



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN**

**Análisis de Riesgos Normativo (NOM-004-STPS-1999) para una Extrusora de Tornillo único utilizada en una síntesis o proceso de Polímeros**

**TESIS**

Que para obtener el título de

**Ingeniero Químico**

**PRESENTA**

Citlalli Lakshmi Luis Hurry



**UNAM  
CUAUTITLÁN**

**ASESOR**

M. En S.H.O. Luis Manuel Flores Larios

**Cuatitlán Izcalli, Estado de México 2017**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Dedicatoria

A Dios

A mis padres Javier y Luxmi por el amor, sacrificio, dedicación y entrega incondicional para hacer de mí una persona de bien, e incentivar el amor al estudio. A mis hermanos Melissa, Carolina, Abigail, Elisabet y David por su apoyo continuo y recordatorio día a día de cuán importante es tener un hermano. A mi esposo Samuel por su amor, paciencia e incondicional apoyo. A mis Maestros por su abnegado trabajo, paciencia y dedicación, a sus enseñanzas que tanto me han servido en la vida laboral.

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

# INDICE

<b>OBJETIVO DEL TRABAJO</b>	6
Objetivos particulares	6
<b>METODOLOGÍA EMPLEADA</b>	6
<b>INTRODUCCION</b>	7
<b>MÁQUINA</b>	10
Concepto	10
<b>MÁQUINARIA</b>	10
Elementos componentes de una máquina	10
<i>Componentes de seguridad</i>	11
<b>CLASIFICACIONES DE MÁQUINAS</b>	12
<b>Maquinaria doméstica</b>	13
<b>Maquinaria Industrial</b>	13
<i>Máquinas tipo eléctrico</i>	14
<i>Máquinas tipo hidráulico</i>	14
<i>Máquinas tipo térmico</i>	14
<b>MÁQUINA ELÉCTRICA</b>	15
<b>Características y funcionalidad</b>	15
<i>Características nominales</i>	15
<b>Clasificaciones</b>	15
<i>Clasificación por usos</i>	15
<i>Clasificación por tipo de corriente y por su funcionamiento</i>	16
<i>Clasificación por nivel de potencia:</i>	18
<i>Clasificación por frecuencia de giro (velocidad):</i>	18
<i>Clasificación por el servicio:</i>	18
<b>MÁQUINARIA PARA PROCESOS QUÍMICOS</b>	19
<b>Reactores para polimerización</b>	19
<i>Reactor de Tornillo</i>	19
<i>Reactor Extrusor</i>	20
<i>Reactor de Tanque Agitado:</i>	21
<i>Reactor de Lecho Fijo:</i>	21
<i>Autoclave:</i>	23
<i>Reactor de esferas:</i>	23
<i>Reactor "Riser":</i>	23
<i>Reactor de Lecho Fluidizado:</i>	24
<b>REACTOR DE TORNILLO EXTRUSOR</b>	28
<b>EXTRUSIÓN</b>	29
<b>Proceso de extrusión</b>	29
<i>1. Unidad de transmisión de fuerza:</i>	30
<i>2. Zona de alimentación</i>	30
<i>3. Zona de dosificación:</i>	30
<i>4. Sistema de ventilación:</i>	31
<i>5. Unidad de control:</i>	32
<b>Métodos de extrusión</b>	32
<i>Extrusión húmeda</i>	32
<i>Extrusión seca</i>	32
<i>Hilatura</i>	33
<b>GENERALIDADES DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA</b>	34
<b>Zonas de presión de la extrusora</b>	35
<b>Tipos de extrusoras</b>	35
<i>Extrusoras de tornillo</i>	37

<b>NORMALIZACIÓN</b>	38
<i>Mantenimiento preventivo</i>	39
<i>Mantenimiento correctivo</i>	39
<i>Riesgo potencial</i>	39
<i>Fiabilidad</i>	39
<i>Seguridad de una máquina</i>	39
<i>Peligro</i>	39
<i>Situación peligrosa</i>	39
<i>Riesgo</i>	39
<i>Función peligrosa de una máquina</i>	40
<i>Zona peligrosa</i>	40
<i>Operador</i>	40
<i>Funciones de seguridad</i>	40
<i>Seguridad positiva</i>	40
<b>PELIGROS GENERADOS POR LAS MÁQUINAS</b>	40
<b>Peligros mecánicos</b>	41
<i>Peligros generados por movimientos de rotación</i>	41
<b>Puntos de atrapamiento</b>	42
<i>Peligros generados por movimientos alternativos y de traslación</i>	43
<b>Piezas con movimiento alternativo o de traslación y partes fijas</b>	43
<b>Movimientos de traslación simple</b>	44
<i>Peligros generados por movimientos de rotación y traslación</i>	45
<i>Peligros generados por movimientos de oscilación</i>	45
<i>Otros peligros mecánicos originados por las máquinas</i>	46
<i>Peligros mecánicos en la industria</i>	46
<b>Peligros eléctricos</b>	47
<i>Factores que intervienen en el riesgo eléctrico</i>	48
<i>Intensidad de la corriente que pasa por el cuerpo humano</i>	48
<i>Efectos de la corriente eléctrica sobre el organismo</i>	48
<i>Tipos de contactos eléctricos</i>	49
<b>Peligros térmicos</b>	49
<i>Reacción del cuerpo humano a las bajas temperaturas</i>	50
<i>Reacción del cuerpo humano a las altas temperaturas</i>	50
<i>Por contacto térmico</i>	50
<b>Peligros producidos por el ruido</b>	51
<i>Efectos del ruido sobre el organismo</i>	51
<i>Tipos de ruidos</i>	53
<b>Peligros producidos por las vibraciones</b>	53
<i>Efectos de las vibraciones sobre el organismo</i>	54
<b>Peligros producidos por las radiaciones</b>	55
<i>Tipos de radiaciones</i>	56
<b>Peligros producidos por materiales y sustancias</b>	58
<i>Productos químicos peligrosos</i>	59
<b>Peligros producidos por no respetar los principios ergonómicos en el diseño de máquinas</b>	60
<i>Ergonomía geométrica:</i>	60
<i>Ergonomía ambiental:</i>	62
<b>ANÁLISIS DE RIESGOS</b>	66
<b>PROBABILIDAD Y SEVERIDAD</b>	66
<b>ZONAS DE UNA EXTRUSORA DE TORNILLO ÚNICO</b>	66
<b>PELIGROS POR ZONA</b>	68
<b>ZONA I "Puntos de Operación"</b>	69
<i>Punto de Operación: ALIMENTACION</i>	69
<b>Análisis de riesgos: Tolva de alimentación asistida por un Tornillo de Crammer</b>	71
<b>Análisis de riesgos: Garganta de alimentación</b>	73
<i>Punto de Operación: ACTIVACION</i>	74
<b>Análisis de riesgos: Tablero de mando</b>	77

<i>Entorno (de Zona I):</i>	77
<b>Análisis de riesgos: Entorno (en Zona I)</b>	78
<b>ZONA II "Parte Cinemática"</b>	79
<b>MOTOR y TRANSMISIONES</b>	79
<i>Sistema motriz (motor)</i>	79
<i>Transmisión</i>	80
<i>Variadores de velocidad</i>	80
<i>Sistema y cojinetes de apoyo del empuje del tornillo:</i>	84
<i>Reductor de velocidad</i>	85
<b>Análisis de riesgos: Sistema motriz con transmisión mecánica, eléctrica o hidráulica (suponiendo como única fuente de energía la electricidad)</b>	86
<b>ZONA III "Pieza a trabajar"</b>	88
<i>Pieza a trabajar: TORNILLO</i>	88
<b>Análisis de riesgos: Tornillo</b>	89
<i>Cilindro</i>	91
<b>Análisis de riesgos: Cilindro</b>	92
<i>Sistemas de calefacción</i>	93
<b>Análisis de riesgos: Sistema de calefacción</b>	96
<i>Sistemas de refrigeración</i>	97
<b>Análisis de riesgos: Sistema de refrigeración</b>	99
<b>ZONA IV "Evacuación"</b>	100
<i>Sistema de evacuación</i>	100
<b>Análisis de riesgos: Sistema de Evacuación</b>	105
<b>ZONA V "Entorno"</b>	105
<b>Análisis de riesgos: Entorno de la extrusora</b>	106
<b>MATRIZ DE ANÁLISIS DE RIESGOS</b>	107
<b>Medidas de prevención</b>	108
<b>CONCLUSIONES</b>	110
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	111

## **OBJETIVO DEL TRABAJO**

Cumplimiento del requisito fundamental a través de un análisis de riesgos, solicitado a los patrones por la NOM-004-STPS-1999 (relativa a Sistemas de protección y dispositivos de seguridad en la maquinaria y equipo que se utilice en los centros de trabajo), para una extrusora de tornillo único para síntesis o proceso de polímeros, para minimizar los riesgos presentes en la instalación.

### **Objetivos particulares**

- Realizar un análisis de riesgos, utilizando lo establecido por la NOM-004-STPS-1999, para establecer la severidad de los riesgos encontrados.
- Determinar los riesgos presentes en la operación de una extrusora, como medio para plantear soluciones a los posibles daños al operarla.
- Correlacionar la maquinaria y los riesgos mediante el estudio del funcionamiento de la máquina para establecer su influencia en la severidad de los riesgos.
- Plantear mecanismos específicos que aumenten la seguridad para el sistema al valorar la severidad y probabilidad de los riesgos más agudos para la máxima reducción de los mismos.

## **METODOLOGÍA EMPLEADA**

La obra presentada a continuación ostenta una investigación y documentación en literatura de todos los peligros que se presentan en una máquina en general, para posteriormente ubicar dichos peligros en el uso de una máquina extrusora de tornillo único en procesos de polimerización (síntesis o proceso). El reconocimiento de peligros presentes en la máquina mencionada se realiza a partir de la división por zonas de la misma, y esto seguido de una investigación en literatura del funcionamiento tanto global como por componente de dicha máquina.

El reconocimiento de peligros es llamado análisis de riesgos, mismo que en la obra presentada a continuación se muestra aplicado a una máquina extrusora de tornillo único cubriendo lo solicitado para tal estudio en la normatividad mexicana de seguridad instituida por la Secretaría del Trabajo.

Seguido de esto, a los peligros encontrados en el análisis de riesgos, en base a técnicas de medición de riesgos de literatura y como complemento se esquematiza la probabilidad y

severidad de los mismos de manera que es posible visualizar los peligros a los que debe prestarse mayor atención con medidas preventivas.

## INTRODUCCION

*Ingeniería Química es la profesión en la cual el conocimiento de las matemáticas, la química y otras ciencias básicas, obtenido por el estudio, la experiencia y la práctica, es aplicado con juicio para desarrollar rutas económicas en el uso de los materiales y la energía, para beneficio de la humanidad.*<sup>1</sup>

Las cuestiones de seguridad dentro del ejercicio de la profesión de la Ingeniería Química son un aspecto importante para la elección de la ruta más favorable económicamente para un proceso, ya que como es de saberse, la evasión de daños implica evasión de pérdidas económicas. El ingeniero químico tiene como objeto de estudio la Planta Química, con el propósito de generar productos de forma rentable y competitiva, con el cumplimiento de restricciones de sustentabilidad. Papel que se ejecuta mediante la toma de decisiones en base a diversos factores, en los que se incluye la seguridad dentro de los procesos, misma que es resultado de la observación de los riesgos que puedan presentarse.

Las bases de la Ingeniería Química las conforman las Operaciones Unitarias, que en su propia secuencia y coordinación constituyen un proceso químico, tal como se realiza a escala industrial. Dichas operaciones unitarias son efectuadas por maquinaria y equipo que es controlado de manera indirecta por Ingenieros Químicos, por lo que la posición de un ingeniero químico en la industria conlleva a decisiones en cuestión de seguridad dentro del proceso que únicamente pueden ser tomadas en base a estudios como lo es un análisis de riesgos.

Un *análisis de riesgos* tiene como fin la determinación de los riesgos mecánicos o físicos que existen o puedan existir, así como los actos o acciones de las personas cuyo resultado podría ser un accidente o enfermedad de trabajo.<sup>2</sup>

Por lo tanto, es de gran importancia establecer los procedimientos seguros en lo que respecta al trabajo a realizar. El análisis de riesgos puede proporcionar la información necesaria para eliminar causas de accidentes o riesgos a la salud de las personas que interactúan con la maquinaria y/o equipo, especificar las precauciones, el equipo, las herramientas y los dispositivos o condiciones que

---

<sup>1</sup> Definición de la Constitución del Instituto Americano de Ingenieros Químicos (AIChE), 2003.

<sup>2</sup> Definición con base en libro CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo", 9ª edición, Ed. p. 115

deben proporcionarse para su uso (en caso de ser necesarias), y la base para procedimientos seguros para la operación, como el adiestramiento, instrucciones para el trabajo, y una supervisión eficiente.

La Norma Oficial Mexicana NOM-004-STPS-1999, publicada por la Secretaría del Trabajo en el Diario Oficial de la Federación, relativa a **los sistemas de protección y los dispositivos de seguridad en la maquinaria y equipo que se utilice en los centros de trabajo**, establece una serie de disposiciones con la finalidad de establecer las condiciones mínimas de seguridad en que debe encontrarse la maquinaria, su disposición, la documentación y el control que debe tenerse sobre ella.

El apartado 5 de la presente norma establece las obligaciones del patrón, la principal documentación que esta autoridad solicita a los particulares es:

- Estudio para analizar el riesgo potencial generado por la maquinaria y equipo en la empresa.
- Programa específico de seguridad para la operación y mantenimiento de a la maquinaria y equipo. Junto con su carta de depósito.
- Manual de Primeros Auxilios.

El trabajo presente tiene como fundamento legal el requerimiento solicitado por la Autoridad del Trabajo (Secretaria del Trabajo y Previsión Social) como una obligación para el patrón, y expresado en el punto 5.2 de la Norma Oficial Mexicana de la Secretaria del Trabajo Y Previsión Social que especifica lo siguiente:

***“5.2 Elaborar un estudio para analizar el riesgo potencial generado por la maquinaria y equipo en el que se debe hacer un inventario de todos los factores y condiciones peligrosas que afecten a la salud del trabajador.***

***5.2.1 En la elaboración del estudio de riesgo potencial se debe analizar:***

***a) las partes en movimiento, generación de calor y electricidad estática de la maquinaria y equipo;***

***b) las superficies cortantes, proyección y calentamiento de la materia prima, subproducto y producto terminado;***

***c) el manejo y condiciones de la herramienta.***

***5.2.2 Para todo riesgo que se haya detectado, se debe determinar:***

**a) el tipo de daño;**

**b) la gravedad del daño;**

**c) la probabilidad de ocurrencia.”<sup>3</sup>**

El costo de la prevención es mucho menor que el costo de un daño ya ocurrido.

---

<sup>3</sup> Citado de la Norma Oficial Mexicana NOM-004-STPS-1999 “Sistemas de protección y los dispositivos de seguridad en la maquinaria y equipo que se utilice en los centros de trabajo”, de la Secretaría de Trabajo.

# MÁQUINA

Primeramente debe entenderse el concepto de máquina, así como las clasificaciones existentes para las diversas máquinas.

## Concepto

Conjunto de piezas u órganos unidos entre ellos, de los cuales uno por lo menos habrá de ser móvil y, en su caso, de órganos de accionamiento, circuitos de mando y de potencia, etc. Asociados de forma solidaria para una aplicación determinada, en particular para la transformación, tratamiento, desplazamiento y acondicionamiento de un material. <sup>4</sup>

## MÁQUINARIA

Maquinaria es el conjunto de mecanismos y elementos combinados destinados a recibir una forma de energía, para transformarla en una función determinada.<sup>5</sup> Es decir, es el conjunto de varias máquinas que realizan trabajos para un mismo fin. Claros ejemplos de esto son las maquinarias agrícolas, maquinarias de construcción y maquinaria textil, entre otras.

Una máquina es un conjunto de elementos móviles y fijos cuyo funcionamiento posibilita aprovechar, dirigir, regular o transformar energía o realizar un trabajo con un fin determinado, es el conjunto de máquinas que se aplican para un mismo fin y al mecanismo que da movimiento a un dispositivo. La maquinaria es considerada como un elemento de gran productividad, con la habilidad innata de aumentar el nivel del grupo de trabajadores. <sup>6</sup>

## Elementos componentes de una máquina

Los elementos que componen una máquina en general son:

- Motor. Mecanismo que transforma una fuente de energía en trabajo requerido.

---

<sup>4</sup> Definición tomada del libro CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo", 9ª edición, Ed. p. 220

<sup>5</sup> Definición con base en lo definido en la Norma Oficial Mexicana NOM-004-STPS-1999 "Sistemas de protección y los dispositivos de seguridad en la maquinaria y equipo que se utilice en los centros de trabajo", de la Secretaría de Trabajo.

<sup>6</sup> Definición con base en lo definido en GALÁN ORTÍZ L. "MF1112\_1: Operaciones auxiliares de mantenimiento de instalaciones, equipos y herramientas de floristería" 1ª edición, Ed. ic Sección 3.1

- Mecanismo. Conjunto de elementos mecánicos, de los que alguno será móvil, destinado a transformar la energía proporcionada por el motor en el efecto útil buscado.
- Bastidor. Estructura rígida que soporta el motor y el mecanismo, garantizando el enlace entre todos los elementos.<sup>7</sup>

Cabe señalar que los motores también son máquinas, en este caso destinadas a transformar la energía original (eléctrica, química, potencial, cinética) en energía mecánica en forma de rotación de un eje o movimiento alternativo de un pistón. Aquellas máquinas que realizan la transformación inversa, cuando es posible, se denominan máquinas generadoras o generadores y aunque pueda pensarse que se circunscriben a los generadores de energía eléctrica, también deben incluirse en esta categoría otros tipos de máquinas como bombas o compresores.

Evidentemente, en ambos casos se habla de una máquina cuando se tienen elementos móviles, de modo que quedan excluidas, por ejemplo, pilas y baterías.

El movimiento mecánico implicado en el funcionamiento de una máquina así como su origen en la transformación de energía siempre envolverán peligros de distintas categorías. Se denomina peligro mecánico al conjunto de factores físicos que pueden dar lugar a una lesión por la acción mecánica de elementos de máquinas, herramientas, piezas a trabajar o materiales proyectados, sólidos o fluidos.

### Componentes de seguridad

Son aquellos que, sin contribuir al trabajo de la máquina están destinados a proteger a las personas que trabajan con ella.

Las protecciones deben formar parte integrante de cualquier máquina en su etapa de diseño, teniendo en cuenta todos los factores ergonómicos o de cualquier otra índole relacionados con la misma consiguiendo una máquina tan segura como sea posible. La seguridad en máquinas nunca se puede confiar solamente a las prácticas de trabajo seguro aunque estas sean esenciales. Donde exista riesgo los sistemas de protección son el único medio para evitar las lesiones. La aplicación de los correspondientes medios de protección junto con la supervisión, coordinación, adiestramiento

---

<sup>7</sup> Tomados de GALÁN ORTÍZ L. "MF1112\_1: Operaciones auxiliares de mantenimiento de instalaciones, equipos y herramientas de floristería" 1ª edición, Ed.ic Sección 3.1

y constante atención del operario, son los condicionantes para una seguridad óptima en la utilización de máquinas y/o equipos.

## CLASIFICACIONES DE MÁQUINAS

Pueden realizarse diferentes clasificaciones de los tipos de máquinas dependiendo del aspecto bajo el cual se les considere. Atendiendo a los componentes anteriormente descritos (motor, mecanismo y bastidor) se suelen realizar las siguientes clasificaciones:

<b>Motor o fuente de energía</b>	<b>Mecanismo o movimiento principal</b>	<b>Tipo de bastidor</b>
Máquinas manuales o de sangre Máquinas eléctricas. Máquinas hidráulicas. Máquinas térmicas.	Máquinas rotativas. Máquinas alternativas. Máquinas de reacción.	Bastidor fijo. Bastidor móvil.

Tabla 1.1 *Clasificaciones de máquinas*

Dichas clasificaciones no son excluyentes, sino complementarias, de modo que para definir un cierto tipo de máquina será necesario hacer referencia a los tres aspectos.

Otra posible clasificación de las máquinas es su utilidad o empleo, así pueden considerarse las taladradoras, elevadores, compresores, embaladoras, exprimidores, etc. La lista es muy extensa, pues siempre se ha perseguido el diseño y la construcción de ingenios para conseguir con ellos, trabajos que no puede realizar el humano empleando su propia fuerza y habilidad o para realizar esos trabajos con mayor comodidad.<sup>8</sup>

También se pueden clasificar por el tipo de flujo que procesan: máquinas que procesan energía, máquinas que procesan materiales, máquinas que procesan información.

Y de igual forma, las máquinas se pueden dividir en varios tipos, como agrícolas, industriales, domésticas, etc. Haciendo mención a máquinas que pueden realizar cualquier tipo de acción, desde construir una casa hasta preparar un café. Sin embargo también se trata de una clasificación no obligatoria.

---

<sup>8</sup> GALINDO Montiel Eduardo "Roboteando Robótica para todos" Ed. Smartcubo Latam 2011, Mexico DF pp 131

### **Maquinaria doméstica**

También denominada maquinaria liviana ya que su objetivo es realizar trabajos livianos tales como arreglar una mesa, encerar un piso, cortar el pasto del jardín, etc. Este tipo de maquinaria es la que se utiliza generalmente para realizar algún trabajo casero.

Dentro de esta clasificación igualmente se encuentran las máquinas electrónicas de entretenimiento o recreación, y los electrodomésticos.

### **Maquinaria Industrial**

Son las máquinas utilizadas únicamente para procesos de fabricación y manufactureros, ejemplos de esta clasificación son máquinas agrícolas (como cosechadoras, sembradoras, fumigadoras, etc. y relacionadas con la conversión de materia prima como la máquina para hacer alimentos de soya, o comestibles de trigo). Otras de las maquinarias industriales se dan en el campo automotriz, químico, de telecomunicaciones, etc.

Las máquinas industriales hacen referencia a una diversidad inabordable de maquinarias, ya que, cada uno de los múltiples rubros de la industria cuenta con sus propios tipos de máquinas y herramientas.<sup>9</sup>

Sin embargo, se hallan dos clasificaciones generales que es posible aplicar sin importar el rubro industrial para el que funcionan las máquinas.

-La primera: maquinaria pesada (encargada de llevar a cabo procesos de construcción más complejos y pesados) y liviana (encargada de realizar actividades pequeñas tales como remachar, soldar, agujerear, etc.).

-Y la segunda clasificación y más importante (regresando a la clasificación inicial mencionada en la Tabla 1.1 aplicable a todo tipo de máquinas) es aquella que es definida por la fuente de energía que utiliza la máquina para su funcionamiento: máquinas eléctricas, térmicas e hidráulicas. Esta clasificación será la utilizada en este trabajo para explicar el funcionamiento de la extrusora en estudio.

---

<sup>9</sup> Jiménez M. (2012, diciembre) Maquinarias domésticas e industriales. *Arqhys Arquitectura, decoración y hogar*. Recuperado de <http://www.arqhys.com/construcciones/maquinarias-domesticas-industriales.html>.

### Máquinas tipo eléctrico

Una máquina eléctrica es un artefacto que puede convertir bien sea energía eléctrica en energía mecánica o bien en energía mecánica en energía eléctrica.<sup>10</sup>

A su vez, es posible dividir las máquinas eléctricas en tres grandes grupos: generadores, motores y transformadores.

Los **generadores** transforman energía mecánica en eléctrica, mientras que los motores transforman la energía eléctrica en mecánica haciendo girar un eje. Los **transformadores** y **convertidores** conservan la energía pero transforman sus características.

