materiales-termoestables-usos-y-aplicaciones.html>. Consultado el 05 de mayo de 2013.
- Wikipedia, Variador de frecuencia. Disponible en [http://es.wikipedia.org/wiki/Variador\\_de\\_frecuencia#p-search](http://es.wikipedia.org/wiki/Variador_de_frecuencia#p-search). Consultado el 22 de mayo de 2013.
- sistema de alimentación a inyección, el molde. Disponible en: [www.eis.uva.es/~macromol/curso07-08/inyeccion/el\\_molde.html](http://www.eis.uva.es/~macromol/curso07-08/inyeccion/el_molde.html) Consultado el 30 de mayo de 2013.
- [www.utp.edu.co/public17/fundipresion.html](http://www.utp.edu.co/public17/fundipresion.html). Consultado el 01 de Junio 2013
- [www.aprendizaje.com.mx/Curso/Proceso1/Temario1](http://www.aprendizaje.com.mx/Curso/Proceso1/Temario1). Consultado el 01 de Junio 2013
- [www.geocities.com/usmindustrial/Fundicon.htm](http://www.geocities.com/usmindustrial/Fundicon.htm) Consultado el 01 de Junio 2013
- [Adrianmoraleslopez.blogspot.com/2010/04/modulo-1-actividad-4.html](http://Adrianmoraleslopez.blogspot.com/2010/04/modulo-1-actividad-4.html) Consultado el 01 de Junio 2013
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Diagrama\\_variador\\_de\\_frecuencia.JPG](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Diagrama_variador_de_frecuencia.JPG) Consultado el 05 de Junio 2013
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:VFD\\_System.png](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:VFD_System.png) Consultado el 07 de Junio 2013
- [mecanicas.html](http://mecanicas.html). Consultado el 11 de Junio 2013
- <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/extrusion-de-materiales-plasticos.html>. Consultado el 12 de Junio 2013
- <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/propiedades>- Consultado el 15 de Junio 2013

## CAPITULOS VIII:

### ANEXOS

#### A1. FOTOS DE PROCESO DE INSTALACIÓN Y CONSTRUCCIÓN

##### CONSTRUCCIÓN DEL MOLDE

Nº	IMÁGENES	PROCESO	HERRAMIENTA	MAQUINARIA	MATERIAL	HORAS
1		Torneado	Torno	Torno	Acero A36	7
2		Torneado	Torno	Torno	Acero A36	8

3		Torneado	Torno	Torno	Acero A36	12
4		Torneado	Torno	Torno	Acero A36	10

5		Torneado	Torno	Torno	Acero A36	10
6		Pruebas de roscado			Acero A36	20 minutos
7		Pruebas de roscado			Acero A36	20 minutos

8		Pruebas de roscado			Acero A36	20 minutos
9		Imagen totalizada del molde			Acero A36	

**CONSTRUCCIÓN TINA DE ENFRIAMIENTO**

Nº	IMÁGENES	PROCESO	HERRAMIENTA	MAQUINARIA	MATERIAL	HORAS
1		Doblado	Dobladora	Dobladora	Acero Inoxidable	1 mes
2		Doblado	Dobladora	Dobladora	Acero Inoxidable	1 mes
3		Doblado	Dobladora	Dobladora	Acero Inoxidable	1 mes

4		Estructura	Soldadura	Suelda	Acero A36	3 semanas
5		Estructura	Soldadura	Suelda	Acero A36	3 semanas

## CONSTRUCCIÓN TORRE DE ENFRIAMIENTO

Nº	IMÁGENES	PROCESO	HERRAMIENTA	MAQUINARIA	MATERIAL	HORAS
1		Estructura	Soldadura	Suelda	Acero A36	3 Semanas
2		Bandeja	Soldadura	Suelda	Acero Inoxidables	3 Semanas
3		Estructura Bandejas	Soldadura	Suelda	Acero A36 Acero Inoxidables	3 Semanas

4		Estructura	Soldadura	Suelda	Acero A36	3 Semanas
5		Estructura	Soldadura	Suelda	Acero A36	3 Semanas
6		Estructuras Bandejas	Soldadura	Sueldas	Acero A36 Acero inoxidable	3 Semanas

7



Estructuras  
Bandejas

Soldadura

Sueldas

Acero A 36  
Acero  
Inoxidable

3  
Semanas

## **A2. PLANOS ELECTRICOS**

Se han desarrollado planos eléctricos según la necesidad de las máquinas y que sirva de guía para las futuras generaciones.

### **A3. PLANOS MECANICOS**

#### **A4. PLANOS DE OBRA CIVIL**

Realizados por el GOBIERNO AUTÓNOMO DESENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTON OTAVALO. Bajo asesoría del autor.