Una máquina eléctrica está conformada por campos magnéticos y campos eléctricos. Desde una visión mecánica, las máquinas eléctricas se pueden dividir en rotativas y estáticas. Las máquinas **rotativas** están provistas de partes giratorias, como dinamos, alternadores y motores. En las máquinas rotativas hay una parte fija llamada estator y una parte móvil llamada rotor. Normalmente el rotor gira en el interior del estator. Los motores y generadores eléctricos son el ejemplo más simple de una máquina rotativa. Las máquinas **estáticas** no disponen de partes móviles, como los transformadores.<sup>11</sup>

### Máquinas tipo hidráulico

Son máquinas que intercambian energía con el fluido que esta contenido o que circula a través de ellas. El fluido interno es un líquido sin cambio de fase, o un gas en el que las diferencias de presión y los efectos térmicos son despreciables.

### Máquinas tipo térmico

Son máquinas que por el contrario a las máquinas hidráulicas, el fluido sufre modificaciones importantes de temperatura, el líquido interno cambia de fase o el gas sufre cambios importantes de presión o temperatura (y por lo tanto de densidad).<sup>12</sup>

---

<sup>10</sup> CHAPMAN Stephen J., "Máquinas Eléctricas" 2ª edición, Ed. McGraw-Hill, México 1993

<sup>11</sup> CORTES Cherta Manuel "Curso moderno de máquinas eléctricas rotativas" Tomo I La máquina eléctrica en general Ed. Reverte 2006, España pp 2, 18

<sup>12</sup> VIEDMA Robles Antonio "Teoría de máquinas hidráulicas" Universidad de Murcia 1997, España pp.1-1, 1-2

## MÁQUINA ELÉCTRICA

### Características y funcionalidad

#### Características nominales

Comúnmente cada máquina tiene una placa adherida a su carcasa. En esta placa se indican el tipo, sus características con sus índices energéticos y sus condiciones de funcionamiento para los cuales ha sido diseñado.

Son datos nominales o características: La potencia, tensión, corriente, velocidad, frecuencia de corriente alterna, rendimiento (performance), número de fases, factor de potencia y régimen de funcionamiento (para carga permanente, carga tipo sierra, carga de emergencia). Además, en la placa figura: Nombre del fabricante, año de fabricación, clase de aislamiento, también datos complementarios necesarios para la instalación y mantenimiento.<sup>13</sup>

La **potencia** nominal de un transformador siempre se refiere a la potencia aparente. Por definición, potencia nominal de un transformador monofásico es el producto de su tensión nominal primaria por la corriente nominal correspondiente. Es decir, es la energía desarrollada por unidad de tiempo. Un motor absorbe energía eléctrica y suministra energía mecánica. La potencia que da una máquina depende de la resistencia mecánica de los mecanismos que mueve.<sup>14</sup>

El **rendimiento** se define como la relación entre la potencia útil y la potencia absorbida, expresado en %

$$\eta = \frac{P_u}{P_{ab}} * 100 \quad ^{15}$$

### Clasificaciones

#### Clasificación por usos

Las máquinas eléctricas de acuerdo a sus usos se dividen en:

Los **generadores** transforman la energía mecánica en eléctrica. Se instalan en las centrales eléctricas y en los diferentes equipos de transporte como autos, aviones, barcos, etc. En las

---

<sup>13</sup> WILDI Theodore "Máquinas eléctricas y sistemas de potencia" 6ª Ed. Pearson Educación, México, 2007, pp. 84

<sup>14</sup> RAS O. Enrique "Transformadores de potencia de medida y de protección" Ed. Marcombo Boixare 1994, 7ª edición, España pp 17

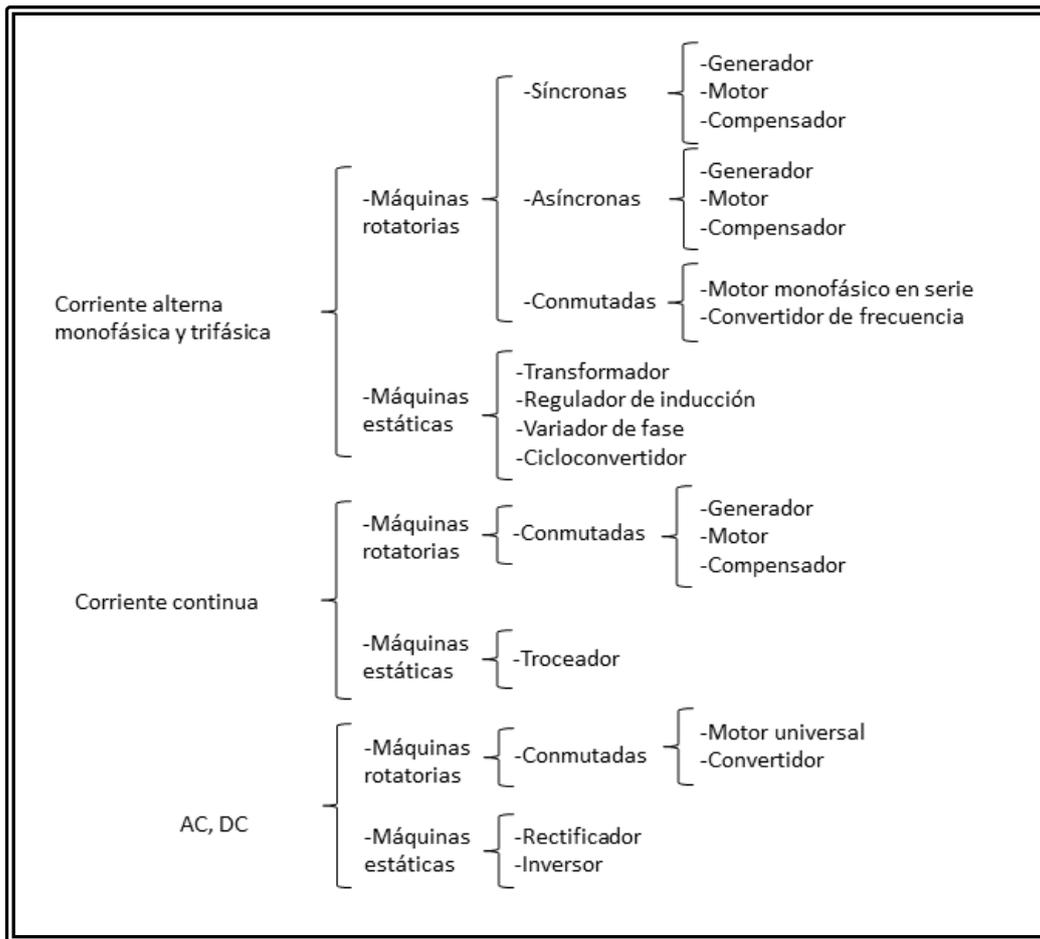
<sup>15</sup> CORTES Cherta Manuel "Curso moderno de máquinas eléctricas rotativas" Tomo I La máquina eléctrica en general Ed. Reverte 2006, España pp 194

centrales eléctricas los generadores son accionados mecánicamente mediante turbinas que pueden ser a vapor o hidráulicas; en los equipos de transporte mediante motores de combustión interna o turbinas a vapor. En una serie de casos los generadores se usan como fuente de energía para equipos de comunicaciones, dispositivos automáticos, de medición, etc. Los **motores** son equipos eléctricos que transforman la energía eléctrica en energía mecánica; sirven para accionar diferentes máquinas, mecanismos y dispositivos que son usados en la industria, agricultura, comunicaciones, y en los artefactos electrodomésticos. En los sistemas modernos de control los motores se usan en calidad de dispositivos gobernadores, de control, como reguladores y/o programables. Los **convertidores electromecánicos** transforman la corriente alterna en corriente continua y viceversa, variando la magnitud de tensión (V), tanto de corriente alterna como de corriente continua, frecuencia (f), número de fases y otros. En las últimas décadas ha disminuido su demanda debido al uso de los convertidores semiconductores (dispositivos electrónicos de potencia). Los **compensadores electromecánicos** generan o absorben potencia reactiva (Q) en los sistemas eléctricos de potencia para mejorar los índices energéticos (el factor de potencia  $\varphi$ , niveles de tensión) en las interconexiones y los centros de carga.

Los **amplificadores electromecánicos** se usan para el control de equipos de gran potencia, mediante señales eléctricas de pequeña potencia, que son transmitidos a los devanados de excitación (control). Su uso también ha disminuido. Los **convertidores electromecánicos de señales** generan, transforman y amplifican diferentes señales. Se diseñan y proyectan en forma de micro motores y lo usan ampliamente diferentes equipos de control.

#### Clasificación por tipo de corriente y por su funcionamiento

Por el tipo de corriente, las máquinas se dividen en máquinas de corriente alterna y de corriente continua. Mientras que por su funcionamiento y de su sistema magnético (núcleo) las máquinas se dividen en transformadores, máquinas de inducción, máquinas síncronas y máquinas colectoras.



Cuadro 1.2 Clasificación por tipo de corriente y por su funcionamiento

Los **transformadores** se usan ampliamente para la variación de tensión en los sistemas de transmisión y distribución, también es su utilización en rectificadores de corriente automática y electrónica. La **máquina de inducción** se usa como motor trifásico, habiendo también monofásicos. En los sistemas de regulación automática (SRA) se usan ampliamente motores de control mono y bifásico, tacogeneradores así también como selsynes. Las **máquinas síncronas** se usan como generadores de corriente alterna de frecuencia industrial (50 o 60 Hz) en las centrales eléctricas y también como generadores de alta frecuencia (en los barcos, aviones, etc.). En los sistemas de mando eléctrico de gran potencia se usan motores síncronos. En los dispositivos automáticos se usan máquinas síncronas de histéresis, con imanes permanentes, de paso y otros. Las **máquinas colectoras** se usan muy rara vez y sólo como motores ya que tienen un diseño complejo y exigen muy buen mantenimiento. Las **máquinas de corriente continua** se usan como generadores y motores en los sistemas de mando eléctrico que requieran flexibilidad en la regulación de velocidad como en ferrocarriles, transporte marítimo, laminadores y grúas; también en casos cuando la fuente de energía eléctrica son baterías acumuladoras. Los generadores de corriente continua frecuentemente se usan para el suministro de energía a dispositivos de comunicaciones, transporte (aviones, trenes, buques) y para cargar baterías. Sin embargo ahora son reemplazados por

generadores de corriente alterna, que funcionan conjuntamente con rectificadores en estado sólido (semiconductores).

#### Clasificación por nivel de potencia:

En función de la potencia que absorben o generan las máquinas, se dividen en micro máquinas, motores de pequeña, media y gran potencia. Se encuentran las **micro máquinas**, cuya potencia varía de décimas de watt hasta 500 w. Estas máquinas trabajan tanto con corriente alterna como con corriente continua, así como a altas frecuencias (400 - 200 Hz). Las de **pequeña potencia** (0.5 - 10 kW), funcionan tanto con corriente alterna como con corriente continua y, en frecuencia normal (50 - 60 Hz o más). Las de **potencia media**: (10 kW) hasta varios cientos de kW. Las de **gran potencia** (mayor de 100 kW), por lo general las máquinas de media y gran potencia funcionan a frecuencia industrial.

#### Clasificación por frecuencia de giro (velocidad):

Se dividen en de baja velocidad (con velocidad menor de 300 r.p.m.) de velocidad media (300 - 1500 r.p.m.), de altas velocidades (1500 - 6000 r.p.m.) y de extra altas velocidades (mayor de 6000 r.p.m.).

Las micro máquinas se diseñan para velocidades de algunos r.p.m. hasta 6000 r.p.m.

#### Clasificación por el servicio:

Es importante conocer la clase de servicio a la que estará sometida una máquina. Pueden ser de **servicio continuo**, máquinas con una carga constante durante un tiempo suficientemente largo como para que la temperatura llegue a estabilizarse, de **servicio continuo variable** que se da en máquinas que trabajan constantemente pero en las que el régimen de carga varía de un momento a otro, de **servicio intermitente** en máquinas en las que los tiempos de trabajo están separados por tiempos de reposo. Factor de marcha es la relación entre el tiempo de trabajo y la duración total del ciclo de trabajo y de **servicio unihorario** en el que la máquina está una hora en marcha a un régimen constante superior al continuo, pero no llega a alcanzar la temperatura que ponga en peligro los materiales aislantes y la temperatura no llega a estabilizarse.<sup>16</sup>

---

<sup>16</sup> Tiravanti E. (2015 agosto) Eficacia Magazine energético enfocado en el ahorro de energía. *Maquinas eléctricas*. Recuperado de <http://www.stilarenergy.com/magazine/>

## MÁQUINARIA PARA PROCESOS QUÍMICOS

Dentro de la industria química, así como dentro de cualquier otro tipo de industria es muy común el uso de máquinas eléctricas que pongan en riesgo a sus usuarios, máquinas que para realizar sus funciones la energía eléctrica es vital y sus mecanismos básicos parten de los que se analizaron anteriormente, puede mencionarse:

Caldereras	Lavadores de gases
Atomizadores	Ciclones
Reactores	Cámaras calentadoras de bidones
Mezcladores	Filtros recuperadores de energía
Cristalizadores	Máquinas rompesacos
Diluidores	Válvulas rotativas
Depósitos y silos de almacenamiento	Desaireadores
Autoclaves	Fondos vibrantes
Enfriadores	Molinos
Concentradores	Secaderos de lecho fluido
Deflagmadores	Secaderos de trommel rotativo
Colectores	Máquinas de fresado
Decantadores	Maquinaria de envasado
Evaporadores	Elevadores mecánicos
Tamizadoras	Polipastos eléctricos
Clasificadores	Poleas
Columnas de rectificación	Muelles de carga
Intercambiadores de calor	Cintas transportadoras
Condensadores	Transportes Neumáticos
Agitadores	Básculas
Estufas secadoras	Indicadores y detectores de nivel
Tolvas	

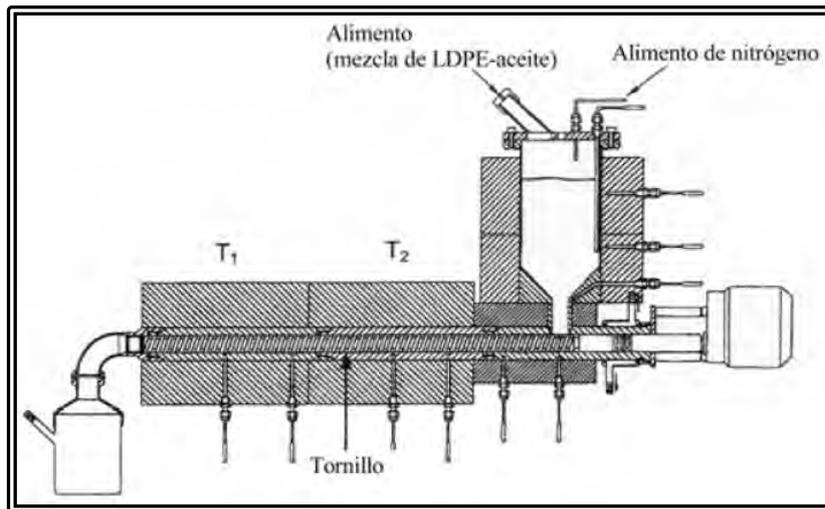
Siendo estas menciones una fracción de una extensa lista de máquinas y combinaciones de ellas utilizadas para los procesos químicos, dentro de dicha lista se incluye el equipo de extrusión en estudio.

### Reactores para polimerización

En bibliografía se pueden destacar de entre los reactores más utilizados, los siguientes:

#### Reactor de Tornillo

Consiste en un tornillo sobre el que se deposita la muestra, rodeado de un horno calefactor. Mediante el movimiento giratorio del tornillo, la muestra a degradar va circulando a lo largo de las zonas calientes del horno donde se produce el craqueo del material. Este reactor ha sido utilizado para la degradación de LDPE, o mezclas de LDPE y aceite lubricante. Este tipo de sistema permite trabajar de forma continua, así como evaluar el efecto del tiempo de residencia en el reactor sobre los productos generados únicamente modificando la velocidad de giro del tornillo.

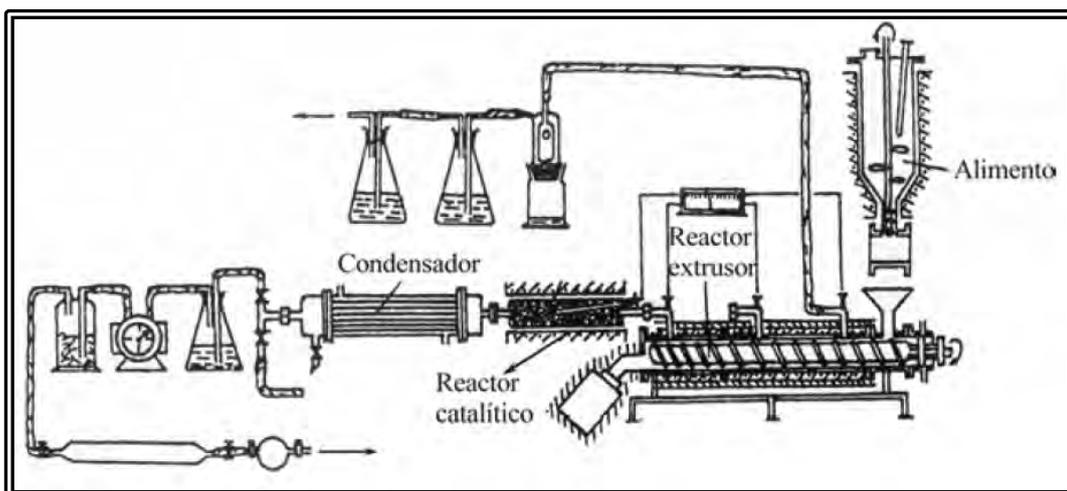


**Imagen 1.3 Diagrama esquemático de un Reactor de Tornillo**

Imagen de: HERNÁNDEZ F. Ma. Del Remedio "Evaluación de la pirolisis térmica y catalítica de polietileno en lecho fluidizado como técnica de reciclado: Influencia de las variables sobre los productos generados. Tesis Doctoral. Universidad de Alicante, España 2007, pp. 81

### Reactor Extrusor

Este reactor tiene un fundamento similar, estando constituido por un sistema de giro rodeado por un horno que calienta dicho sistema. El material fundido es introducido en el reactor extrusor donde se produce una primera descomposición del material original. Los productos generados de este modo pueden ser conducidos a un segundo reactor para continuar la descomposición térmica o catalítica del material introducido en el sistema. Este reactor ha sido utilizado por Vasile para la degradación de una mezcla de zeolita resultante de la modificación de HZSM-5 con ácido orto fosfórico (PZSM-5) sobre los productos de descomposición obtenidos.



**Imagen 1.4 Diagrama esquemático de un Reactor Extrusor**

Imagen de: HERNÁNDEZ F. Ma. Del Remedio "Evaluación de la pirolisis térmica y catalítica de polietileno en lecho fluidizado como técnica de reciclado: Influencia de las variables sobre los productos generados. Tesis Doctoral. Universidad de Alicante, España 2007, pp. 82

### Reactor de Tanque Agitado:

Este reactor está provisto de un sistema de agitación en el interior cuyo objetivo es conseguir un craqueo uniforme del material introducido. Van Grieken utilizaron este tipo de reactor para la degradación térmica de polietileno de alta y baja densidad. Sus resultados mostraron que empleando LDPE y temperaturas de calefacción comprendidas entre 360 y 420°C se obtenía un producto blanco solido (ceras) que presentaba un alto contenido de olefinas. Por su parte, la degradación de HDPE requirió temperaturas más elevadas para la generación de dichas ceras debido a la menor reactividad de este polímero. Una modificación de este tipo de reactor fue utilizada por Murata, quien produjo presión en el proceso de degradación térmica del polietileno, observando un descenso en la velocidad de descomposición del polímero cuando la presión utilizada en el proceso era elevada.

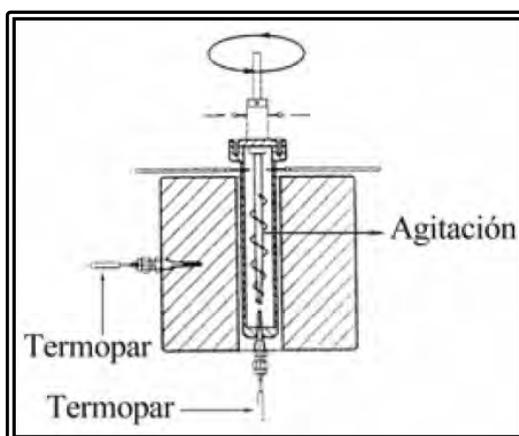


Imagen 1.5 Diagrama esquemático de un Reactor de Tanque Agitado

Imagen de: HERNÁNDEZ F. Ma. Del Remedio "Evaluación de la pirolisis térmica y catalítica de polietileno en lecho fluidizado como técnica de reciclado: Influencia de las variables sobre los productos generados. Tesis Doctoral. Universidad de Alicante, España 2007, pp. 83

Del mismo modo Murata, García, Lee, Zhou, G. de la Puente y Serrano utilizaron sistemas basados en este tipo de reactor de tanque agitado para la descomposición de diferentes polímeros, empleando para ello diversos tipos de catalizadores, como FCC, un catalizador híbrido ZSM-5/MCM-41, ZSM-5 modificado con lantánidos, etc.

### Reactor de Lecho Fijo:

En este tipo de reactor, el lecho permanece invariable al paso del gas portador que circula por el interior del reactor y arrastra los productos de pirolisis. En este tipo de lechos resulta complicado controlar la temperatura sobre todo si se trata de lechos de gran tamaño, ya que la conductividad de calor es baja. Por tanto, en el caso de emplearlos en reacciones exotérmicas, se formarían zonas calientes móviles en el interior del reactor, aspecto que puede resultar perjudicial para el proceso de pirolisis. Existen varios diseños de reactores de lecho fijo. Los principales son el de **lecho de relleno con refrigeración externa** (permite que las paredes del reactor estén menos calientes que el interior dando lugar a zonas calientes

en el reactor), el de **lecho de relleno con refrigeración en el interior del lecho** (evita la formación de zonas calientes) y el de **lecho de relleno dividido en etapas** (con refrigeración entre las etapas).

El reactor de lecho fijo ha sido utilizado en multitud de trabajos para la degradación de muy diversos tipos de materiales: polietileno de alta y baja densidad, poliestireno, cera de polietileno, mezclas de diversos polímeros, diversos tipos de aceites y alquitrán. Se ha utilizado para evaluar el efecto de muy diversos tipos de catalizadores como HZSM-5 modificada con molibdeno, con paladio, con ácido ortofosfórico, etc.

Una aplicación muy utilizada de este tipo de reactor es la conocida como degradación catalítica en fase vapor. En este tipo de craqueo se coloca el catalizador en el interior del reactor a una cierta distancia del polímero a degradar. De esta forma cuando el material se craquea únicamente el efecto catalítico sobre los gases procedentes del craqueo térmico, no sobre el polímero inicial. Con este tipo de estudios es posible evaluar la influencia de la actividad catalítica al utilizar dos tipos de contacto diferentes entre el catalizador y el material a degradar (catalizador-volátiles primarios o catalizador-sólido).

Los **equipos de termogravimetría** (TG) constituyen un tipo de reactor de lecho fijo. Este tipo de sistemas han sido muy utilizados en la evaluación de la actividad catalítica de ciertos materiales, así como en diversos estudios cinéticos de descomposición.

Los reactores conocidos como tipo MAT (reactor de lecho fijo de microactividad) se han utilizado principalmente en estudios de degradación de productos derivados del petróleo.

Otro tipo de reactor de lecho fijo se conoce como **reactor pyroprobe** y está constituido por un horno horizontal en el cual se introduce un capilar de cuarzo que contiene la muestra a degradar. El capilar se rodea de una resistencia de platino. Capilar y resistencia se introducen en el horno y se les aplica una elevada rampa de calefacción dando lugar a una pirolisis flash. Durante el proceso de descomposición el lecho del material a degradar no se mueve. Existen diversas ventajas en la utilización de técnicas de pirolisis flash empleando un reactor pyroprobe como es el caso de la poca cantidad de muestra utilizada y la posibilidad de automatizar el proceso, haciendo que estas técnicas resulten muy adecuadas en ciertas aplicaciones. Como consecuencia de la elevada velocidad de calefacción utilizada, el tiempo que pasan los volátiles generados en la zona caliente del reactor es muy bajo, pudiendo considerarse los resultados obtenidos en este reactor como representativos de las reacciones primarias de descomposición.

Muy similar a un reactor pyroprobe es el sistema conocido como **pirolizador de punto de Curie**. Este reactor también se utiliza para alcanzar elevadas velocidades de calefacción y tiempos de reacción breves. En este reactor la muestra se coloca en un recipiente fabricado de un material ferromagnético

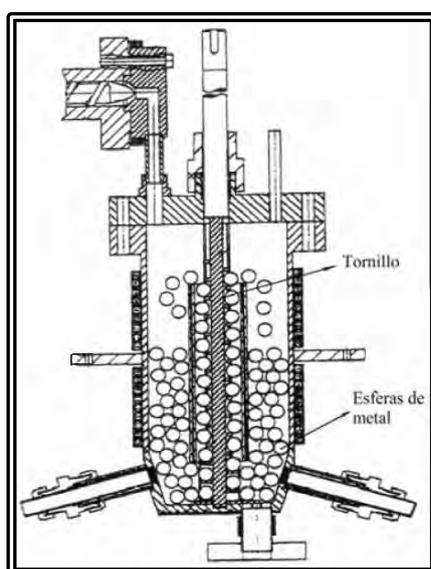
que es sometido a un campo electromagnético. La temperatura final se alcanza a la temperatura a la cual el portamuestras cambia su carácter de ferromagnético o paramagnético (temperatura de Curie). En este punto la temperatura se controla para evitar el sobrecalentamiento de la muestra. Al igual que un reactor pyroprobe, el tiempo de residencia de los volátiles es muy bajo por lo que las reacciones secundarias producidas pueden considerarse despreciables.

#### Autoclave:

Este reactor también se ha utilizado en multitud de estudios en los que la presión es un factor a tener en cuenta durante el proceso de descomposición.

#### Reactor de esferas:

Un tipo de reactor diferente a los comentados hasta ahora es el conocido como reactor de esferas. Está constituido por un recipiente que contiene en su interior un lecho de esferas de metal. Por la parte superior del reactor se halla colocado un tornillo que mediante su movimiento giratorio provoca la circulación de las esferas metálicas favorece la transmisión de calor durante el proceso de degradación, reduciendo la energía necesaria para que la descomposición del material evaluado tenga lugar.



**Imagen 1.6 Diagrama esquemático de un Reactor de Esferas**

Imagen de: HERNÁNDEZ F. Ma. Del Remedio "Evaluación de la pirólisis térmica y catalítica de polietileno en lecho fluidizado como técnica de reciclado: Influencia de las variables sobre los productos generados. Tesis Doctoral. Universidad de Alicante, España 2007, pp. 86

#### Reactor "Riser":

Este reactor se basa en la circulación interna de un material (catalítico o no) colocado en la parte inferior del cuerpo del reactor. En la parte superior del mismo se coloca una turbina cuyo movimiento genera un vacío en el interior del reactor que provoca el movimiento del material. El vacío en el interior del

reactor provoca el movimiento del material. El vacío producido promueve la ascensión del material que posteriormente vuelve a descender completando un movimiento circulatorio en el reactor y provocando la fluidización del material contenido en él. La muestra a degradar se introduce en el reactor poniéndose en contacto con el material fluidizado.

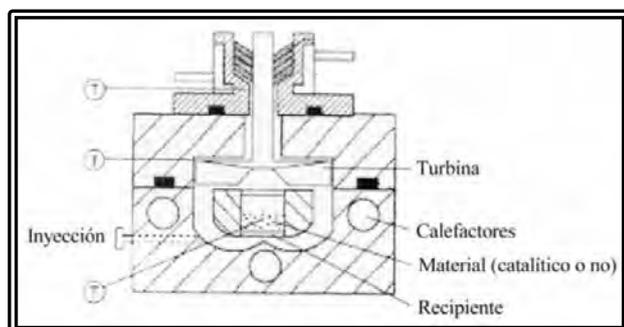


Imagen 1.7 a) Diagrama esquemático de un Reactor "Riser"



b) Esquema del movimiento del sólido en el Reactor "Riser"

Imagen de: HERNÁNDEZ F. Ma. Del Remedio "Evaluación de la pirolisis térmica y catalítica de polietileno en lecho fluidizado como técnica de reciclado: Influencia de las variables sobre los productos generados. Tesis Doctoral. Universidad de Alicante, España 2007, pp. 87

### Reactor de Lecho Fluidizado:

Es un tipo de reactor muy utilizado en los procesos de degradación debido a sus buenas características de transferencia de calor y de materia que provocan una aceleración de la reacción involucrada en el proceso.

Existen multitud de trabajos en los cuales se han utilizado reactores de este tipo en el craqueo térmico y catalítico de diversos tipos de materiales, desde polímeros como polietileno, poliestireno, polipropileno, polimetilmetacrilato, mezclas de varios plásticos hasta caucho sintético, aceite mineral, goma o biomasa.

Las condiciones de operación y las dimensiones de los distintos reactores de lecho fluidizado empleados son muy diversas, pudiendo trabajar de forma continua o discontinua, presentar características similares a los reactores utilizados a gran escala, alterar la atmosfera de reacción para llevar a cabo una pirolisis oxidativa, etc. La gran versatilidad de utilización de estos sistemas, junto con las mejoras evidentes derivadas del uso de reactores de lecho fluidizado comentadas anteriormente, han provocado que este tipo de sistemas haya sido objeto de numerosas modificaciones de diseño para adaptarlos a las necesidades concretas requeridas en cada caso. Un ejemplo de estas modificaciones se encuentra en el conocido como **reactor de lecho fluidizado circulante (CFB)** que se basa en la circulación del lecho fluidizado junto con los productos de reacción. Se emplea un régimen de fluidización rápida que impulsa a las partículas sólidas constituyentes del lecho hacia arriba, fuera del cuerpo del reactor. Dichas partículas alcanzan un ciclón donde se separan de los productos gaseosos

generados, pudiendo ser estos recogidos para su posterior análisis. Las partículas del lecho que han llegado al ciclón son devueltas al reactor.

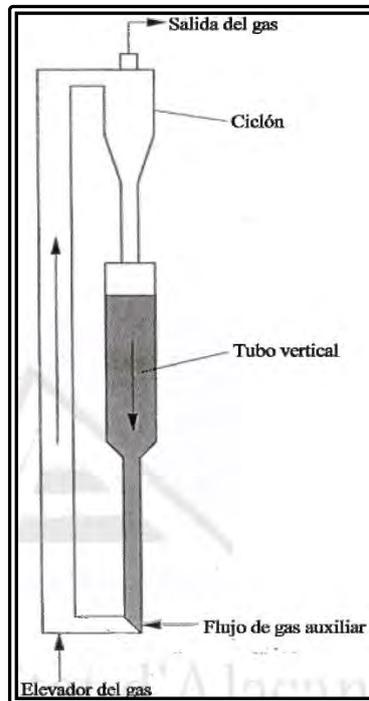


Imagen 1.8 Diagrama esquemático de un Reactor de Lecho Fluidizado Circulante (CFB)

Imagen de: HERNÁNDEZ F. Ma. Del Remedio "Evaluación de la pirolisis térmica y catalítica de polietileno en lecho fluidizado como técnica de reciclado: Influencia de las variables sobre los productos generados. Tesis Doctoral. Universidad de Alicante, España 2007, pp. 88

Otro ejemplo es el **reactor de Lecho Fluidizado "Spouted Bed"** que es un caso similar al CFB. En este reactor, al igual que en el sistema comentado anteriormente, una corriente de gas se introduce por la parte inferior del reactor, impulsando las partículas del lecho hacia arriba. A diferencia del CFB, esas partículas no son arrastradas abandonando el cuerpo del reactor, únicamente experimentan un movimiento circulatorio ascendente y descendente en el reactor.

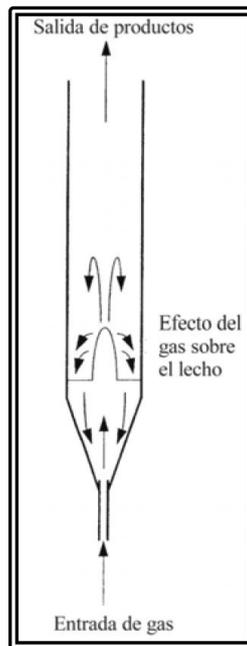


Imagen 1.9 *Diagrama esquemático de un Reactor "Spouted Bed" (lecho en surtidor).*

Imagen de: HERNÁNDEZ F. Ma. Del Remedio "Evaluación de la pirólisis térmica y catalítica de polietileno en lecho fluidizado como técnica de reciclado: Influencia de las variables sobre los productos generados. Tesis Doctoral. Universidad de Alicante, España 2007, pp. 89

El reactor de Lecho Fluidizado con Recirculación Interna (ICFB) constituye una adaptación del reactor de lecho fluidizado circulante (CFB). En este caso, y al igual que en el reactor CFB, los productos de reacción y el sólido que constituye el lecho fluidizado son impulsados juntos a través de un conducto, para posteriormente evacuar los productos gaseosos generados y recircular el lecho al interior del reactor. La modificación que presenta este tipo de reactor con respecto al CFB es que el conducto por el cual se eleva la mezcla lecho + productos generados se encuentra en el interior del propio lecho fluidizado. Este tipo de reactor resulta especialmente útil en procesos que requieren de tiempos de residencia cortos, permitiendo elevar el rendimiento de olefinas al evitar su degradación a parafinas.

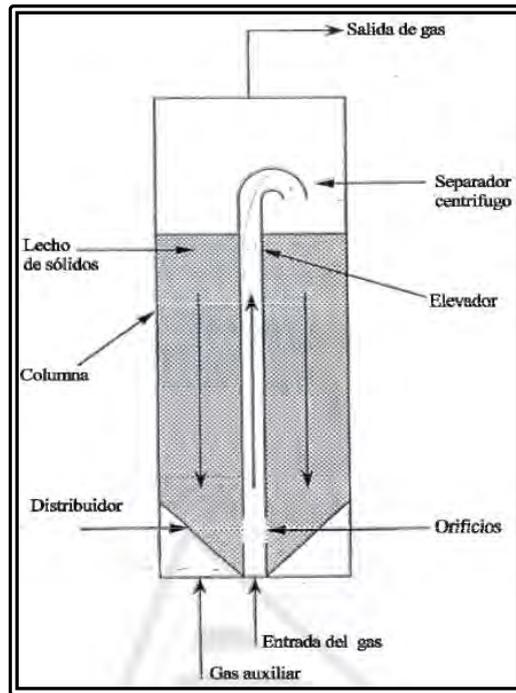
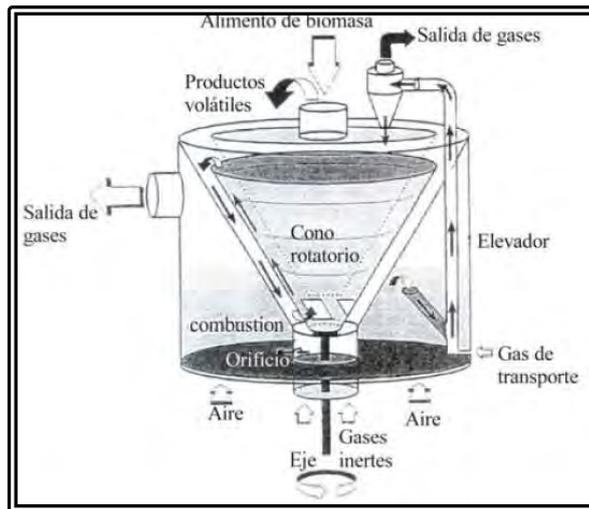


Imagen 1.10 Diagrama esquemático de un reactor de Lecho Fluidizado con Recirculación Interna (ICFB)

Imagen de: HERNÁNDEZ F. Ma. Del Remedio "Evaluación de la pirólisis térmica y catalítica de polietileno en lecho fluidizado como técnica de reciclado: Influencia de las variables sobre los productos generados. Tesis Doctoral. Universidad de Alicante, España 2007, pp. 90

Y otra adaptación es el **reactor de Lecho Fluidizado de Cono Rotatorio** que se basa en la circulación interna del lecho fluidizado debido a la acción de fuerzas centrífugas. Consta de un cono dotado de movimiento rotacional parcialmente sumergido en un lecho fluidizado de arena. En la parte inferior del cono se encuentra una abertura por la cual son impulsadas las partículas del lecho hacia el interior del mismo. Una vez en el interior, estas partículas son sometidas al movimiento rotacional del cono y debido a las fuerzas centrífugas, ascienden por él. Finalmente, caen por la parte superior del cono volviendo al lecho fluidizado donde se encontraban inicialmente, completando el bucle de circulación en el que está basado este tipo de reactor. Los productos volátiles generados en la pirólisis son evacuados por la parte superior del cono.



**Imagen 1.11 Diagrama esquemático de un Reactor de Lecho Fluidizado de Cono Rotatorio acoplado con una zona de combustión**

Imagen de: HERNÁNDEZ F. Ma. Del Remedio "Evaluación de la pirolisis térmica y catalítica de polietileno en lecho fluidizado como técnica de reciclado: Influencia de las variables sobre los productos generados. Tesis Doctoral. Universidad de Alicante, España 2007, pp. 91

## REACTOR DE TORNILLO EXTRUSOR

Habiendo comentado en los apartados anteriores el funcionamiento de las máquinas eléctricas así como los tipos de reactores más comunes para la polimerización, y dando una ubicación entre ellos a un reactor extrusor, en este apartado se tratará específicamente de las características de este tipo de reactor viéndolo como máquina y su funcionamiento general, sin importar el uso que se le dé al mismo, uso que comprende tanto polimerización por extrusión como simplemente extrusión de polímeros ya fabricados. Ubicando este reactor entre los mencionados quedaría como una combinación de un Reactor de Tornillo y un Reactor Extrusor.



## EXTRUSIÓN

Una de las operaciones más comunes es la extrusión, proceso que consiste en que el polímero tratado llegue a su punto de fusión para que una vez en fase líquida, pueda pasar a través de un cabezal en el que se han practicado canalizaciones que darán al polímero la forma deseada. Así pues, para el soplado de films, láminas para termoformar, fibras sintéticas, revestimiento de hilos, tuberías y perfiles o en líneas de reciclado o repeletización se requiere de máquinas de extrusión que transformen el material a su estado fundido.

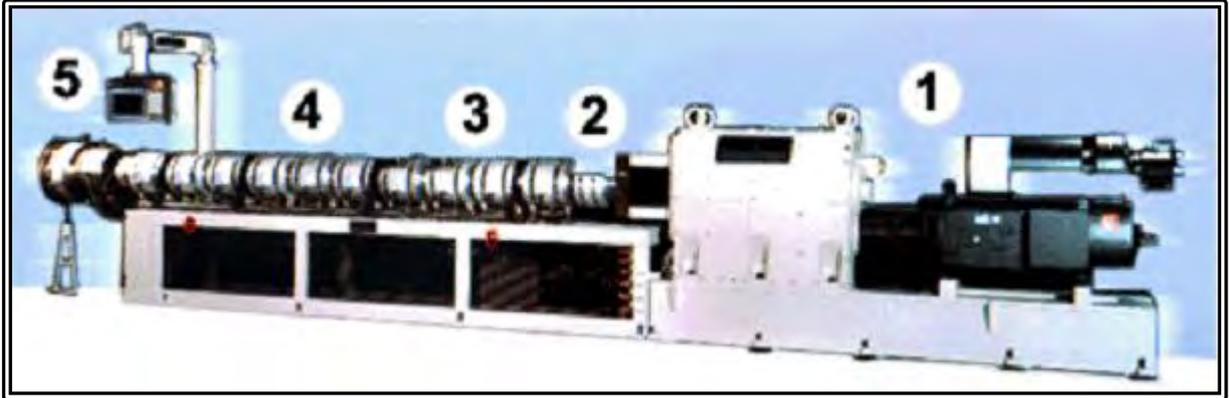
Una máquina de extrusión consiste en un aparato que bombea el plástico a través de un molde con la forma deseada. Los productos extruidos, como por ejemplo los tubos, tienen una sección con forma regular. La máquina de extrusión también realiza otras operaciones, como moldeo por soplado o moldeo por inyección. En una definición amplia el proceso de extrusión hace referencia a cualquier operación de transformación en la que un material fundido es forzado a atravesar una boquilla para producir un artículo de sección transversal constante y, en principio, longitud indefinida. Además de los plásticos, muchos otros materiales se procesan mediante extrusión, como los metales, cerámicas o alimentos, obteniéndose productos muy variados como son marcos de ventanas de aluminio o PVC, tuberías, pastas alimenticias, etc. Desde el punto de vista de los plásticos, la extrusión es claramente uno de los procesos más importantes de transformación. El proceso de extrusión de plásticos se lleva a cabo en máquinas denominadas extrusoras o extrusores. Aunque existen extrusoras de diversos tipos, las más utilizadas son las de tornillo o de husillo simple.<sup>17</sup>

### Proceso de extrusión

De manera general los componentes de una línea de extrusión son relativamente similares cualquiera que sea el tipo de extrusora que se vaya a usar. Por lo que de acuerdo a la literatura se identifican las siguientes zonas:

---

<sup>17</sup> DÍAZ DEL CASTILLO Rodríguez Felipe, "Lecturas de ingeniería 21. Conformado de materiales plásticos" UNAM FES Cuautitlán 2012 pp. 20



**Imagen 2.1 Zonas del Proceso de extrusión**

Cortesía de Ainia Centro Tecnológico: Guía técnica virtual: Sectores/Maquinaria/Formación y llenado del envase primario/Maquinaria de envasado/Extrusoras. Recuperado de <http://www.guiaenvase.com/bases/guiaenvase.nsf/V02wn/extrusoras?OpenDocument>

1. Unidad de transmisión de fuerza.
2. Zona de alimentación.
3. Zona de dosificación.
4. Sistema de ventilación.
5. Unidad de control

1. Unidad de transmisión de fuerza:

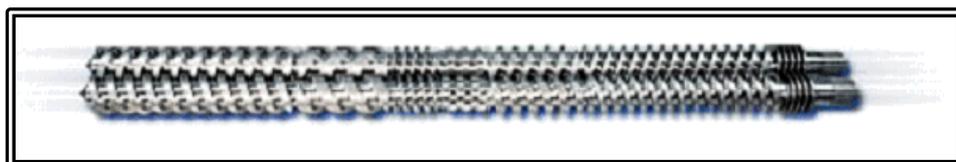
Sistema eléctrico cuya función es cambiar la velocidad de los cojinetes de empuje produciendo el movimiento rotacional del husillo.

2. Zona de alimentación

La extrusora es alimentada por material situado en la tolva de alimentación. El material puede caer por gravedad simplemente, mediante el husillo de dosificación o siendo transportado por una espiral

3. Zona de dosificación:

En esta sección analizan de los dos elementos más importantes de la extrusora: el husillo y el cilindro.



**Imagen 2.2 Ilustración tornillos de extrusión**

Cortesía de Ainia Centro Tecnológico: Guía técnica virtual: Sectores/Maquinaria/Formación y llenado del envase primario/Maquinaria de envasado/Extrusoras. Recuperado de <http://www.guiaenvase.com/bases/guiaenvase.nsf/V02wn/extrusoras?OpenDocument>

El cilindro y el husillo están hechos de aceros de alta fuerza protegidos del desgaste y la corrosión por procedimientos de templado y revestimientos tales como tratamiento con ácido nítrico o endurecimiento con cromo. El cilindro de extrusión está dividido en zonas, de 3 a 7, que son calentadas y enfriadas de manera individual dependiendo del material y de los parámetros del proceso.

La misión del/los husillo/s de una extrusora es transportar la materia prima (polímero y/o cargas y/o aditivos) a través del cilindro a la vez que se comprime y se eliminan los compuestos volátiles. A su vez, el fundido se reblandece debido al calentamiento, debido a las fuerzas internas de cizalla con las paredes del cilindro y el calor aplicado externamente (En el caso de no aplicarse calor externo para producir el fundido, se denomina extrusión adiabática). También el husillo favorece la mezcla y produce un fundido muy homogéneo sin impurezas. Por último, aplica una presión constante (presión de cabeza) necesaria para forzar a que el material atraviese el cabezal, que da la forma deseada.

Para realizar estas funciones eficientemente, se diseña el husillo con diferentes secciones que realizan diversas funciones, como la de alimentación, plastificación y dosificación. Actualmente se puede reconfigurar el diseño del husillo en función del proceso y del material tratado, ya que está compuesto de segmentos intercambiables. Tal diseño es proporcionado, normalmente, por el fabricante.

El parámetro que mejor define la capacidad de plastificación de la extrusora es la relación L/D (radio entre la longitud y el diámetro del husillo). Se puede decir que cuanto mayor sea, más tiempo permanecerá el material dentro del cilindro para fundir el material homogéneamente. Se puede considerar que a partir de un L igual a 20 D es adecuado para grandes producciones.

Es necesario destacar que a la extrusora se le acompaña de diversos accesorios tales como el cabezal o dado, que marcará la forma de salida de la extrusora; una unidad de calibración, que estabilizará la forma de salida del cabezal mientras el polímero es enfriado; cortadora o tallarina, que atraerá el polímero y lo cortará con la longitud deseada además de una fuente de agua para el sistema de refrigeración del cilindro y de enfriamiento del polímero.

#### 4. Sistema de ventilación:

Debido a las altas temperaturas que se alcanzan en el cilindro, es necesario la desgasificación del polímero, pues la presencia de vapor o gas puede producir burbujas en el producto a la salida, y por consiguiente perjuicio en las propiedades de la pieza. Esto se alcanza mediante la situación de varias aberturas de ventilación.

### 5. Unidad de control:

En este punto se controlan las temperaturas de cada zona, temperatura del fundido, velocidad de giro del husillo, par motor, presión de salida, etc.<sup>18</sup>

### **Métodos de extrusión**

Los polímeros se pueden extrudir de tres modos diferentes:

#### Extrusión húmeda

El primer proceso de extrusión de un material termoplástico se realizó hacia 1870, y consistió en extrudir una barra de sección cilíndrica de nitrato de celulosa, empleando un pistón accionado hidráulicamente; se trataba de un proceso de extrusión húmeda con pistón. El proceso de extrusión húmeda se caracteriza fundamentalmente por emplear disolventes o plastificantes líquidos que permiten extrudir los materiales en forma de pasta o solución. Generalmente utiliza extrusoras de pistón; los materiales plásticos a los que se aplica este proceso son el nitrato de celulosa y el acetato de celulosa; en el caso del acetato de celulosa se obtiene mejor acabado de la superficie y en el caso del nitrato de celulosa se reduce el peligro de incendio debido a la inflamabilidad de este material.

La extrusión húmeda se puede realizar también en máquinas de tornillo, pero no se practica porque hace perder las ventajas de mezcla y calentamiento simultáneos típicas de las extrusoras con tornillo.

La extrusión húmeda se realiza también en la industria del rayón empleando bombas rotativas.

#### Extrusión seca

El proceso de extrusión seca es el más utilizado para la extrusión de multitud de perfiles de materiales termoplásticos. El proceso de extrusión seca con extrusora de pistón se emplea para extrudir materiales termoestables y politetrafluorotileno (PTFE). Los materiales termoplásticos se extruden en máquinas de tornillo siguiendo un proceso de este tipo.

Las ventajas de la extrusión seca sobre el proceso húmedo se pueden resumir en la ausencia de disolventes volátiles lo que significa que no hay peligro de alabeo o deformación de las secciones extruidas, debido a la pérdida de disolvente residual o materiales volátiles.

---

<sup>18</sup>Guía técnica virtual Ainia Centro Tecnológico: Sectores/Maquinaria/Formación y llenado del envase primario/Maquinaria de envasado/Extrusoras. Recuperado de <http://www.guiaenvase.com/bases/guiaenvase.nsf/V02wn/extrusoras?OpenDocument>

En el proceso seco de extrusión se usan el calor y el trabajo mecánico para plastificar o ablandar el material plástico, pero no se emplean disolventes. La extrusión seca se puede hacer en máquinas de pistón, calentando el material separadamente o en un cilindro de calefacción; en este sentido las máquinas de inyección pueden considerarse como un caso particular de las extrusoras de pistón. Sin embargo, el proceso más importante de extrusión seca, es decir, extrusión que no emplea líquidos disolventes, es el proceso de extrusión en máquinas de tornillo, a las que llamamos extrusoras. Las primeras extrusoras de tornillo, se emplearon hacia 1930 para extrudir termoplásticos; estas máquinas eran una adaptación de las empleadas para extrudir caucho.

Los materiales termoplásticos se extruden principalmente en extrusoras de un solo tornillo.

Las primeras máquinas de extrusión eran máquinas de pistón accionadas manual, mecánica o hidráulicamente. El proceso de extrusión con pistón consiste en hacer pasar el material plástico a través de una boquilla conformadora, forzándolo directamente con un pistón que empuja al material desde un cilindro lleno con este, hacia la boquilla. Este tipo de máquinas presenta el inconveniente de que la extrusión propiamente dicha, se realiza de un modo intermitente ya que la máquina debe cesar de funcionar a intervalos regulares para volver a llenar el cilindro. Las máquinas de extrusión con pistón no han sido totalmente abandonadas y actualmente se usan para procesos que requieren el uso de presiones excepcionalmente altas o para extrudir materiales que no permiten ser extruidas en máquinas de tornillos; se emplean extrusores de pistón para extrudir algunos tipos de materiales poliméricos fluorados y para materiales muy sensibles a la acción del calor, como es el caso del nitrato de celulosa ya concentrado. Otros materiales ajenos a la industria de plásticos, tales como cerámicos, grafito, ceras, refractarios y otros, son extruidos en máquinas de pistón. Limitándonos a la industria de plásticos, la más importante aplicación que hoy queda para las máquinas de extrusión con pistón, es el proceso de extrusión húmeda.

### Hilatura

La hilatura es el método utilizado para la obtención de fibras artificiales a partir de polímeros fundidos o en solución. El material se hace pasar a través de finos orificios denominados "hileras". Se pueden considerar las tres variaciones siguientes del proceso de hilatura: **de un polímero fundido**, ejemplo, la obtención de fibras de nylon o de polietileno, **de una solución**, ejemplo, rayón, acetato, etc. y **de un material coagulable**, ejemplo, viscosa, látex de caucho, etc.

En el proceso de "hilado" los materiales fundidos o en solución, que tienen una viscosidad pequeña, se pueden extrudir a presiones relativamente bajas con cualquier tipo de bomba convencional. De este modo se extruden monofilamentos de rayón, acetato de celulosa, nylon y otras fibras sintéticas; la solución, o el material fundido de baja viscosidad, se filtra y se bombea a una boquilla múltiple que

recibe el nombre de hilera; esta hilera está constituida por un gran número de pequeños orificios, a través de los cuales es forzado a pasar el material por la acción de la bomba. La extrusión generalmente tiene lugar de arriba hacia abajo en dirección vertical y los finos chorritos de material se solidifican o por enfriamiento, si es un polímero fundido, o por coagulación, recibéndolos en un baño de composición adecuada.<sup>19</sup>

## GENERALIDADES DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA

De acuerdo con las misiones que debe cumplir, una extrusora debe disponer de un sistema de alimentación del material, un sistema de fusión-plastificación del mismo, el sistema de bombeo y presurización, que habitualmente generará también un efecto de mezclado y finalmente, el dispositivo para dar lugar al conformado del material fundido. La imagen 2.3 muestra como ejemplo una representación esquemática de una extrusora típica de husillo único.

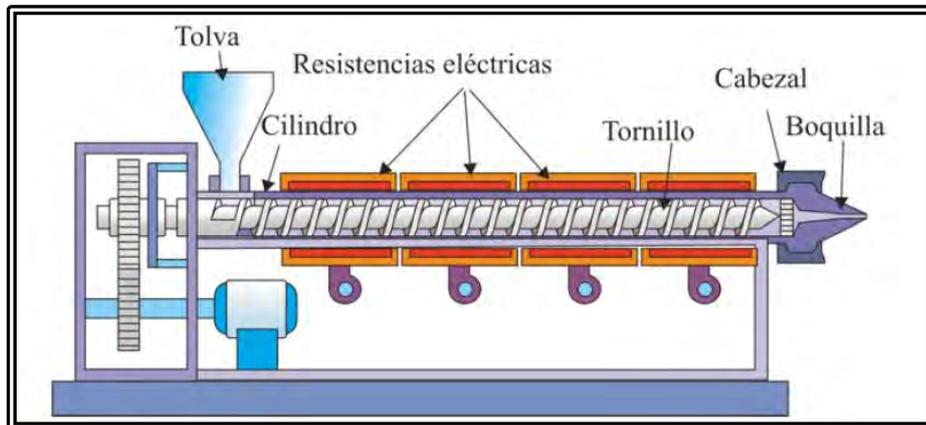


Imagen 2.3 Representación esquemática de una extrusora de husillo sencillo  
Imagen de: BELTRÁN Rico M. "Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades"  
Ed. Universidad de Alicante 2012, España pp 104

Como puede apreciarse el sistema de alimentación más habitual es una tolva, en la que el material a procesar se alimenta en forma de polvo o granza. El dispositivo de fusión-plastificación, bombeo y mezclado está constituido por un tornillo de Arquímedes que gira en el interior de un cilindro calentado, generalmente mediante resistencias eléctricas. En la parte del cilindro más alejada de la tolva de alimentación se acopla un cabezal cuya boquilla de salida tiene el diseño adecuado para que tenga lugar el conformado del producto. La parte esencial de la máquina es el sistema cilindro-tornillo que, como consecuencia del giro, compacta el alimento sólido, da lugar a la fusión del material y lo transporta hacia la boquilla de conformado, produciendo al mismo tiempo la presurización y el mezclado del material.

<sup>19</sup> ANGUITA Delgado R. "Extrusión de plásticos. Teoría y equipos Parte I" Ed. H. Blume 1977, España pp 15 - 17

### Zonas de presión de la extrusora

Todas las extrusoras se consideran divididas en tres zonas de presión que se pueden apreciar en la imagen 2.4, junto con la evolución de la presión a lo largo de la extrusora. La zona de alimentación es la más cercana a la tolva, en la cual la profundidad del canal del tornillo es máxima. Tiene como objetivo principal compactar el alimento y transportarlo hacia la siguiente zona a una velocidad adecuada. La zona de transición o compresión es la zona intermedia en la que la profundidad del canal disminuye gradualmente. En la zona de transición se tiene lugar a la fusión del material. La zona de dosificado se sitúa al final, en la parte más cercana a la boquilla y tiene una profundidad de canal pequeña y constante. En esta zona el material es homogenizado y presurizado para forzarlo a atravesar a presión la boquilla de conformado.

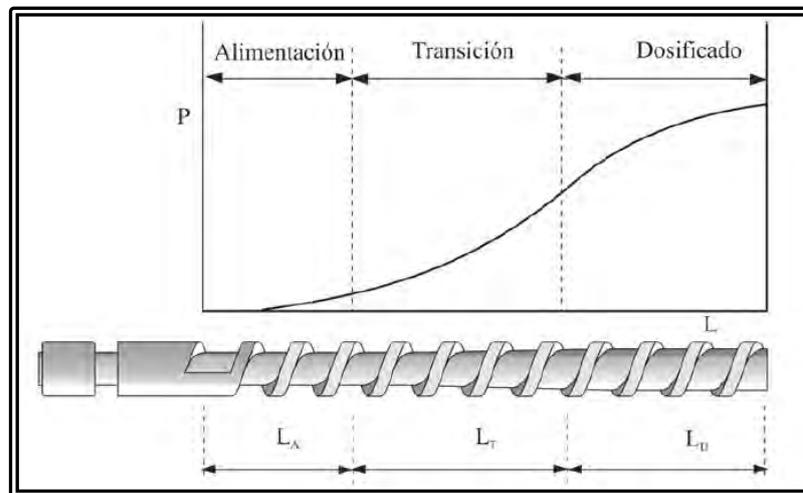


Imagen 2.4 Evolución de la presión a lo largo de las zonas de una extrusora\*

Las extrusoras actuales pueden operar entre 10 y 500 rpm y según su tamaño, pueden proporcionar caudales de 2000 kg/h de material.<sup>20</sup>

### Tipos de extrusoras

Existen otros tipos de extrusoras como son las extrusoras multitornillo que, como su nombre lo indica, poseen más de un tornillo. Entre éstas las más importantes son las de dos tornillos, dentro de las cuales existe gran variedad dependiendo de si los tornillos tienen giro contrario (lo más corriente ya que generan mayor fuerza de cizalla) o paralelo, y del grado de interpenetración entre los mismos. En la imagen 2.5 se muestran algunas variantes posibles. Las extrusoras de dos tornillos presentan posibilidades que a menudo superan en gran medida a las de un solo tornillo. Entre las ventajas que

<sup>20</sup> \*BELTRÁN Rico M. "Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades" Ed. Universidad de Alicante 2012, España pp 104 - 106

presentan se incluye una buena capacidad de mezclado y desgaseificación, y un buen control del tiempo de residencia y de su distribución. Algunas desventajas de estas extrusoras son su precio, superior al de las de tornillo único.<sup>21</sup>

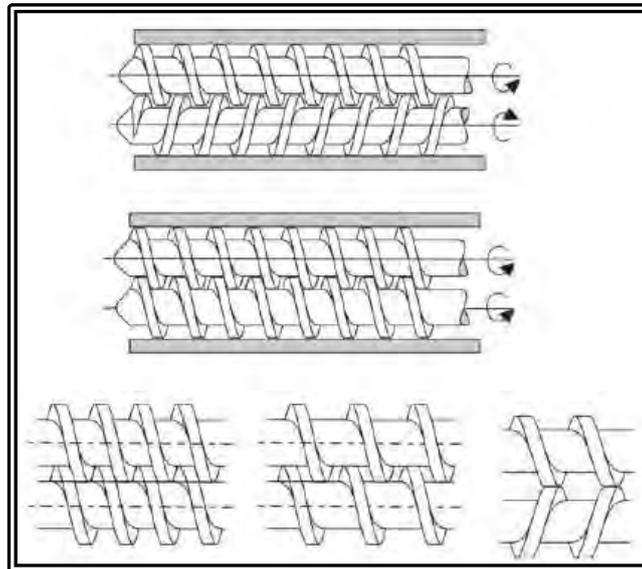
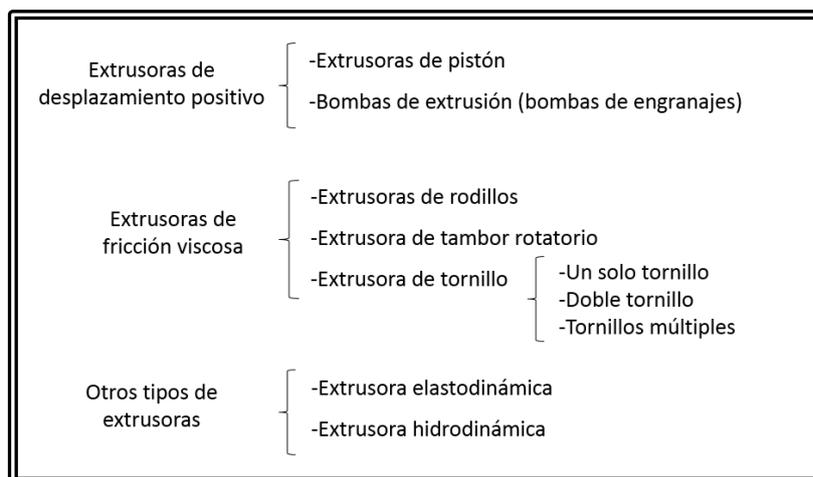


Imagen 2.5 Disposición posible de los husillos en las extrusoras de doble husillo; giro contrario y giro en paralelo; diferentes grados de interpenetración de los tornillos.\*

Para realizar el proceso de extrusión es preciso aplicar al material fundido una presión que le fuerce a pasar a través de la boquilla. Atendiendo al sistema utilizado para obtener esta presión se pueden clasificar las máquinas extrusoras de la siguiente manera:



Cuadro 2.6 Clasificación de máquinas extrusoras<sup>22</sup>

Las características técnicas al adquirir una extrusora son:

- Producción máxima (kg/hora)

<sup>21</sup> \*BELTRÁN Rico M. "Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades" Ed. Universidad de Alicante 2012, España pp 106 - 107

<sup>22</sup> Clasificación planteada en: ANGUITA Delgado R. "Extrusión de plásticos. Teoría y equipos Parte I" Ed. H. Blume 1977, España pp 19

- Potencia de la extrusora y presión máxima admisible de salida.
- Facilidad de limpieza (cilindro autolimpiable)
- Facilidad de manejo y de control.
- Variedad de accesorios.
- Material a tratar: termoplástico o elastómero.

Otros datos técnicos a tener en cuenta:

- Producción (kg/hora, variable según la densidad del polímero)
- Relación L/D (a partir de 20 para grandes producciones)
- Husillo: número, diseño, material.
- Velocidad de giro (r.p.m.)
- Par motor: torque (define la presión de cabeza)
- Zonas de calefacción.
- Material del cilindro.
- Diseño del cilindro: una sola chimenea de desgasificación o más.
- Obertura de alimentación (estándar, rectangular u ovalada: compatibilidad con dosificadores)
- Consumo de agua (l/h)
- Consumo eléctrico (kW/h)

Datos recabados de Ainia Centro Tecnológico: Guía técnica virtual: Sectores/Maquinaria/Formación y llenado del envase primario/Maquinaria de envasado/Extrusoras. Recuperado de <http://www.guiaenvase.com/bases/guiaenvase.nsf/V02wn/extrusoras?OpenDocument>

### Extrusoras de tornillo

Este tipo de extrusoras pueden ser de **un solo tornillo** o de **tornillos múltiples**; las extrusoras de un solo tornillo son las más utilizadas y mejor estudiadas, por lo cual sobre ellas se centra la información de este trabajo.

Las máquinas de extrusión **de un solo tornillo** se construyen utilizando tornillos cuyos diámetros oscilan entre los 18 mm (tamaño de laboratorio), 20 cm, para la extrusión de perfiles de recubrimiento de cables, y 60 cm para la preparación de compuestos. La relación longitud a diámetro (generalmente expresada como el cociente L/D), es la longitud efectiva del tornillo dentro del cilindro dividida por el diámetro nominal del tornillo) y varía de acuerdo con el uso a que se destina el tornillo. Hay una marcada tendencia a emplear máquinas más grandes con relaciones de L/D de por lo menos 20:1, 24:1 e incluso 30:1. Los extrusores actualmente utilizados tienen tornillos con diámetros entre 30 mm y 300 mm, aunque a veces han llegado a construirse hasta de 900 mm. Estas extrusoras trabajan con una gran variedad de productos y a grandes velocidades de extrusión.

Las máquinas de un solo tornillo exceden en número con gran diferencia a las máquinas de tornillo múltiple; las limitaciones mecánicas, el mayor coste inicial, y el elevado coste de mantenimiento de las extrusoras **de múltiples tornillos** han impedido la amplia difusión de este tipo de máquinas.<sup>23</sup>

## NORMALIZACIÓN

Dentro de la industria química dedicada a cualquiera que sea su ramo, un aspecto a cuidar en los procesos de fabricación comúnmente es la calidad, el cumplimiento de ciertas especificaciones normativas tanto obligatorias como opcionales, de calidad para lograr certificaciones. Sin embargo se tiene igualmente normatividad que rige los aspectos de seguridad dentro de las actividades en los procesos, de carácter obligatorio de las que depende la continuación de actividad de la empresa. En México la organización gubernamental encargada de vigilar el cumplimiento de esta normatividad es la Secretaría del Trabajo y Previsión Social.

La Norma Oficial Mexicana NOM-004-STPS-1999 vigente presenta requerimientos tanto para los patrones como para los trabajadores que manipulan las máquinas. Dichos requerimientos únicamente se cumplirán a partir de un estudio que de igual manera es solicitado en la norma a tratar como obligación del patrón, este requerimiento consiste en un análisis de riesgos de la máquina. A partir de este documento las obligaciones del patrón de manera general consisten en:

- La elaboración de un programa específico para la máquina de seguridad e higiene para la Operación y Mantenimiento de la misma, darlo a conocer a los trabajadores y asegurarse de su cumplimiento;
- Contar con personal de primeros auxilios
- La realización de la señalización de áreas de tránsito y de operación
- Proporcionar a los trabajadores del equipo de protección personal.
- La capacitación de los trabajadores para la operación segura de la maquinaria y las herramientas necesarias.

---

<sup>23</sup> ANGUITA Delgado R. "Extrusión de plásticos. Teoría y equipos *Parte I*" Ed. H. Blume 1977, España pp 39

A continuación se mencionan definiciones útiles para la comprensión del análisis de riesgos que se plantea.

Definiciones citadas textualmente de la norma en cuestión:

*Mantenimiento preventivo*

Es la acción de inspeccionar, probar y reacondicionar la maquinaria y equipo a intervalos regulares con el fin de prevenir fallas de funcionamiento.

*Mantenimiento correctivo*

Es la acción de revisar y reparar la maquinaria y equipo que estaba trabajando hasta el momento en que sufrió la falla.

*Riesgo potencial*

Es la probabilidad de que la maquinaria y equipo causen lesiones a los trabajadores.

Definiciones de: Norma Oficial Mexicana NOM-004-STPS-1999 "Sistemas de protección y los dispositivos de seguridad en la maquinaria y equipo que se utilice en los centros de trabajo", México.

Definiciones citadas textualmente de la norma experimental UNE-EN V1070: 1994:

*Fiabilidad*

Aptitud de una máquina, o de sus componentes, para desempeñar sin fallos una función determinada, en condiciones especificadas y durante un periodo de tiempo dado.

*Seguridad de una máquina*

Aptitud de una máquina para desempeñar su función, para ser transportada, instalada, ajustada, mantenida, desmontada y retirada en las condiciones de uso previsto, especificadas en el manual de instrucciones, sin causar lesiones o daños a la salud.

*Peligro*

Fuente de posible lesión o daño para la salud.

*Situación peligrosa*

Cualquier situación en la que una o varias personas están expuestas a uno o varios peligros.

*Riesgo*

Combinación de la probabilidad y de la gravedad de una posible lesión o daño para la salud, con el fin de seleccionar las medidas de seguridad adecuadas.

### Función peligrosa de una máquina

Cualquier función de una máquina que genera un peligro cuando la máquina está en funcionamiento.

### Zona peligrosa

Cualquier zona dentro y/o alrededor de una máquina en la cual una persona está sometida a un riesgo de lesión o daño para la salud.

### Operador

Persona encargada de instalar, poner en marcha, regular, mantener, limpiar, reparar o transportar una máquina.

### Funciones de seguridad

Pueden ser:

- Funciones de seguridad directa (críticas).
- Funciones de seguridad indirecta (de apoyo).

Las **funciones de seguridad directa** son aquellas cuyo disfuncionamiento elevan inmediatamente el riesgo de lesión o daño para la salud (función de mando a dos manos, función para evitar la puesta en marcha inesperada, etc.). Las **funciones de seguridad indirecta** son aquellas cuyo fallo no genera de forma inmediata un peligro pero reducen el nivel de seguridad (funciones de autocontrol).

### Seguridad positiva

Condición que se alcanza cuando la función de seguridad permanece garantizada en caso de fallo del sistema de alimentación de energía o de cualquier componente que contribuya a alcanzar dicha condición.

## **PELIGROS GENERADOS POR LAS MÁQUINAS**

Teniendo en claro la definición del peligro como toda fuente capaz de producir lesión o daño a la salud es posible considerar los peligros de las máquinas clasificados en:

- Peligros mecánicos
- Peligros eléctricos
- Peligros térmicos
- Peligros producidos por el ruido
- Peligros producidos por las vibraciones
- Peligros producidos por las radiaciones
- Peligros producidos por materiales y sustancias

- Peligros producidos por no respetar los principios ergonómicos en el diseño de máquinas<sup>24</sup>

Cada uno de estos peligros son analizados a continuación, para posteriormente ubicarlos en la extrusora de tornillo único, equipo en cuestión.

### Peligros mecánicos

Los peligros mecánicos (de aplastamiento, cizallamiento, corte, enganche, arrastre, impacto, abrasión, perforación, proyección de fluido a presión, etc.) pueden ser originados por los movimientos de las distintas partes o elementos de la máquina o por las piezas a trabajar.

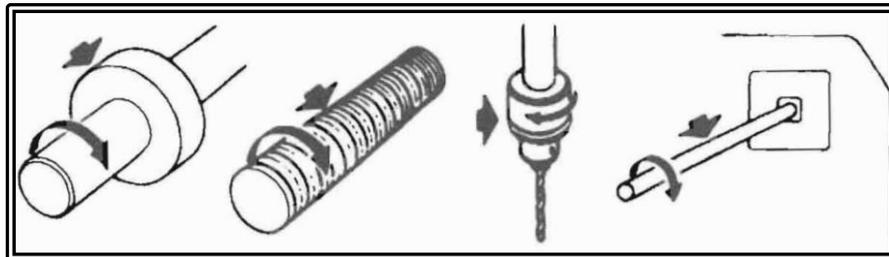
Se pueden clasificar los movimientos de las máquinas en:

- movimientos de rotación
- movimientos alternativos y de traslación
- movimientos de rotación y de traslación
- movimientos de oscilación

### Peligros generados por movimientos de rotación

Presentan peligro los siguientes elementos en rotación considerados aisladamente:

**Árboles.** Incluye acoplamientos, vástagos, brocas, tornillos, mandriles y barras. Suponen peligro aun cuando giren lentamente.<sup>24</sup>

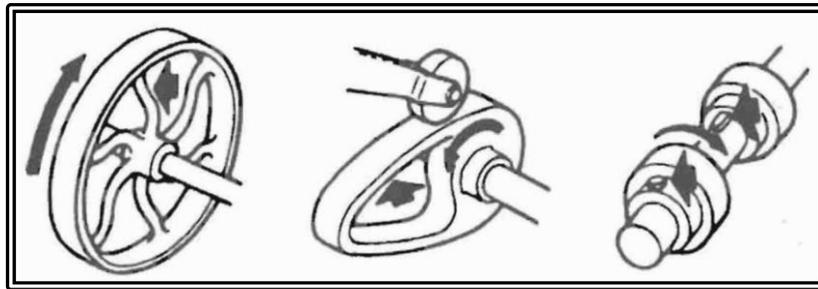


**Imagen 3.1 Movimientos de rotación: árboles**

Imagen de CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo", 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 222

<sup>24</sup> CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo", 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 221-222

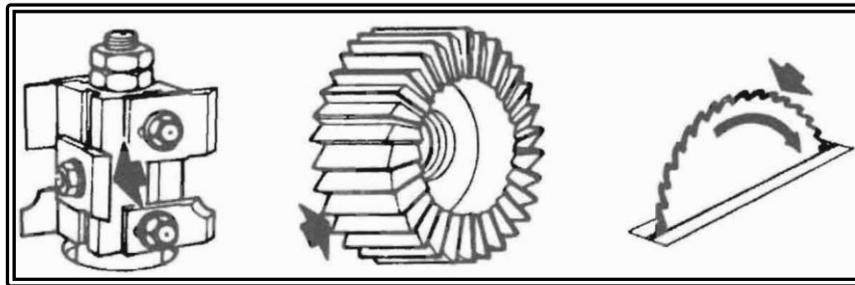
**Resalte y aberturas.** Algunas partes o elementos giratorios son aún más peligrosos por los resaltes o aberturas que poseen (ventiladores, poleas, ruedas de cadenas, engranajes).



**Imagen 3.2 Movimientos de rotación: Resalte y aberturas**

Imagen de CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo", 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 222

**Herramientas de corte y abrasión.** Entran en contacto con el material para alterar su forma, tamaño, o acabado (herramientas de corte, muelas abrasivas, etc.).

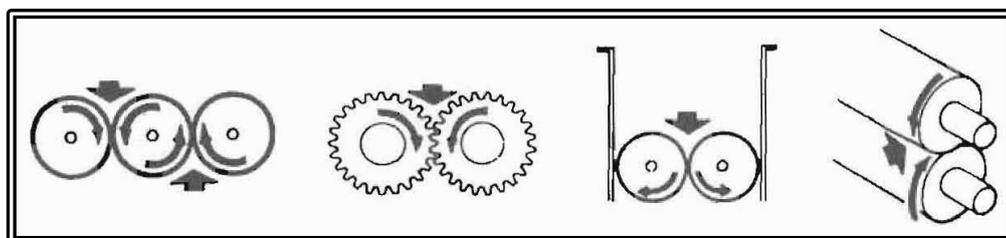


**Imagen 3.3 Movimientos de rotación: Herramientas de corte y abrasión**

Imagen de CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo", 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 222

### **Puntos de atrapamiento**

**Entre piezas girando en sentido contrario.** Se presenta cuando dos o más árboles o cilindros giran con ejes paralelos y en sentido contrario, en contacto directo o con una cierta separación. Presentan peligros de atrapamiento.



**Imagen 3.4 Movimientos de rotación: giros en sentido contrario**

Imagen de CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo", 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 223

Entre partes giratorias y otras con desplazamiento tangencial a ellas. Se presenta en correas y poleas, cadena y rueda dentada, piñón y cremallera, cintas transportadoras, etc. Presentan peligros de atrapamiento y aplastamiento.

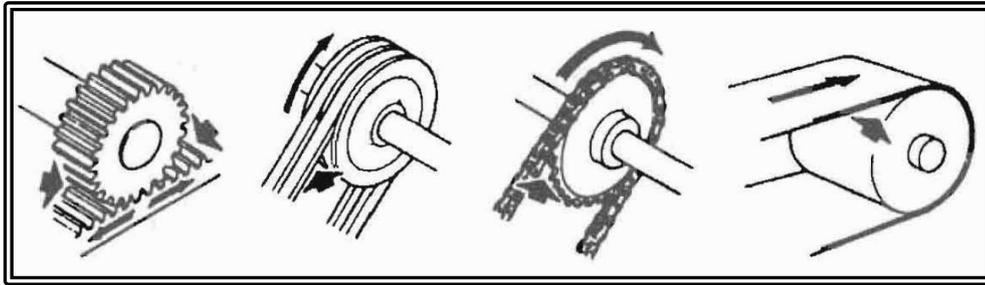


Imagen 3.5 Movimientos de rotación: partes giratorias y otras con desplazamiento tangencial a ellas  
Imagen de CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo",  
9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 223

Entre piezas giratorias y partes fijas. Se presenta en volantes con radios y armazón de la máquina, espirales o tornillos sinfín y su cubierta, etc. Presentan peligros de cizallamiento, aplastamiento o abrasión producidos por la pieza que gira en relación a la fija de la máquina.

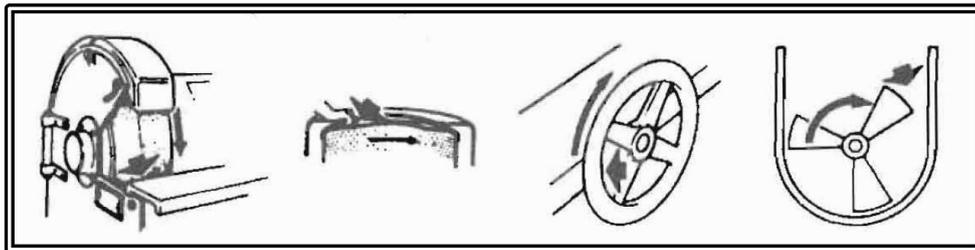
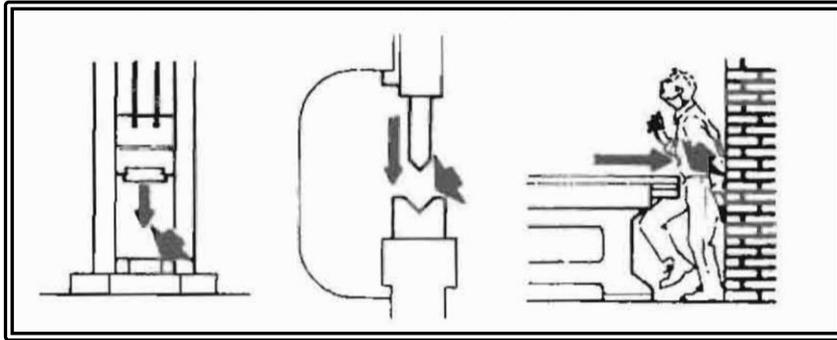


Imagen 3.6 Movimientos de rotación: piezas giratorias y partes fijas  
Imagen de CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo",  
9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 223

### Peligros generados por movimientos alternativos y de traslación

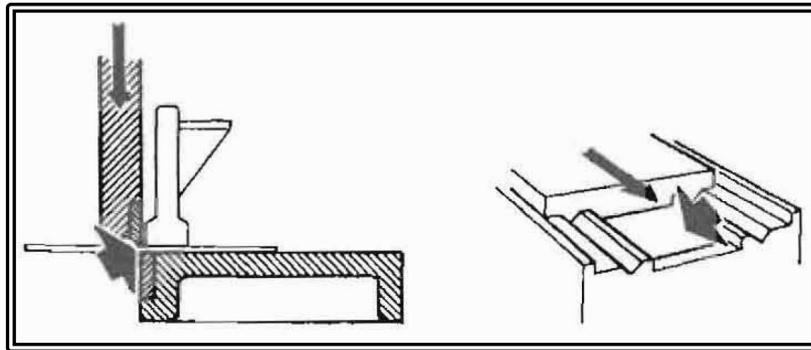
#### **Piezas con movimiento alternativo o de traslación y partes fijas**

**Formas de aproximación.** Se presentan en martillos de forja, corredera de prensa mecánica, máquinas de moldeo en fundición, movimiento de una máquina con respecto a una parte fija, etc. Originan peligros de aplastamiento.



**Imagen 3.7 Movimientos alternativos y de traslación: formas de aproximación**  
 Imagen de CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo",  
 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 223

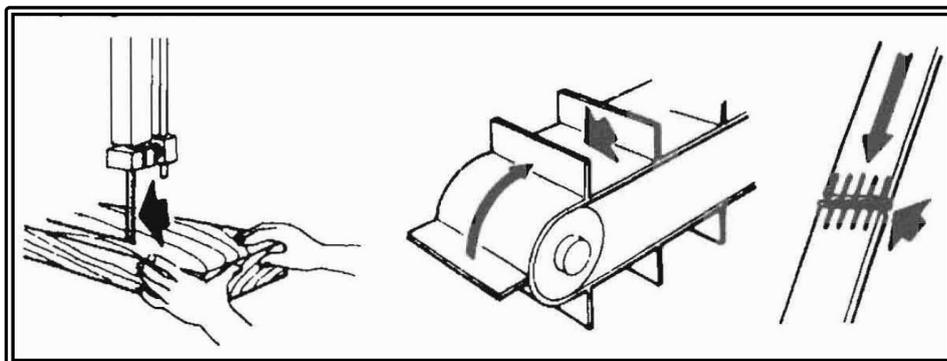
**Formas de sobrepaso.** Se presenta en cuchillas de guillotina, mesa de máquina- herramienta, etc. Originan peligros de aplastamiento o cizallamiento.



**Imagen 3.8 Movimientos alternativos y de traslación: formas de sobrepaso**  
 Imagen de CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo",  
 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 223

### **Movimientos de traslación simple**

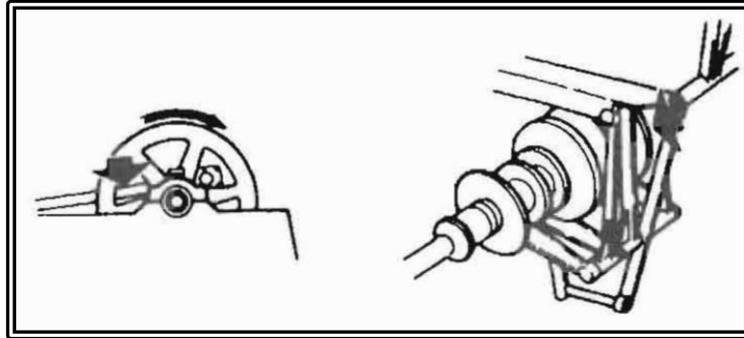
El peligro se debe generalmente a la naturaleza de la parte o elemento que se mueve (dientes de una hoja de cinta, costuras de correas, etc.). Presentan peligros de corte y enganche.



**Imagen 3.9 Movimientos de traslación simple**  
 Imagen de CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo",  
 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 224

### Peligros generados por movimientos de rotación y traslación

Se presenta en los mecanismos que tienen movimientos de traslación y rotación (conexiones de bielas y vástagos con ruedas o volantes, mecanismo lateral de algunas máquinas de imprimir y textiles, etc.). Presentan peligros de arrastre, enganche o aplastamiento.<sup>25</sup>

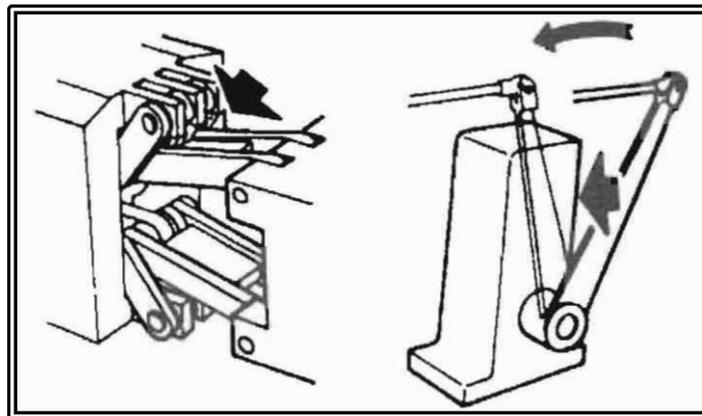


**Imagen 3.10 Movimientos de rotación y traslación**

Imagen de CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo", 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 224

### Peligros generados por movimientos de oscilación

Se presenta en los mecanismos que tienen movimientos de oscilación pendular, pudiendo presentarse también por movimientos de tijera (brazos articulados de poleas de tensión). Presentan peligros de aplastamiento, cizallamiento, enganche, etc.<sup>25</sup>



**Imagen 3.11 Movimientos de oscilación**

Imagen de CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo", 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 224

---

<sup>25</sup> CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo", 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 222

### Otros peligros mecánicos originados por las máquinas

El **contacto con materiales en fase de fabricación** se presenta en algunas máquinas tales como torno (peligro de arrastre de la pieza que mecaniza), prensa (peligro de impacto provocado por la hoja metálica que se está conformando), etc.

La **proyección de elementos de las máquinas** se presenta en casos de accidentes por roturas de la muela abrasiva, de la herramienta, etc. (peligro de impacto).

La **proyección de materiales** se presenta en máquinas-herramientas capaces de lanzar o proyectar ciertos materiales, virutas, chispas de soldadura, etc. (peligro de impacto, cortes, enganche, etc.).<sup>26</sup>

### Peligros mecánicos en la industria

Los procesos en los que las máquinas utilizadas son las de mayor riesgo mecánico son los procesos de conformación. Este tipo de procesos están presentes en la industria metal-mecánica. Dicha industria tiene como objetivo obtener piezas acabadas a partir de piezas brutas, cambiando sus formas y/o sus propiedades mediante diferentes procedimientos o procesos de conformación. Los procesos de conformación pueden ser **por arranque de viruta** (torneado, taladrado, fresado, etc.), **por deformación plástica** (forja, estampación, laminación, extrusión, etc.), **por moldeo o fundición, por soldadura, por desprendimiento de partículas** (esmerilado, rectificado, etc.) entre otros (sinterizado, ultrasonidos, láser, plasma, electroerosión, etc.).<sup>26</sup>

Dado el tema de este trabajo, se enfoca la atención únicamente a la conformación por deformación plástica, y en específico, a la extrusión.

La **conformación por deformación plástica** consiste en procesos en los que mediante la aplicación de esfuerzos de tracción y compresión, fundamentalmente, se modifica plásticamente la forma de las preformas. Pueden realizarse en caliente o en frío. De acuerdo con lo señalado pueden distinguirse los siguientes procedimientos de deformación plástica:

- Conformación por compresión
  - Con rodillos (Laminación)
  - Con estampa (estampado o forja mecánica)
- Conformación por extrusión
- Conformación por estirado

---

<sup>26</sup> CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo", 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 224,349

- Con rodillos (Laminación)
- Con hileras (estirado, trefilado)
- Conformación por embutición
- Conformación por momento flector:
  - Plegado
  - Aplanado y enderezado
  - Curvado

Operaciones que básicamente consisten en:

**Forja**, un proceso de conformación en caliente por el que metales o aleaciones se someten a deformación mediante compresión continua (prensas) o intermitente (martillos). Para obtener productos acabados o para, a partir de ellos, obtener por mecanizado posterior la forma definitiva (ruedas dentadas, cigüeñales, ejes, etc.).

**Extrusión**, que consiste en impulsar el metal o aleación mediante presión a través del orificio de una matriz. Se realiza generalmente en caliente.

**Estirado y trefilado**, son procesos de conformación plástica utilizando fuerzas de tracción principalmente. Cuando el producto obtenido es un alambre recibe el nombre de trefilado.

**Embutición**, proceso de conformación en el que mediante embutición profunda se obtienen piezas huecas a partir de chapas, sin disminución intencionada de su espesor.

Plegado, curvado, aplanado, enderezado, etc.: son operaciones características de calderería realizadas en chapas y perfiles en las que la deformación en frío se realiza con auxilio de máquinas especiales o a mano.<sup>27</sup>

### **Peligros eléctricos**

El riesgo eléctrico puede producir daños sobre las personas (contracción muscular, parada cardíaca y respiratoria, fibrilación ventricular, quemaduras, etc.) y sobre las cosas (incendios y explosiones).

---

<sup>27</sup> CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo", 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 501

### Factores que intervienen en el riesgo eléctrico

Si el riesgo eléctrico, se define como la "posibilidad de circulación de la corriente eléctrica a través del cuerpo humano" para que se dé dicha probabilidad se requiere que:

- El cuerpo humano sea conductor.
- El cuerpo humano pueda formar parte del circuito.
- Exista una diferencia de tensiones entre dos puntos de contacto.

### Intensidad de la corriente que pasa por el cuerpo humano

Experimentalmente está demostrado que es la intensidad que atraviesa el cuerpo humano y no la tensión la que puede ocasionar lesiones debido al accidente eléctrico.

Se distingue:

**Umbral de percepción:** valor de la intensidad de corriente que una persona con un conductor en la mano comienza a percibir (ligero hormigueo). Se ha fijado para corriente alterna un valor de 1 mA

**Intensidad límite:** máxima intensidad de corriente a la que la persona aún es capaz de soltar un conductor. Su valor para corriente alterna se ha fijado experimentalmente en 10 mA.

### Efectos de la corriente eléctrica sobre el organismo

Según el tiempo de exposición y la dirección de paso de la corriente eléctrica para una misma intensidad pueden producirse lesiones graves, tales como: asfixia, fibrilación ventricular, quemaduras, lesiones secundarias a consecuencia del choque eléctrico, tales como caídas de altura, golpes, etc. cuya aparición tiene lugar dependiendo de la influencia del factor tiempo de exposición. Se mencionan los efectos la tabla 3.12:<sup>28</sup>

Intensidad (mA)				EFECTOS SOBRE EL ORGANISMO
c.c.		c.a. (50 Hz)		
Hombre	Mujer	Hombre	Mujer	
1	0,6	0,4	0,3	• Ninguna sensación. • Umbral de percepción • Umbral de intensidad límite. • Choque doloroso y grave (contracción muscular y dificultad respiratoria). • Principio de fibrilación ventricular. Fibrilación ventricular posible en choques cortos:
5.2	3,5	1,1	0,7	
76	51	16	10,5	
90	60	23	15	
200	170	50	35	

<sup>28</sup> CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo", 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 306, 311

Intensidad (mA)				EFECTOS SOBRE EL ORGANISMO
c.c.		c.a. (50 Hz)		
Hombre	Mujer	Hombre	Mujer	
1300	1300	1000	1000	- Corta duración (hasta 0,03 s). - Duración 3 s
500	500	100	100	

Tabla 3.12 Efectos de la corriente eléctrica sobre el organismo

Datos obtenidos de CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo", 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 311

Se produce un **paro cardíaco** cuando la corriente pasa por el corazón y su efecto en el organismo se traduce en un paro circulatorio por parada cardíaca. Se produce **asfixia** cuando la corriente eléctrica atraviesa el tórax. Impide la acción de los músculos de los pulmones y la respiración. Pueden producirse **quemaduras** internas o externas por el paso de la intensidad de corriente a través del cuerpo por Efecto Joule ( $Q = 0.24 \cdot R \cdot I^2 \cdot t$ ) o por proximidad al arco eléctrico. La **tetanización** o **contracción muscular** consiste en la anulación de la capacidad de reacción muscular que impide la separación voluntaria del punto de contacto, este fenómeno define la intensidad límite. La **fibrilación ventricular** se produce cuando la corriente pasa por el corazón y su efecto en el organismo se traduce en un paro circulatorio por rotura del ritmo cardíaco y se presenta con intensidades del orden de 100 mA. La **fibrilación** se produce cuando el choque eléctrico tiene una duración superior a 0.15 segundos, el 20% de la duración total del ciclo cardíaco medio del hombre, que es de 0.75 segundos. Y las **lesiones permanentes** son producidas por destrucción de la parte afectada del sistema nervioso (parálisis, contracturas permanentes, etc.).<sup>29</sup>

### Tipos de contactos eléctricos

El contacto en el circuito eléctrico en tensión se puede producir de dos formas: directo o indirecto. El **contacto directo** es el que tiene lugar con las partes activas del equipo que está diseñada para llevar tensión (cables, clavijas, barras de distribución, bases de enchufe, etc.) y el **contacto indirecto** es el que tiene lugar al tocar ciertas partes que habitualmente no están diseñadas para el paso de la corriente eléctrica, pero que pueden quedar en tensión por algún defecto (partes metálicas o masas de equipos o accesorios).<sup>30</sup>

### Peligros térmicos

Se entiende por estrés térmico como la presión que se ejerce sobre la persona al estar expuesta a temperaturas extremas y que, a igualdad de valores de temperatura, humedad y velocidad del aire

<sup>32, 33</sup> CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo", 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 312

(discomfort), presenta para cada persona una respuesta distinta dependiendo de la susceptibilidad del individuo y de su aclimatación.<sup>31</sup>

#### Reacción del cuerpo humano a las bajas temperaturas

El cuerpo humano, de sangre caliente, precisa para su supervivencia mantener su temperatura comprendida entre unos límites muy reducidos  $37\text{ °C} \pm 1,5\text{ °C}$ , reaccionando cuando se le somete a un ambiente térmico de frío intenso (contacto con agua muy fría, trabajos en cámaras frigoríficas industriales, o a la intemperie, etc.) produciéndose la hipotermia, puesta de manifiesto por una contracción de los vasos sanguíneos de la piel (vasoconstricción), una reducción de la superficie corporal (piel de gallina) o un aumento de la actividad voluntaria y escalofríos (tiritonas) con el fin de evitar la pérdida de la temperatura basal. Como consecuencia de ello los órganos más alejados del corazón, las extremidades, son los primeros en acusar la falta de riego sanguíneo, además de las partes más periféricas del cuerpo (nariz, orejas, mejillas) más susceptibles de sufrir congelación. Otros síntomas que siguen a la exposición prolongada al frío; dificultad en el habla, pérdida de memoria, pérdida de destreza manual, shock e incluso la muerte<sup>32</sup>.

#### Reacción del cuerpo humano a las altas temperaturas

El aumento de la temperatura del ambiente provoca igualmente el aumento de la temperatura corporal de las personas expuestas al mismo. Sobre este aumento de temperatura el cuerpo reacciona con la sudoración y el aumento del riego sanguíneo para facilitar la pérdida de calor por convección a través de la piel y que a su vez son causa de una serie de trastornos, tales como la pérdida de elementos básicos para el cuerpo (agua, sodio, potasio, etc.) motivada por la sudoración o la bajada de tensión provocada por la vasodilatación que puede dar lugar a que no llegue riego suficiente sangre a órganos vitales del cuerpo como el cerebro, produciendo los típicos desmayos o lipotimias.

#### Por contacto térmico

El riesgo de contacto térmico tiene lugar cuando se manipulan materiales muy calientes o muy fríos. Las causas de este riesgo pueden ser, entre otras, la falta de aislamiento de los equipos, no seguir los procedimientos de trabajo establecidos y la falta de señalización del riesgo.

---

<sup>34. 35</sup> CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo", 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 465

Los daños que pueden producirse por el contacto térmico implican la aparición de quemaduras leves, graves o muy graves, en función de su extensión y profundidad. El cuerpo humano tolera temperaturas de hasta 40° C; por encima se pierde la capacidad natural de la piel de regenerarse. Una quemadura puede ser dolorosa o no, dependiendo de su grado. Las **quemaduras de primer grado** solo afectan a la capa más superficial de la piel, y se caracterizan por un enrojecimiento de la piel que duele al contacto, comúnmente las encontramos cuando la persona ha tenido una exposición prolongada al sol. Las **quemaduras de segundo grado** son un poco más profundas, su característica principal es la aparición de ampollas. Las ampollas son un sistema de defensa ante la quemadura: protege de las infecciones y, con el líquido que contienen, hidratan la herida y ayudan a la cicatrización. Estas quemaduras son muy dolorosas. Mientras que en las **quemaduras de tercer grado** es posible ver tejido carbonizado, las terminaciones nerviosas encargadas de transmitir el dolor se destruyen, estas quemaduras no duelen.<sup>33</sup>

### Peligros producidos por el ruido

Podemos definir el sonido como cualquier variación de presión, sobre la presión atmosférica, que el oído humano puede detectar. Dado que tiene su origen en un movimiento vibratorio que se transmite en un medio (sólido, líquido o gaseoso), podemos definirlo como una vibración acústica capaz de producir una sensación auditiva. El ruido se define como un sonido no deseado.<sup>34</sup>

### Efectos del ruido sobre el organismo

La acción de un ruido intenso sobre el organismo se manifiesta de varias formas, bien por acción refleja o por repercusión sobre el psiquismo del individuo.

En el orden fisiológico, entre las consecuencias de los ruidos intensos podemos señalar las siguientes:

- Acción sobre el aparato circulatorio:
  - Aumento de la presión arterial
  - Aumento del ritmo cardíaco
  - Vaso-constricción periférica
- Acción sobre el metabolismo, acelerándolo.
- Acción sobre el aparato muscular, aumentando la tensión.
- Acción sobre el aparato digestivo, produciendo inhibición de dichos órganos.

---

<sup>33</sup> Rioja salud "Prevención de riesgos laborales en el sector sanitario" extraído de: <https://www.riojasalud.es/profesionales/prevencion-de-riesgos/872-prevencion-de-riesgos-laborales-en-el-sector-sanitario?showall=&start=1>

<sup>34</sup> CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo", 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 421

- Acción sobre el aparato respiratorio, modificando el ritmo respiratorio.

Estas acciones son pasajeras y se producen inconscientemente, espontáneamente y son independientes de la sensación de desagrado o malestar.

En el orden psicológico el ruido es causa generalmente de molestia y discomfort, dependiendo de factores objetivos o subjetivos. El desagrado es más fuerte cuando los ruidos son intensos y de alta frecuencia. Los ruidos discontinuos e inesperados molestan más que los ruidos continuos o habituales. El tipo de actividad desarrollada por el individuo ejerce una influencia en el desagrado que este experimenta.<sup>35</sup>

Cuando el ruido actúa sobre el oído, dependiendo de su intensidad, el espectro de frecuencias y el tiempo de exposición, puede llegar a producir un trauma auditivo irreversible, con una lesión irreversible al órgano de Corti, dando lugar a la sordera. Para llegar a esta situación han de darse determinadas circunstancias, bien un traumatismo lento, por un actuar del ruido intenso sobre el oído y lesionar la célula sensorial o bien un accidente agudo intensivo, que puede dar lugar a una deformación o lesión mecánica de la membrana basilar. Si la disminución de la capacidad auditiva es solo temporal recibe el nombre de fatiga auditiva y desaparece a los pocos minutos de abandonar el ambiente ruidoso. Si la exposición al ruido intenso es diaria y dura mucho tiempo, la recuperación de la sensibilidad auditiva puede ser sólo parcial. A medida que el proceso avanza se producen disminuciones de sensibilidad en la banda conversacional, pasando del sordo profesional al sordo social

La sensibilidad del oído humano depende de la susceptibilidad de las personas y de la edad, produciéndose una disminución de la agudeza auditiva a medida que aumenta aquélla.<sup>35</sup>

La tabla 3.13 indica diferentes actividades humanas, con sus correspondientes NPA ( $L_p$ ) y las sensaciones subjetivas que producen.

Presión acústica ( $\mu P_a$ )	NPA ( $L_p$ ) (dB)	Actividad	Sensación
$2 \cdot 10^8$	140	Despegue de avión	Intolerable
$2 \cdot 10^7$	120	Sala de máquinas buque	Doloroso
$2 \cdot 10^6$	100	Prensas automáticas	Muy ruidoso
$2 \cdot 10^5$	80	Tráfico pesado	Ruidoso
$2 \cdot 10^4$	60	Restaurante	Ruido moderado
$2 \cdot 10^3$	40	Zona residencial nocturna	Poco ruidoso

<sup>35</sup> CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo", 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 423, 425

Presión acústica ( $\mu\text{Pa}$ )	NPA ( $L_p$ ) (dB)	Actividad	Sensación
$2 \cdot 10^2$	20	Estudio radio o TV	Silencioso
20	0		Umbral de audición

Tabla 3.13 Efectos del ruido sobre el organismo

CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo", 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 427

### Tipos de ruidos

Los ruidos los podemos clasificar en **ruido de impacto** o de impulso, aquel en el que el NPA decrece exponencialmente con el tiempo y las variaciones entre dos máximos consecutivos de nivel acústico se efectúan en un tiempo superior a un segundo, con un tiempo de actuación inferior o igual a 0,2 segundos, y en **ruido continuo** o estacionario, aquel en el que el NPA (Nivel de Presión Acústica) se mantiene constante en el tiempo y si posee máximos estos se producen en intervalos menores de un segundo (ruido de un ventilador, máquina de fabricación continua, etc.). Los ruidos continuos pueden ser: estables o variables. *Estable* cuando se presenta cuando su NPA ponderado A en un punto se mantiene prácticamente constante en el tiempo, la diferencia de valores máximo y mínimo es inferior a 5 dB(A). Y *variable* cuando el NPA oscila en más de 5 dB(A) a lo largo del tiempo. Un ruido variable puede descomponerse en varios ruidos estables.<sup>36</sup>

### Peligros producidos por las vibraciones

Las vibraciones pueden ser consideradas como un movimiento oscilatorio de partículas o cuerpos en torno a una posición de referencia. El número de veces por segundo que se realiza el ciclo completo se llama frecuencia y se mide en hercios. Este movimiento puede ser periódico armónico, aleatorio o transitorio. Desde el punto de vista higiénico, según la OIT, el término vibración comprende todo movimiento transmitido al cuerpo humano por estructuras sólidas capaz de producir un efecto nocivo o cualquier tipo de molestia.

El fenómeno se caracteriza por la amplitud del desplazamiento de las partículas, su velocidad y su aceleración. Muy frecuentemente, en los procesos industriales, se asocia la exposición a las vibraciones con la exposición al ruido ya que por lo general ambos se originan en la misma operación y se trata de desplazamientos oscilatorios, dentro del campo de las frecuencias infrasonoras y parcialmente sonoras

---

<sup>36</sup> CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo", 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 430

Sin embargo, los efectos que se producen a raíz de una exposición al ruido y a las vibraciones son completamente diferentes en su naturaleza.

Las causas comunes de la vibración son debidas a partes de máquinas desequilibradas en movimiento, flujos turbulentos de fluidos, golpes de objetos, impulsos, choques, etc. Se presenta en la mayoría de las máquinas y herramientas utilizadas por los trabajadores (vehículos de transporte por carretera, ferrocarril o marítimo, vehículos y maquinaria agrícola, maquinaria de obras públicas, herramientas manuales, carretillas elevadoras, máquinas neumáticas, etc.).

En general la vibración es un fenómeno físico no deseable aunque en ocasiones se produce para hacer funcionar un dispositivo (martillos mecánicos, cintas transportadoras vibratorias, tamices vibradores, etc.) y en tales casos el ruido resultante es inevitable, debiendo procederse a su aislamiento.<sup>37</sup>

#### Efectos de las vibraciones sobre el organismo

El cuerpo humano percibe vibraciones en una gama de frecuencias que va desde una fracción de hercios hasta 1.000 Hz.

El efecto de las vibraciones se clasifica por el tipo de exposición a las vibraciones en dos categorías, según los medios por los que el trabajador se pone en contacto con el medio vibrante. La primera denominada **vibración de cuerpo total**, resulta al someter la masa total del cuerpo a una vibración mecánica. La segunda categoría denominada **vibración segmental**, aquella a la que sólo está expuesta una parte del cuerpo.

La tabla 3.14, extraída del anexo 8/6/2 de Higiene industrial Básica, INSHT 1986, señala los efectos perjudiciales de las vibraciones en el hombre dependiendo de la frecuencia de la vibración.<sup>38</sup>

EFECTOS PERJUDICIALES DE LAS VIBRACIONES EN EL HOMBRE		
FRECUENCIA	MÁQUINA O HERRAMIENTAS QUE LA ORIGINA	EFECTOS SOBRE EL ORGANISMO
Muy baja frecuencia 1 Hz	Transporte: Avión, coche, barco, tren (movimiento de balanceo)	Estimulan el laberinto del oído izquierdo. Provocan trastornos en el sistema nervioso central. Puede producir mareos y vómitos (mal de los transportes).

---

<sup>37, 42</sup> CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo", 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 446, 449

EFECTOS PERJUDICIALES DE LAS VIBRACIONES EN EL HOMBRE		
FRECUENCIA	MÁQUINA O HERRAMIENTAS QUE LA ORIGINA	EFECTOS SOBRE EL ORGANISMO
Baja frecuencia 1 - 20 Hz	Vehículos de transporte para pasajeros y/o mercancías. Vehículos industriales, carretillas, etc. Maquinaria y vehículos de obras públicas Tractores y maquinaria agrícola	Lumbalgias, hernias, pinzamientos discales, lumbociáticas. Agravan lesiones raquídeas menores e inciden sobre trastornos debidos a malas posturas Síntomas neurológicos Variación del ritmo cerebral, dificultad del equilibrio. Trastornos de visión por resonancia.
Alta frecuencia 20 - 1000 Hz	Herramientas manuales rotativas, alternativas o percutoras tales como: - Pulidoras - Lijadoras - Motosierras - Martillo neumático	Trastornos ósteo-articulares objetivables radiológicamente tales como: • Artrosis hiperostósante de codo. • Lesiones de muñeca. • Afecciones angioneuróticas de la mano tales como calambres que pueden acompañarse de trastornos prolongados de sensibilidad. • Aumento de la incidencia de enfermedades de estómago.

Tabla 3.14. Efectos de las vibraciones sobre el organismo

Fuente: CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo", 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 449

### Peligros producidos por las radiaciones

La radiación es un fenómeno físico consistente en la emisión, propagación y absorción de energía por parte de la materia, tanto en forma de ondas (radiaciones sonoras o electromagnéticas), como de partículas subatómicas (corpúsculares).

Las radiaciones electromagnéticas vienen determinadas:

- Por su frecuencia ( $\gamma$ ): número de ondas que pasan por un punto del espacio en la unidad de tiempo. Se mide en Hz.

- Por su longitud de onda ( $\lambda$ ): distancia medida a lo largo de la línea de propagación entre dos puntos en fase de ondas adyacentes. Se mide en unidad de longitud, desde nm hasta Km.

- Por su energía (E): proporcional a la frecuencia. Se mide en energía por fotón y su unidad es el eV.

Pudiendo clasificarse de acuerdo con lo expuesto en: *radiaciones ionizantes* (RI) y *no ionizantes* (RNI):<sup>39</sup>

<sup>39</sup> CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo", 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 458

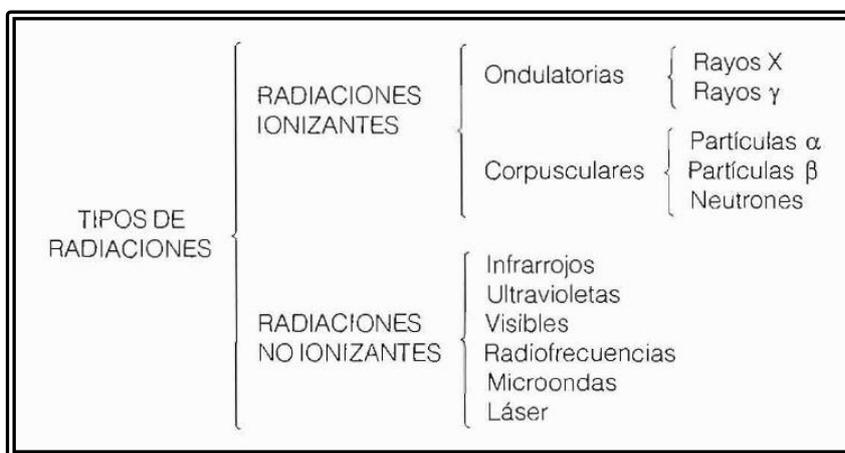
RADIACIONES ELECTROMAGNÉTICAS			
TIPO DE RADIACIÓN	FRECUENCIA	LONGITUD DE ONDA	ENERGÍA/FOTÓN
IONIZANTE (RI)	> 3.000 THz	< 100 nm	> 12,4 eV
NO IONIZANTE (RNI)	≤ 3000 THz	≥ 100 nm	≤ 12,4 eV
• Ultravioleta (UV)	3000 - 750 THz	100 - 400 nm	12,4 - 3,1 eV
• Visible	750 - 385 THz	400 - 780 nm	3,1 - 1,59 eV
• Infrarroja (IR)	385 - 0,3 THz	0,78 - 1000 μm	1,590 - 1.24 meV
• Microondas (MO)	300 - 0,3 GHz	1 - 1000 mm	1,240 - 1,24 μeV
• Radiofrecuencias (RF)	300 - 0,1 MHz	1 - 3.000 m	1,240 - 0,41 neV
• Extremadamente bajas frecuencias (FEB)	3000 - 0 Hz	≅ 5.000 km	
• Ultrasonidos	< 20 kHz	< 17 mm	

Tabla 3.15 *Determinantes de los tipos de radiaciones*

CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo", 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 458

### Tipos de radiaciones

Las radiaciones se dividen en **ionizantes** (provocan expulsión de electrones de su órbita atómica, es decir, capaces de ionizar átomos) y **no ionizantes**. Son radiaciones no ionizantes los campos eléctricos, radiofrecuencia, microondas, infrarroja, visible, ultravioleta y láser. Y radiaciones ionizantes los rayos X, rayos gamma ( $\gamma$ ), partículas beta ( $\beta$ ) y neutrones.<sup>40</sup>



Cuadro 3.16 *Tipos de radiaciones*

Fuente: CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo", 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 459

Las **radiaciones ionizantes** se clasifican en *ondulatorias* y *corpusculares*, con las características que se indican en la imagen 3.17.

<sup>40</sup> CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo", 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 459

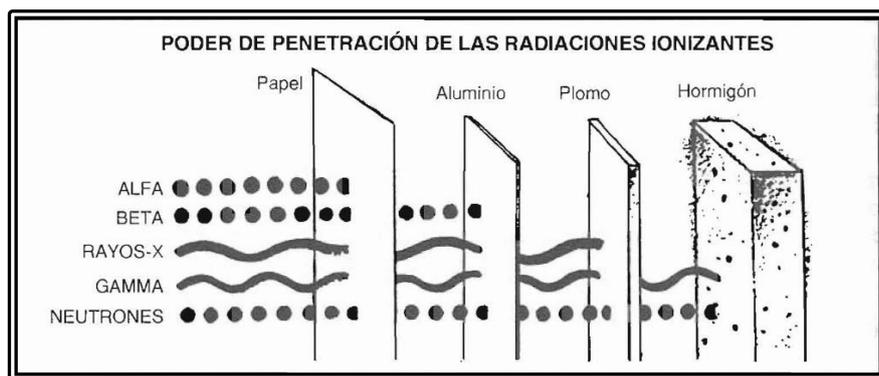


Imagen 3.17 Radiaciones ionizantes

Fuente: CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo", 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 460

TIPOS DE RADIACIONES IONIZANTES		
RADIACIONES ONDULATORIAS	RAYOS X	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se producen en reacciones o interacciones de las capas electrónicas del átomo.</li> <li>- En las fuentes en las que normalmente se utilizan se puede controlar su producción.</li> </ul>
	RAYOS $\gamma$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se producen en reacciones de núcleos atómicos inestables,</li> <li>- Su poder de penetración es muy elevado,</li> </ul>
RADIACIONES CORPUSCULARES	PARTÍCULAS $\alpha$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Son núcleos de helio, Poseen: Cuatro unidades de y dos unidades de carga eléctrica positiva.</li> <li>- Su poder de penetración es muy escaso.</li> </ul>
	PARTÍCULAS $\beta$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Son electrones nucleares expulsados a gran velocidad, Su masa es prácticamente nula y posee carga negativa.</li> <li>- Poseen penetración escasa,</li> </ul>
	NEUTRONES	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Forman junto con los protones el núcleo. No tienen masa ni carga,</li> <li>- Poseen penetración elevada.</li> </ul>

Tabla 3.18 Tipos de radiaciones ionizantes

Fuente: CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo", 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 460

Las radiaciones no ionizantes han aumentado considerablemente en los últimos años, tanto en la industria como en la vida común, debido al auge de productos electrónicos que usan o emiten radiaciones (rayos láser, hornos microondas, equipos de inspección por infrarrojos, fotocopiadoras, telecomunicaciones, etc.).

Desde el punto de vista de la Higiene del Trabajo los tipos de radiaciones más importantes son las microondas, infrarrojos y ultravioleta. Mientras que por su posible incidencia en los accidentes, la radiación visible resulta importante para la seguridad. Las radiaciones microondas tienen gran importancia en la industria y medicina (hornos microondas, aceleradores de reacción para disminuir

tiempos de reacción, etc.). Sus efectos no térmicos resultan aún poco conocidos. Las *radiaciones infrarrojas* provienen de objetos calientes, se presentan en operaciones industriales como en hornos de secado, hornos de fusión, etc., pudiendo provocar irritaciones en la piel, efectos sobre los ojos con riesgo de producir cataratas, etc. Las *radiaciones ultravioletas*, que aunque la mayor fuente de esta radiación es el Sol, la capa de ozono hace que sólo lleguen las radiaciones menos dañinas y en pequeñas cantidades, provienen también de fuentes industriales, operaciones de soldadura al arco y plasma, lámparas germicidas, fotocopiadoras, lámparas de descarga de mercurio, esterilizadoras de alimentos, tubos fluorescentes, etc. Entre sus efectos más importantes podemos citar pigmentación, enrojecimiento, quemaduras y cáncer de piel, inflamación de la córnea y queratitis.<sup>41</sup>

Los efectos de las radiaciones ionizantes se dan por irradiación o por contaminación radiactiva. Por *irradiación* se presenta el riesgo sin que exista contacto directo con la fuente de radiación. Y por *contaminación radiactiva* es al contacto directo con la fuente radiactiva dispersa en el ambiente o depositada en superficies.

La exposición a radiación ionizante presenta alteraciones sobre el aparato digestivo, piel, sistema reproductor, ojos, sistema cardiovascular, sistema nervioso, sistema urinario, etc.), dependiendo la dosis de radiación recibida y la dosis por unidad de tiempo. Estos efectos pueden ponerse de manifiesto, tanto en corto espacio de tiempo como después de un cierto período de años, incluso habiendo cesado la exposición.<sup>41</sup>

### **Peligros producidos por materiales y sustancias**

Se consideran productos químicos peligrosos a aquellos que por su carácter inflamable, tóxico, corrosivo, explosivo, comburente, nocivo, cancerígeno, mutagénico, etc., entrañan una cierta peligrosidad para las personas y el medio ambiente.

Los riesgos químicos pueden deberse a factores intrínsecos (propios de los productos en función de sus propiedades físico-químicas o reactividad química en las condiciones de uso) o extrínsecos, dependiendo de las condiciones de inseguridad en las que se utilizan los productos químicos, fundamentalmente por el desconocimiento de su peligrosidad o de los procesos en los que se utilizan, así como las medidas de prevención a adoptar en casos de exposición a la acción peligrosa de estos.<sup>41</sup>

---

<sup>41</sup> CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo", 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 372, 459, 462

### Productos químicos peligrosos

De acuerdo con lo establecido en el R.D. 363/1995, se consideran productos químicos peligrosos las siguientes sustancias y preparados:

**Por sus propiedades físico-químicas.** *Explosivos*: sustancias sólidas, líquidas pastosas o gelatinosas que aun en ausencia de oxígeno son capaces reaccionar exotérmicamente formando gases y en determinadas condiciones detonan, deflagran rápidamente o bajo el efecto de calor explosionan. *Comburentes*: sustancias que en contacto con otras sustancias (inflamables) se produce una fuerte reacción exotérmica. *Extremadamente inflamables*: sustancias líquidas con puntos de ignición y ebullición bajos, y sustancias gaseosas que a temperatura y presión normales son inflamables en contacto con el aire. *Fácilmente inflamables*: sustancias que puedan calentarse e inflamarse en el aire a temperatura ambiente sin aporte de energía, sólidos que pueden inflamarse fácilmente tras breve contacto con una fuente de inflamación y siguen quemándose una vez retirada dicha fuente, líquidos con punto de ignición muy bajo, en contacto con el agua o con aire húmedo desprenden gases extremadamente inflamables en cantidades peligrosas. *Inflamables*: sustancias con bajo punto de ignición.

**Por sus propiedades toxicológicas.** *Muy tóxicos*: sustancias que por inhalación, ingestión o penetración cutánea en muy pequeña cantidad provocan efectos agudos e incluso la muerte. *Tóxicos*: sustancias que por inhalación, ingestión o penetración cutánea en pequeñas cantidades puedan provocar efectos agudos o crónicos e incluso la muerte. *Nocivos*: sustancias que por inhalación, ingestión o penetración cutánea provocan efectos agudos o crónicos e incluso la muerte. *Corrosivos*: sustancias que, en contacto con tejidos vivos, ejercen acción destructiva de los mismos. *Irritantes*: sustancias no corrosivos que en contacto breve, prolongado o repetido con la piel o las mucosas provocan una reacción inflamatoria. *Sensibilizantes*: sustancias que por inhalación o penetración cutánea, ocasionan una reacción de hipersensibilidad, de forma que una exposición posterior a esa sustancia da lugar a efectos negativos característicos.

**Por sus efectos específicos sobre la salud.** *Carcinogénicos*: sustancias que por inhalación, ingestión o penetración cutánea producen cáncer o aumentan su frecuencia. *Mutágenos*: sustancias que por inhalación, ingestión o penetración cutánea, producen alteraciones genéticas hereditarias o aumentan su frecuencia. *Tóxicos para la reproducción*: sustancias que por inhalación, ingestión o penetración cutánea, producen efectos negativos no hereditarios en la descendencia, o aumentan la frecuencia de éstos, o afecta de forma negativa la capacidad reproductora.

**Por sus efectos sobre el medio ambiente.** *Peligrosos para el medio ambiente:* sustancias que presentan un peligro inmediato o futuro para uno o más componentes del medio ambiente.<sup>42</sup>

### **Peligros producidos por no respetar los principios ergonómicos en el diseño de máquinas**

El propósito buscado por la ergonomía se fundamenta en los principios básicos:

- a) La máquina se concibe como un elemento al servicio de la persona, susceptible a ser modificada y perfeccionada.
- b) La persona constituye la base de cálculo del sistema persona-máquina y en función de ésta la máquina deberá ser diseñada, a fin de permitirle realizar el trabajo libre de toda fatiga física, sensorial o psicológica.

En la fase del diseño de las máquinas se tienen en cuenta los siguientes criterios ergonómicos:

- Criterios geométricos.
- Criterios de visibilidad.
- Criterios ambientales.

A continuación se analizan los criterios geométricos y ambientales, al ser los que deben cumplir con las exigencias requeridas por el cuerpo humano. Los criterios de visibilidad únicamente respectan a la estética por lo que son considerados con libertad por los diseñadores de la máquina.

#### **Ergonomía geométrica:**

Centra su estudio en la relación entre la persona y las condiciones geométricas del puesto de trabajo. Precisando datos antropométricos y dimensiones esenciales (zonas de alcance óptimas, altura del plano de trabajo y espacios reservados a las piernas).<sup>42</sup>

---

<sup>42</sup> CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo", 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 373, 565

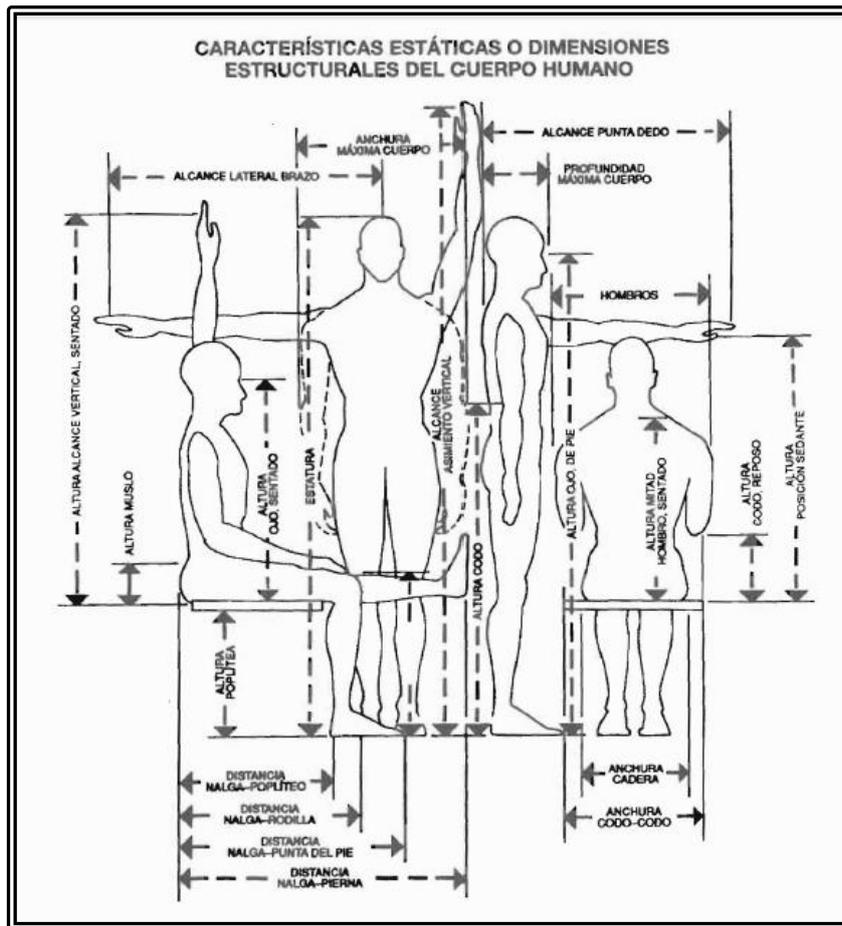


Imagen 3.19 Ergonomía geométrica: Características estáticas del cuerpo humano  
 Imagen de: CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo", 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 566

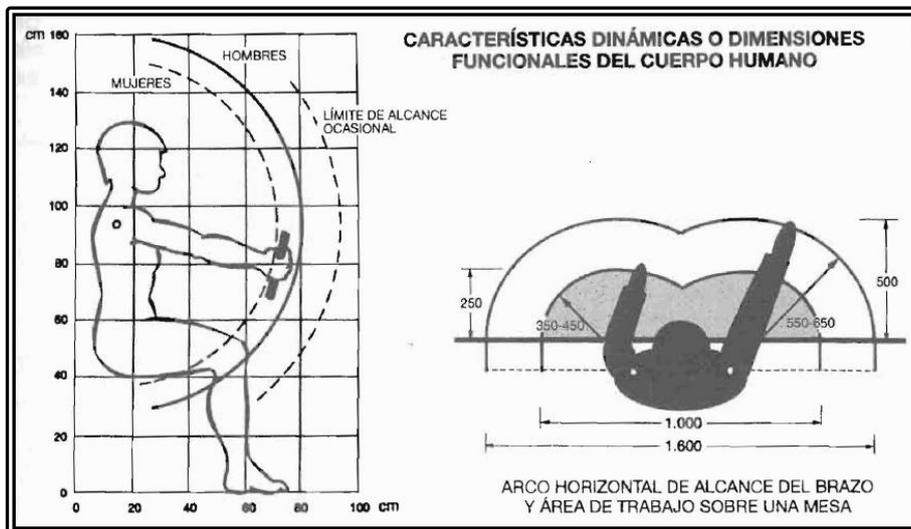


Imagen 3.20 Ergonomía geométrica: Características dinámicas del cuerpo humano  
 Imagen de: CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo", 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 567

### Ergonomía ambiental:

Estudia factores ambientales, generalmente físicos, que constituyen el entorno del sistema persona-máquina.<sup>43</sup>

Considerados dentro de los factores ambientales está el ambiente **térmico** que comprende tanto los factores ambientales (temperatura, humedad, velocidad del aire, etc.), como los individuales (tipo de actividad, vestimenta, metabolismo, etc.). En el diagrama psicrométrico representado en la imagen 3.21 se incluyen las zonas de temperaturas confortables para diversos grados de humedad, correspondientes a una persona de 70 kg de peso y 1,7 m de estatura, adecuadamente vestida y para una velocidad del aire comprendida entre 0,1 m/s y 0,5 m/s, dependiendo del tipo de actividad.<sup>44</sup>

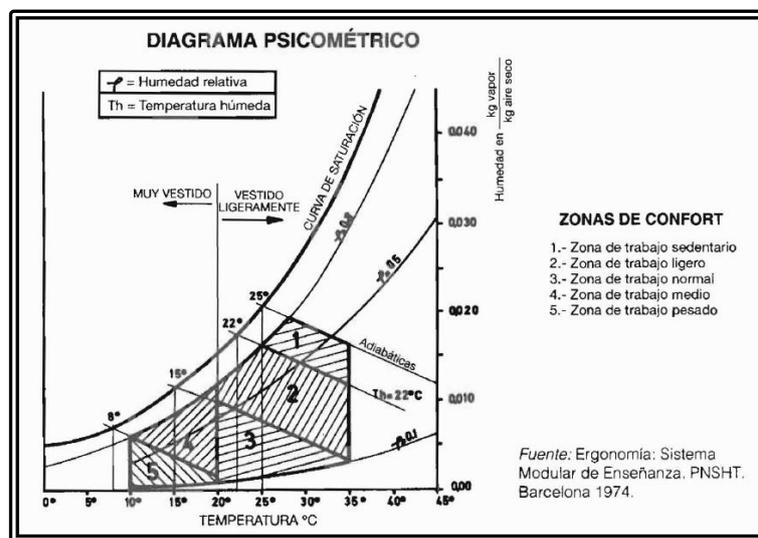


Imagen 3.21. Temperaturas de trabajo (ambiente térmico)

Imagen de: CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo", 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 568

El ambiente **visual** se refiere a características cromáticas, iluminación, mandos, señales, etc. Se han establecido niveles de iluminación adecuados a cada tipo de trabajo. En la tabla 3.23 se incluyen algunos estándares de iluminación para determinadas tareas.<sup>45</sup>

<sup>43, 51, 52</sup> CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo", 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 567 - 568

NIVELES DE ILUMINACIÓN RECOMENDADOS POR EL IES <sup>46</sup> PARA DIFERENTES TAREAS	
SITUACIÓN Y TAREAS	NIVEL DE ILUMINACIÓN RECOMENDADO (Lux)
Montaje: • Visión fácil • Visión algo difícil • Media • Fina • Extrafina	300 500 1000 5000 10000
Sala de máquinas: • Producto bruto y trabajo de máquina • Producto medio y trabajo de máquina • Trabajo fino y trabajo de máquina • Producto extrafino y trabajo de máquina, trabajo fino, como el efectuado con una muela	500 1000 5000 10000
Almacenes y depósito: inactivos	50
Oficinas: • Cartografía, diseño, dibujo en detalle • Contabilidad, clasificación de libros • Clasificación del correo • Pasillos, ascensores, escaleras	2000 1500 1000 200
Residencias: • Cocina, preparación de comida • Leer, escribir	1500 700

Tabla 3.23 Iluminaciones de trabajo (ambiente visual)

Fuente: CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo". 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 569

La tabla 3.24 muestra los niveles de iluminación necesarios en los lugares de trabajo, en función del tamaño de los detalles requeridos en las diferentes actividades industriales.

NIVELES DE ILUMINACIÓN EN LUX RECOMENDADOS EN FUNCIÓN DEL TAMAÑO DE LOS DETALLES			
TAMAÑO DEL DETALLE	CONTRASTE		
	ELEVADO	MEDIO	BAJO
Minúsculo < 0,1 mm	2500 – 3000	7000 – 10000	20000 – 30000
Pequeño < 0,5 mm	1000 – 1500	3000 - 4500	10000 - 15000
Muy pequeño < 1 mm	500 – 700	1500 - 2000	5000 - 7000
Pequeño $\cong$ 1 mm	200 – 300	700 -1000	2000 - 3000
Medio $\cong$ 2 mm	100 – 150	300 - 500	1000 - 1500
Grueso $\cong$ 5 mm	50 - 70	150 - 200	500 - 700

Tabla 3.24 Iluminaciones de trabajo en detalles (ambiente visual)

Fuente: Ergonomía. Sistema Modular de Enseñanza. PNSHT Barcelona 1974.

Cualquiera que sea el nivel de iluminación requerido en una determinada actividad la iluminación más confortable es la que proporciona luz difusa, lo que se consigue elevando el número de puntos de luz.

<sup>46</sup> IES (Illuminating Engineering Society)

Las características cromáticas tienen que ver con la capacidad visual del individuo, fundamentalmente, la agudeza visual (distinción de detalles en blanco y negro) y la discriminación del color, constituyen los factores más importantes al diseñar displays visuales (escala horizontal, escala vertical, escalas de ventanilla, escalas circulares, displays digitales, figurativos, etc.) y códigos de señales (señalización en carreteras, lugares de trabajo, etc.).

El ambiente **acústico** constituido por la existencia de ruidos o sonidos no deseados en el lugar de trabajo que producen en el organismo efectos, como la pérdida de audición o sordera, y otras consecuencias molestas como la dificultad para mantener una conversación.<sup>47</sup>

La imagen 3.24 señala la zona de confort para el oído humano en función de la potencia acústica (dB), las frecuencias del sonido y el tiempo de exposición.

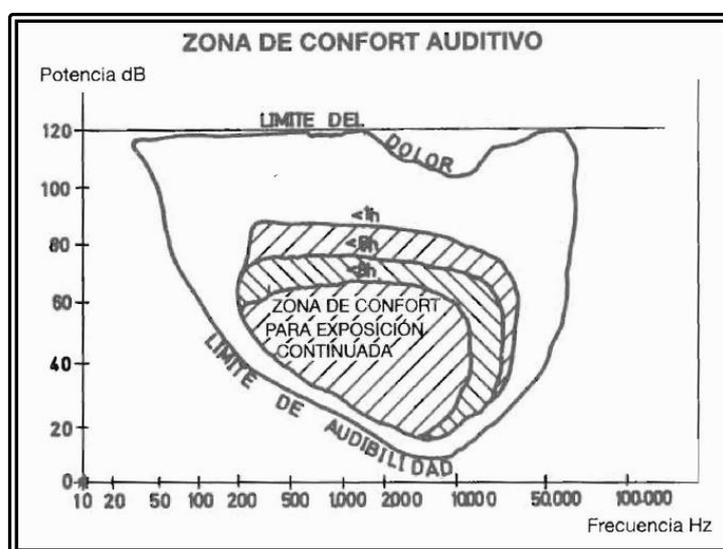


Imagen 3.25 *Sonido de trabajo (ambiente acústico)*

Imagen de: CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo", 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 570

Otro factor dentro del ambiente acústico es la música ambiental, que puede suponer una manera de combatir la monotonía o la fatiga, igualmente puede constituir motivo de distracción en trabajos de elevada concentración mental.<sup>47</sup>

El ambiente **mecánico** involucra las máquinas y herramientas en cuanto a factores relativos como su ubicación, condiciones de funcionamiento, instalación, etc. determinantes del confort. Consecuencias derivadas de la instalación pueden mencionarse las vibraciones transmitidas a través de un medio

---

<sup>47</sup> CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo", 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 569-571

sólido produciendo a su vez efectos dinámicos desagradables, molestos y perjudiciales para su salud, dependiendo de las características de dicha vibración.<sup>48</sup>

El ambiente **electromagnético** está constituido por radiaciones no ionizantes, fundamentalmente infrarrojas, ultravioletas y microondas, muy frecuentes en ambientes de trabajo, por la presencia de productos electrónicos, cuya acción sobre el organismo produce diferentes efectos biológicos.<sup>48</sup>

El estudio del confort ambiental deberá contener el estudio de las radiaciones previsibles en el ambiente de trabajo y controlar los tiempos de exposición, adaptando las medidas adecuadas para su control, por ejemplo: <sup>48</sup>

- Apantallamiento del foco productor.
- Utilización de pantallas y paredes anti reflexivas.
- Aumento de la distancia entre el foco productor y el trabajador.
- Reducción de los tiempos de exposición al riesgo.
- Protecciones de los ojos y la piel de las personas expuestas.

El ambiente **atmosférico** contempla los contaminantes químicos o biológicos y otros factores determinantes de la calidad del aire interior.

El efecto de los contaminantes químicos y biológicos es conocido en la mayoría de los casos, así como los valores de concentraciones seguras y sus técnicas de control; no ocurre lo mismo con otro tipo de interacción con contaminantes químicos y biológicos, ya que además del ruido, iluminación, factores psicosociales, etc. existentes en determinados edificios en los que las quejas debidas al malestar resultan frecuentes, se les ha dado el nombre de "síndrome del edificio enfermo" (S.E.E.), caracterizado porque "un porcentaje significativo de los ocupantes (superior al 20%), durante un período significativo (no inferior a dos semanas), acusa una sintomatología difusa, dolor de cabeza, náuseas, cansancio, irritación de mucosas, ... que se alivian al abandonar el edificio y que no son imputables a un componente, hecho o acción determinada".<sup>48</sup>

---

<sup>48</sup> CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo", 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 569-571

También se incluyen en este ambiente atmosférico los contaminantes químicos o biológicos que pueden producir alergias, irritaciones, asfixias, neumoconiosis, cánceres, etc.

## ANÁLISIS DE RIESGOS

Un análisis de riesgos consiste en la identificación de peligros asociados a cada fase o etapa del trabajo y la posterior estimación de los riesgos teniendo en cuenta conjuntamente la probabilidad y las consecuencias en el caso de que el peligro se materialice.<sup>49</sup>

### PROBABILIDAD Y SEVERIDAD

Se utilizara la siguiente clasificación de probabilidad y severidad de los daños que pueden ocurrir en la extrusora de tornillo simple:

PROBABILIDAD DE QUE OCURRA EL DAÑO	SEVERIDAD DE LAS CONSECUENCIAS
<b>Alta</b> Siempre o casi siempre	<b>Alta</b> Extremadamente dañino (amputaciones, intoxicaciones, lesiones muy graves, enfermedades crónicas graves, etc.)
<b>Media</b> Algunas veces	<b>Media</b> Dañino (quemaduras, fracturas leves, sordera, dermatitis, etc.)
<b>Baja</b> Raras veces	<b>Baja</b> Ligeramente dañino (cortes, molestias, irritaciones de ojo por polvo, dolor de cabeza, discomfort, etc.)

Tabla 4.1 *Definición de Probabilidad-Severidad*

Fuente: CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo", 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 117

### ZONAS DE UNA EXTRUSORA DE TORNILLO ÚNICO

Fundamentalmente, una máquina para la extrusión de material seco en caliente consiste en un motor preferiblemente de velocidad variable; un mecanismo de transmisión de engranajes que permite hacer girar el tornillo en una zona adecuada de velocidades; un conjunto de cojinetes de aguante para absorber el empuje del tornillo hacia atrás; y un tornillo que gira dentro de un cilindro

<sup>49</sup> CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo", 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 113

convenientemente equipado para calentar y enfriar a la temperatura deseada. Este mecanismo funde o plastifica el material plástico hasta que éste obtiene una consistencia uniforme y le obliga a pasar a través del orificio de la boquilla.<sup>57</sup>

Una máquina de extrusión puede ser considerada como constituida de cinco partes principales: el tornillo; el cilindro o cuerpo de la máquina, en el que va alojado el tornillo y que da origen a trabajo de fricción en el material; un mecanismo motor para comunicar al tornillo un movimiento de rotación; una tolva de alimentación de material situada en un extremo del cilindro, y finalmente, la boquilla o matriz, situada al extremo del cilindro y que es la pieza que da forma al material extruido.<sup>50</sup>

Definido el peligro como toda fuente capaz de producir lesión o daño a la salud, es posible considerar los peligros de las máquinas ya analizados anteriormente:

- mecánicos
- eléctricos
- térmicos
- producidos por el ruido
- producidos por las vibraciones
- producidos por las radiaciones
- producidos por materiales y sustancias
- producidos por no respetar los principios ergonómicos en el diseño de máquinas
- combinación de peligros

Para hacer el análisis detallado de cada parte de una extrusora de un tornillo y sus peligros, se ha dividido la máquina en zonas. Haciendo mención de las partes esenciales de una extrusora de tornillo simple genérica, se muestra la división en la imagen 4.2.

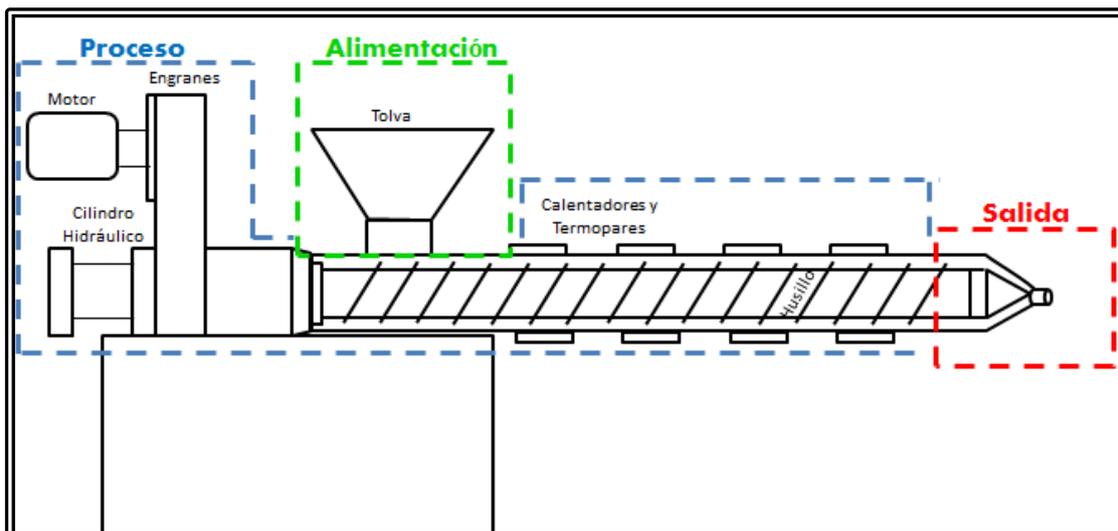


Imagen 4.2 División por zonas del equipo en cuestión: Extrusora de Tornillo Único

<sup>50</sup> ANGUITA Delgado R. "Extrusión de plásticos. Teoría y equipos Parte I" Ed. H. Blume 1977, España pp 39-41

Acorde con la imagen 4.2, el funcionamiento de la extrusora en análisis se da en tres zonas: **Alimentación, Proceso y Salida**. Dentro de ellas se encuentran tanto los sistemas fundamentales como los sistemas secundarios para el funcionamiento de la máquina.

<b>SISTEMAS A CONSIDERAR EN LA EXTRUSORA</b>		
<b>Zona de la extrusora</b>	<b>Sistemas fundamentales</b>	<b>Sistemas secundarios</b>
Proceso	De Mando Motriz	-
Salida	Transmisor	-
Alimentación	De sustentación	De alimentación

**Tabla 4.3** *Sistemas considerados en el equipo en cuestión*  
Estructura basada en: CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo", 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 225

## PELIGROS POR ZONA

A partir de esta división, se clasifican en la tabla 4.4 las zonas de peligro que es posible encontrar en cada zona de la extrusora:

<b>CLASIFICACIÓN POR ZONAS DE PELIGRO EN UNA EXTRUSORA</b>		
Zona I PUNTO DE OPERACIÓN	Dos puntos de operación disponibles: -Alimentación de material a extrudir -Activación de la máquina	Constituyen el sistema receptor de la extrusora
Zona II PARTE CINEMÁTICA	-Motor -Transmisiones	Forman parte de los sistemas motriz y transmisor
Zona III PIEZA A TRABAJAR	-Tornillo -Cilindro	Condiciona a la extrusora
Zona IV EVACUACIÓN	-Sistema de evacuación	Forma parte del sistema de salida de producto de la extrusora
Zona V ENTORNO Y MEDIO AMBIENTE	-Ambiente caliente	Constituye las características externas de la máquina o de la relación máquina-ambiente.

**Tabla 4.4** *Clasificación por zonas del equipo en cuestión*  
Estructura basada en: CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo", 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 225-226

Tomando dicha clasificación de zonas de peligro y su ubicación dentro de las zonas de la extrusora, en la tabla 4.5 se ordenan tanto las zonas de la extrusora sin peligro como aquellas que representan mayor riesgo al estar deficientemente protegidas o sin protección.

CLASE DE PELIGRO	Punto de operación: Alimentación			Punto de operación: Activación			Entorno			Motor y Transmisiones			Pieza a trabajar: Tornillo			Cilindro			Sistema de calefacción			Sistema de refrigeración			Sistema de evacuación			Entorno		
	ZONA I	ZONA II	ZONA III	ZONA IV	ZONA V																									
<b>1. Peligros físicos</b>																														
1.1 Mecánicos	●	●	●	●	●																									
1.2 Eléctricos	●	●	●	●	●																									
1.3 Ruido	●	●	●	●	●																									
1.4 Térmicos	●	●	●	●	●																									
<b>2. Peligros químicos</b>																														
2.1 Polvos	●	●	●	●	●																									
2.2 Líquidos	●	●	●	●	●																									
2.3 Gases	●	●	●	●	●																									

Tabla 4.5 Peligros generales existentes por zona de la extrusora

Estructura basada en: CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo", 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007 pp 226

A continuación se hará el análisis de cada zona de peligro de la extrusora, zonas mencionadas en la tabla 4.1 así como los sistemas fundamentales y secundarios dentro de cada una.

### ZONA I "Puntos de Operación"

#### Punto de Operación: ALIMENTACION

Es la zona por la que el material a procesar entra en el equipo para llegar a la zona de procesamiento. Los peligros presentes en esta parte de la zona se mencionan en la tabla 4.6, derivada de la tabla 4.5. Dichos peligros se distribuyen entre las partes que componen este Punto de Operación.

Zona de la extrusora: Alimentación  
Sistema fundamental: De sustentación  
Sistema secundario: Alimentación

Peligro inminente	Riesgo medio	Riesgo escaso
Peligros físicos: -Mecánicos -Térmicos Peligros químicos: -Gases	Peligros químicos: -Polvos	Peligros físicos: -Eléctricos

Tabla 4.6 Peligros presentes en Punto de operación: Alimentación

El Punto de Operación: Alimentación está conformado por la tolva y la garganta de alimentación.

La **tolva** es el contenedor que se utiliza para introducir el material en la máquina. Tolva, garganta de alimentación y boquilla de entrada deben estar ensambladas perfectamente y diseñadas de manera que proporcionen un flujo constante de material. Esto se consigue más fácilmente con tolvas de sección circular, aunque son más caras y difíciles de construir que las de sección rectangular (imagen 4.7). Se diseñan con un volumen que permita albergar para 2 horas de trabajo.<sup>51</sup>

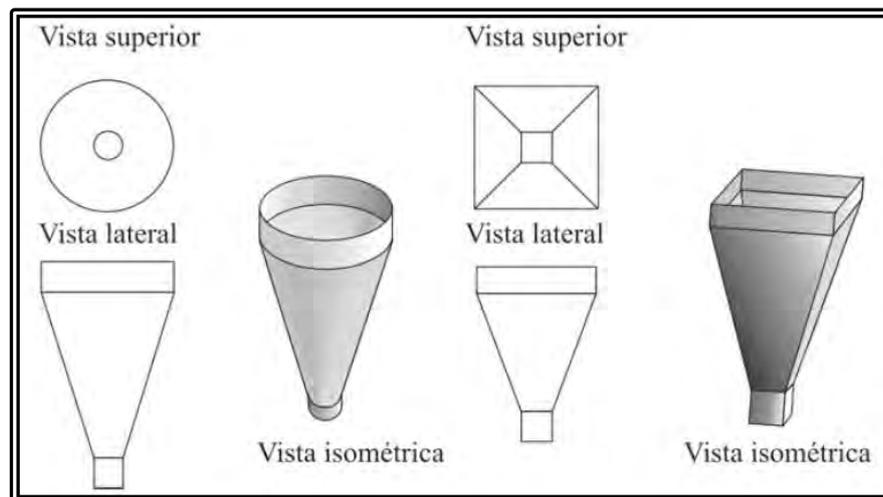


Imagen 4.7 Tipos de tolvas

Imagen de: BELTRÁN Rico M. "Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades"  
 Ed. Universidad de Alicante 2012, España pp 111

En ocasiones para asegurar el flujo constante del material se usan dispositivos de vibración, agitadores e incluso tornillos del tipo del que se muestra en la imagen. 4.8

<sup>51</sup> BELTRÁN Rico M. "Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades" Ed. Universidad de Alicante 2012, España pp 110

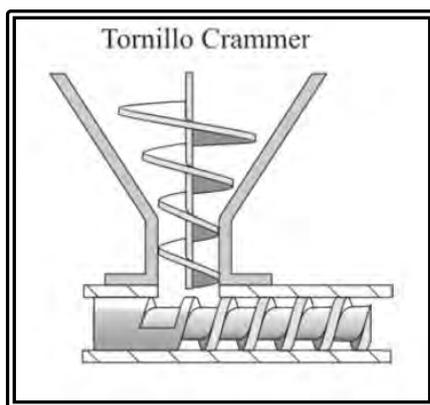


Imagen 4.8 Ejemplo de un tornillo de alimentación  
 Imagen de: BELTRÁN Rico M. "Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades"  
 Ed. Universidad de Alicante 2012, España pp 104 - 106

### Análisis de riesgos: Tolva de alimentación asistida por un Tornillo de Crammer

Debido a la naturaleza del funcionamiento de este componente con accesorio, los riesgos con los que contribuye a los globales del Punto de Operación: Alimentación (referidos en la tabla 4.6) son los peligros físicos, descritos a continuación.

<b>Peligro Mecánico</b>	
<b>Tipo de peligro</b>	Movimiento de rotación tipo árbol
<b>Daños posibles originados por el peligro</b>	Cizallamiento, aplastamiento o abrasión
<b>Ubicación/Función Causantes del peligro</b>	Tornillo de Crammer girando en su propio eje dentro de una tolva fija / Funcionalidad: ejercer presión sobre la carga a alimentar (hasta 200 kg/cm <sup>2</sup> )
<b>Probabilidad de que ocurra el daño</b>	Media
<b>Severidad de las consecuencias</b>	Media
<b>Peligro Térmico</b>	
<b>Tipo de peligro</b>	Piezas a alta temperatura
<b>Daños posibles originados por el peligro</b>	Quemaduras por contacto
<b>Ubicación/Función Causantes del peligro</b>	Componente y accesorio a temperaturas altas recibidas por conducción desde las partes más calientes de la máquina / Sin funcionalidad
<b>Probabilidad de que ocurra el daño</b>	Media
<b>Severidad de las consecuencias</b>	Media

## Peligro Eléctrico

<b>Tipo de peligro</b>	Contacto eléctrico indirecto
<b>Daños posibles originados por el peligro</b>	Intensidad de 1 a 5.2 mA de c.c. o de 0.4 a 1.1 mA de c.a. (50 Hz). Desde ninguna sensación hasta umbral de percepción
<b>Ubicación/Función Causantes del peligro</b>	Componente y accesorio no diseñados para paso de corriente eléctrica, pero con posibilidad de quedar en tensión por algún defecto / Sin funcionalidad
<b>Probabilidad de que ocurra el daño</b>	Baja
<b>Severidad de las consecuencias</b>	Baja

La **garganta de alimentación** a través de la cual el termoplástico procedente de la tolva llega al tornillo de la extrusora; constituye una entrada que abarca una longitud de tornillo, por lo menos igual a un diámetro de éste y su sección transversal puede ser rectangular o circular. Suele estar provista de un sistema de refrigeración para mantener la temperatura de esta zona lo suficientemente baja para que las partículas de granza no se adhieran a las paredes internas de la extrusora. Para materiales elastómeros (tipo caucho) que se alimentan a la extrusora en forma de banda, el diseño rebajado es el más conveniente, pero para materiales que se alimentan en forma granular se prefieren los diseños vertical e inclinada, porque en el diseño rebajado los gránulos termoplásticos pueden ablandarse y soldarse entre sí y con el borde del filete del tornillo, así como con la pared del cilindro, resultando un taponamiento de la entrada al tornillo que impide la alimentación a la extrusora.<sup>52</sup>

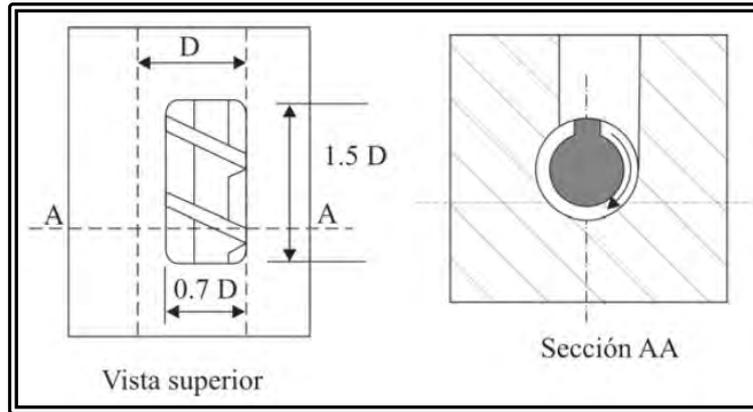
Para evitar este tipo de problemas, la garganta de la tolva de alimentación suele ir refrigerada con agua que circula por un canal ubicado alrededor de la garganta.<sup>52</sup>

La garganta de alimentación está conectada con la tolva a través de la boquilla de entrada o de alimentación. Esta boquilla suele tener una longitud de 1.5 veces el diámetro del cilindro y una anchura de 0.7 veces el mismo (imagen 4.9) y suele estar desplazada del eje del tornillo para facilitar la caída del material a la máquina.<sup>53</sup>

---

<sup>52</sup> ANGUITA Delgado R. "Extrusión de plásticos. Teoría y equipos *Parte I*" Ed. H. Blume 1977, España pp 41

<sup>53</sup> BELTRÁN Rico M. "Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades" Ed. Universidad de Alicante 2012, España pp 109



**Imagen 4.9 Garganta de alimentación**  
 BELTRÁN Rico M. "Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades"  
 Ed. Universidad de Alicante 2012, España pp 111

Este componente no experimenta movimiento para su funcionamiento, de los peligros globales del Punto de Operación: Alimentación (referidos en la tabla 4.6) son peligros físicos y químicos, descritos a continuación.

#### **Análisis de riesgos: Garganta de alimentación**

<b>Peligro Térmico</b>	
<b>Tipo de peligro</b>	Piezas a alta temperatura
<b>Daños posibles originados por el peligro</b>	Quemaduras por contacto
<b>Ubicación/Función Causantes del peligro</b>	Zona a temperaturas altas recibidas por conducción (hasta 300°C) desde las partes más calientes de la máquina / Sin funcionalidad
<b>Probabilidad de que ocurra el daño</b>	Media
<b>Severidad de las consecuencias</b>	Media
<b>Peligro Químico: Gases</b>	
<b>Tipo de peligro</b>	Gases muy tóxicos, tóxicos, nocivos, irritantes, sensibilizantes, carcinogénicos, mutágenos o tóxicos para la reproducción
<b>Daños posibles originados por el peligro</b>	Efectos agudos, crónicos, reacciones inflamatorias en mucosas, hipersensibilidad al gas, cáncer, alteraciones genéticas hereditarias y/o efectos negativos en la capacidad reproductora
<b>Ubicación/Función Causantes del peligro</b>	Zona de expulsión de gases originados en el proceso / Sin funcionalidad
<b>Probabilidad de que ocurra el daño</b>	De media a alta dependiendo del material a extrudir
<b>Severidad de las consecuencias</b>	De media a alta dependiendo del material a extrudir

### Peligro Químico: Polvos

<b>Tipo de peligro</b>	Polvos muy tóxicos, tóxicos, nocivos, irritantes, sensibilizantes, carcinogénicos, mutágenos o tóxicos para la reproducción
<b>Daños posibles originados por el peligro</b>	Efectos agudos, crónicos, reacciones inflamatorias en mucosas, hipersensibilidad al gas, cáncer, alteraciones genéticas hereditarias y/o efectos negativos en la capacidad reproductora
<b>Ubicación/Función Causantes del peligro</b>	Zona de expulsión de polvos (fragmentos) del material en extrusión / Sin funcionalidad
<b>Probabilidad de que ocurra el daño</b>	De media a alta dependiendo del material a extrudir
<b>Severidad de las consecuencias</b>	De media a alta dependiendo del material a extrudir

Punto de Operación: ACTIVACION

En esta zona interviene la manipulación por parte de operarios para activar el funcionamiento de la máquina, y es a donde se suministra la energía de sustento para dicho funcionamiento. Los peligros presentes en esta parte de la zona se mencionan en la tabla 4.10, derivada de la tabla 4.5. Dichos peligros se distribuyen entre las partes que componen este Punto de Operación.

Zona de la extrusora: Alimentación  
Sistema fundamental: De sustentación

Peligro inminente	Riesgo medio	Riesgo escaso
Peligros físicos: -Eléctricos	Peligros físicos: -Térmicos	/

*Tabla 4.10 Peligros presentes en Punto de operación: Activación*

Este punto de operación solo está conformado por un componente de la extrusora en el que se da la activación de la máquina que es el tablero de mando.

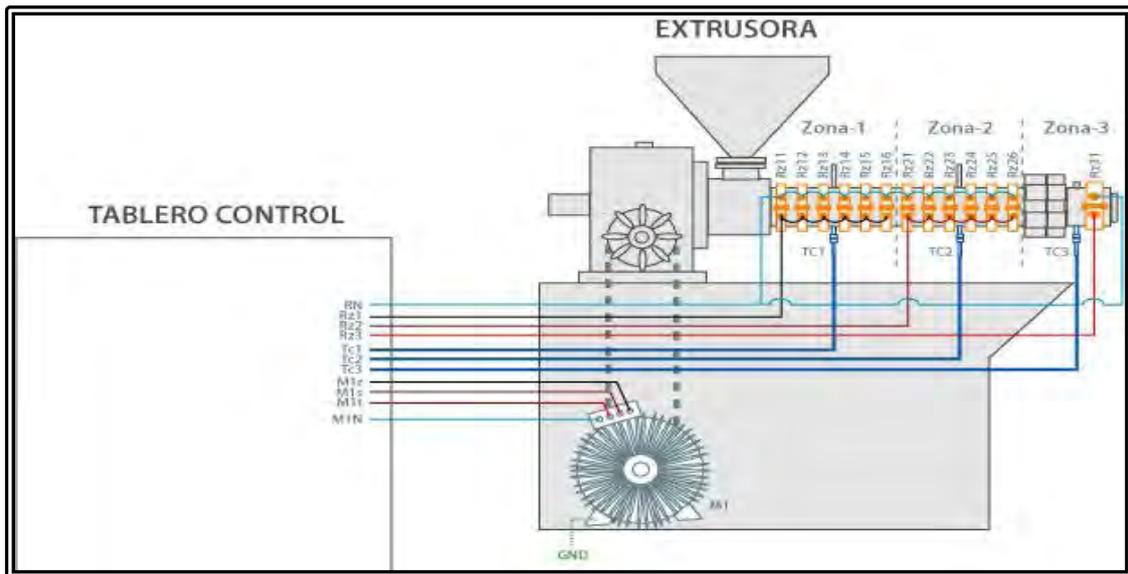


Imagen 4.11 Ejemplo de tablero de mando

Se trata de un **tablero de mando** eléctrico en el que se centralizan todas las funciones de mando y control de la máquina. Las extrusoras pueden ser asistidas por uno o varios tableros eléctricos, en los que se encuentran los dispositivos de seguridad y los mecanismos de maniobra de la máquina, mismos que pueden ser uno o la combinación de los siguientes tableros eléctricos, clasificados por su ubicación como el *tablero principal de distribución*, es el que está conectado a la línea eléctrica principal y de él se derivan los circuitos secundarios, contiene el interruptor principal; *tableros secundarios de distribución*, son alimentados por el tablero principal funcionan como auxiliares en la protección y operación de subalimentadores; *tableros de paso*, tienen la finalidad de proteger derivaciones, por su capacidad no pueden ser directamente conectadas alimentadores o subalimentadores; el circuito de alimentación y en él está el medidor de energía desde el cual se desprende el circuito principal y los *tableros de comando* que contienen dispositivos de seguridad y maniobra.<sup>54</sup>

Dos de los constituyentes de los tableros eléctricos son: el *medidor de consumo* (mismo que no se puede alterar) y el *interruptor*, que es un dispositivo que corta la corriente eléctrica una vez que se supera el consumo contratado. Es importante mencionar que el interruptor no tiene funciones de seguridad, solamente se encarga de limitar el nivel del consumo.<sup>55</sup>

Para fabricar los tableros eléctricos se debe cumplir con una serie de normas que permitan su funcionamiento de forma adecuada cuando ya se le ha suministrado la energía eléctrica. El

<sup>54</sup> Sitio en línea Quiminet.com: <https://www.quiminet.com/articulos/los-tableros-electricos-sus-tipos-y-aplicaciones-segun-el-uso-de-la-energia-electrica-2586331.html>

<sup>55</sup> Sitio en línea Quiminet.com: <https://www.quiminet.com/articulos/los-tableros-electricos-sus-tipos-y-aplicaciones-segun-el-uso-de-la-energia-electrica-2586331.html>

cumplimiento de estas normas garantiza la seguridad tanto de las instalaciones como de los operarios.<sup>56</sup>

Los *elementos de control* de necesidad básica en el proceso de extrusión, tomando en cuenta que es un tratamiento térmico y mecánico al que se somete el material, se necesitan por lo menos dos instrumentos para el control del funcionamiento de la extrusora, uno para medir y controlar la temperatura y otro para controlar las revoluciones del tornillo. Además se precisara un vatímetro (o amperímetro) para medir la potencia consumida por el motor y un manómetro para medir la presión del polímero fundido en el cabezal. Hay cuatro instrumentos básicos, que permiten conocer el estado del material que sale por la boquilla: a) un pirómetro para medir la temperatura del polímero fundido que entra en la boquilla; b) un vatímetro situado en el circuito del motor; c) un manómetro situado en la boquilla o lo más próximo posible a ésta; d) un tacómetro para medir las revoluciones del tornillo. La lectura de estos instrumentos puede dar una visión de cómo está funcionando la extrusora.<sup>56</sup>

- a) Para conseguir extrudados de calidad es necesario controlar lo mejor posible la temperatura del polímero, y en particular la temperatura cuando éste llega a la boquilla. Las viscosidades y comportamiento reológico de los polímeros varían extraordinariamente con la temperatura y sin un buen control de ésta no es posible conseguir artículos de calidad o reproducir determinadas condiciones de trabajo. Los materiales poliméricos al ser malos conductores de calor y demasiado viscosos para calentarse por convección; durante el tiempo de residencia no se intercambia gran cantidad de calor entre el polímero y el cilindro. Los sistemas de calefacción y refrigeración tienen una baja influencia sobre la temperatura del polímero. Para un material determinado la temperatura final del polímero se determina por:
- a. La geometría del cilindro
  - b. La velocidad del tornillo
  - c. La presión en el cabezal
  - d. Al calor aportado por los elementos externos
  - e. El calor generado por fricción
  - f. Propiedades térmicas del polímero <sup>56</sup>

---

<sup>56</sup> ANGUITA Delgado R. "Extrusión de plásticos. Teoría y equipos *Parte I*" Ed. H. Blume 1977, España pp 81

## Análisis de riesgos: Tablero de mando

<b>Peligro Eléctrico</b>	
<b>Tipo de peligro</b>	Contacto eléctrico directo
<b>Daños posibles originados por el peligro</b>	Intensidad de 1 a 76 mA de c.c. o de 0.4 a 16 mA de c.a. (50 Hz). Desde ninguna sensación hasta umbral de intensidad límite
<b>Ubicación/Función Causantes del peligro</b>	Componentes activos de la equipo, diseñados para llevar tensión / Sustentar energía eléctrica para funcionamiento de la extrusora
<b>Probabilidad de que ocurra el daño</b>	Baja a media
<b>Severidad de las consecuencias</b>	Media
<b>Peligro Térmico</b>	
<b>Tipo de peligro</b>	Piezas a alta temperatura
<b>Daños posibles originados por el peligro</b>	Quemaduras por contacto
<b>Ubicación/Función Causantes del peligro</b>	Zona a temperaturas altas recibidas por conducción desde las partes más calientes de la máquina / Sin funcionalidad
<b>Probabilidad de que ocurra el daño</b>	Baja a media
<b>Severidad de las consecuencias</b>	Media

### Entorno (de Zona I):

El entorno que rodea los puntos de operación puede presentar ciertos riesgos, que perceptiblemente no son tan inminentes como los que se presentan en los puntos de operación propiamente.

<b>Peligro inminente</b>	<b>Riesgo medio</b>	<b>Riesgo escaso</b>
	Peligros físicos: -Térmicos Peligros químicos: -Gases	Peligros físicos: -Eléctricos

Tabla 4.12 Peligros presentes en el Entorno

Los peligros encontrados en el ambiente en torno a los puntos de operación son térmicos, de gases y eléctricos. Los peligros térmicos y de gases tendrán su origen el punto de Operación: Alimentación ya que, al ser un orificio por el que se tiene el objetivo de la alimentación al proceso, será inevitable la expulsión tanto de energía como de materia gaseosa despedidas del proceso. De manera que son estos peligros los más representativos de éste ambiente. Mientras que se halla la presencia de peligro eléctrico en el Punto de Operación: Activación, al tratarse del lugar por el que ingresa, se administra y distribuye la energía eléctrica al sistema total. Sin embargo, los casos en los que podría observarse el

peligro eléctrico en el entorno son debidos a funcionamiento defectuoso de algún componente de este punto de operación o algún acto riesgoso por parte de los operarios.

### **Análisis de riesgos: Entorno (en Zona I)**

<b>Peligro Térmico</b>	
<b>Tipo de peligro</b>	Ambiente térmico
<b>Daños posibles originados por el peligro</b>	Disconfort, fatiga, estrés térmico por radiación térmica, disminución del rendimiento en los trabajos intelectuales o que exijan estar despierto o alerta
<b>Ubicación/Función Causantes del peligro</b>	Ambiente térmico en la zona de alrededor de la tolva de alimentación (de 30 a 40 °C) causado por radiación térmica originada en el interior de la extrusora / Sin funcionalidad
<b>Probabilidad de que ocurra el daño</b>	Alta
<b>Severidad de las consecuencias</b>	Baja
<b>Peligro Químico: Gases</b>	
<b>Tipo de peligro</b>	Gases muy tóxicos, tóxicos, nocivos, irritantes, sensibilizantes, carcinogénicos, mutágenos o tóxicos para la reproducción
<b>Daños posibles originados por el peligro</b>	Efectos agudos, crónicos, reacciones inflamatorias en mucosas, hipersensibilidad al gas, cáncer, alteraciones genéticas hereditarias y/o efectos negativos en la capacidad reproductora
<b>Ubicación/Función Causantes del peligro</b>	Ambiente contaminado con gases en la zona de alrededor de la tolva de alimentación originados en el proceso / Sin funcionalidad
<b>Probabilidad de que ocurra el daño</b>	De media a alta dependiendo del material a extrudir
<b>Severidad de las consecuencias</b>	De media a alta dependiendo del material a extrudir
<b>Peligro Eléctrico</b>	
<b>Tipo de peligro</b>	Contacto eléctrico indirecto
<b>Daños posibles originados por el peligro</b>	Intensidad de 1 a 76 mA de c.c. o de 0.4 a 16 mA de c.a. (50 Hz). Desde ninguna sensación hasta umbral de intensidad límite (misma tensión existente en el tablero de mando)
<b>Ubicación/Función Causantes del peligro</b>	Zona de alrededor del tablero de mando con posibilidad de quedar en tensión por algún defecto / Sin funcionalidad
<b>Probabilidad de que ocurra el daño</b>	Baja a media
<b>Severidad de las consecuencias</b>	Media

## ZONA II "Parte Cinemática"

### MOTOR y TRANSMISIONES

Zona de la extrusora: Proceso Sistema fundamental: Motriz
--

La extrusora está constituida por elementos mecánicos para hacer girar el tornillo, dichos elementos son el Sistema y cojinetes de apoyo (soportan el empuje axial del tornillo hacia detrás), el Sistema motriz (constituido por el motor), la Transmisión y el Reductor de velocidad.

#### Sistema motriz (motor)

Es el equipo que permite utilizar la potencia suministrada por la línea de corriente; consiste en una máquina rotatoria (el motor de corriente alterna), un equipo de control y, para los sistemas que utilizan corriente continua, una unidad transformadora de la corriente. Los peligros presentes en esta parte mencionados en la tabla 4.5 se muestran en la tabla 4.13.

<b>Peligro inminente</b>	<b>Riesgo medio</b>	<b>Riesgo escaso</b>
Peligros físicos: -Mecánicos -Eléctricos	Peligros químicos: -Líquidos	Peligros físicos: -Térmicos -Ruido

Tabla 4.13 Peligros presentes en Motor y Transmisiones

Para el funcionamiento del extrusor no sólo es necesario reducir la velocidad de salida del motor, sino también es preciso poder variar la velocidad de rotación del tornillo.<sup>57</sup>

En la práctica de la extrusión es muy importante una buena regulación, para que las velocidades de extrusión se mantengan razonablemente constantes aunque varíe la carga en el tornillo (debido a variaciones de temperatura, falta de homogeneidad del material que entra por la tolva, o variación en la altura del material que ocupa la tolva); una buena regulación mantiene prácticamente constante la velocidad de extrusión evitando variaciones cíclicas en las dimensiones del extrudado. Se necesita poder trabajar en un amplio intervalo de velocidad para que la extrusora pueda acomodarse a diferentes trabajos.<sup>57</sup>

---

<sup>57</sup> ANGUITA Delgado R. "Extrusión de plásticos. Teoría y equipos Parte I" Ed. H. Blume 1977, España pp 98

En las extrusoras se usan siempre sistemas motrices de velocidad variable, cuyos sistemas pueden ser **eléctricos** (usan medios eléctricos o electrónicos para conseguir la variación o regulación de la velocidad), **mecánicos** (parten de un eje de velocidad constante, el de un motor de corriente alterna y usan elementos mecánicos, bandas, engranajes, etc.) o **hidráulicos** (usan bombas y motores hidráulicos y también un motor eléctrico).

### Transmisión

La transmisión es mecánica, y puede ser de fricción, cadena o engranaje. Está constituida por un motor de corriente alterna y velocidad constante y la propia transmisión; la variación de velocidad se consigue con una polea dividida cuyas dos mitades cónicas pueden separarse controladamente; de este modo varía el diámetro de trabajo de la banda de engranaje. Este tipo de transmisión, con correas en V se encuentra generalmente en extrusoras de menor tamaño (30, 45 y 60 mm). La máxima potencia de estas transmisiones es del orden de 60 hp. Otra transmisión de tipo mecánico es la transmisión de cadena, en las que no hay desgaste, a diferencia de las transmisiones de fricción. Se usan tipos PIV con cadenas para potencias hasta de 75 hp, y tipos de fricción hasta los 400 hp. En la imagen 4.14 se muestra el esquema de poleas en que descansan estas transmisiones.<sup>65</sup>

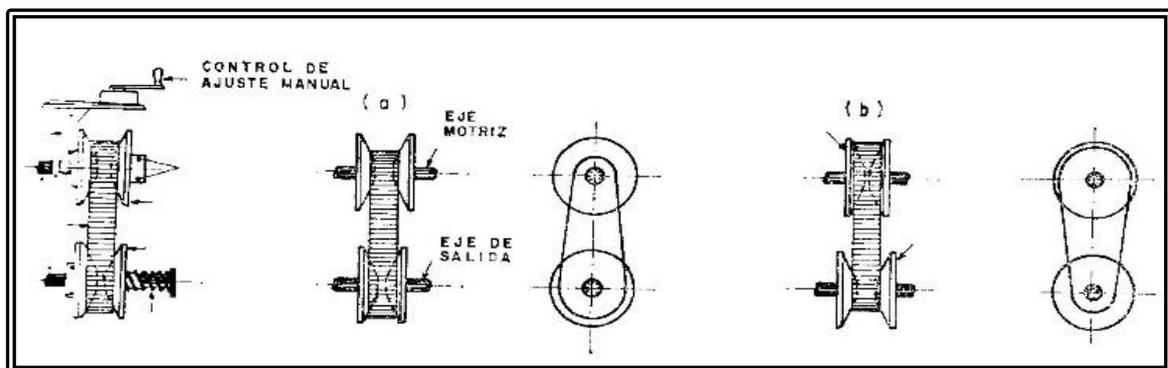


Imagen 4.14 Transmisiones mecánicas: variación de velocidad con poleas cónicas  
a) Baja velocidad de salida, b) Alta velocidad de salida

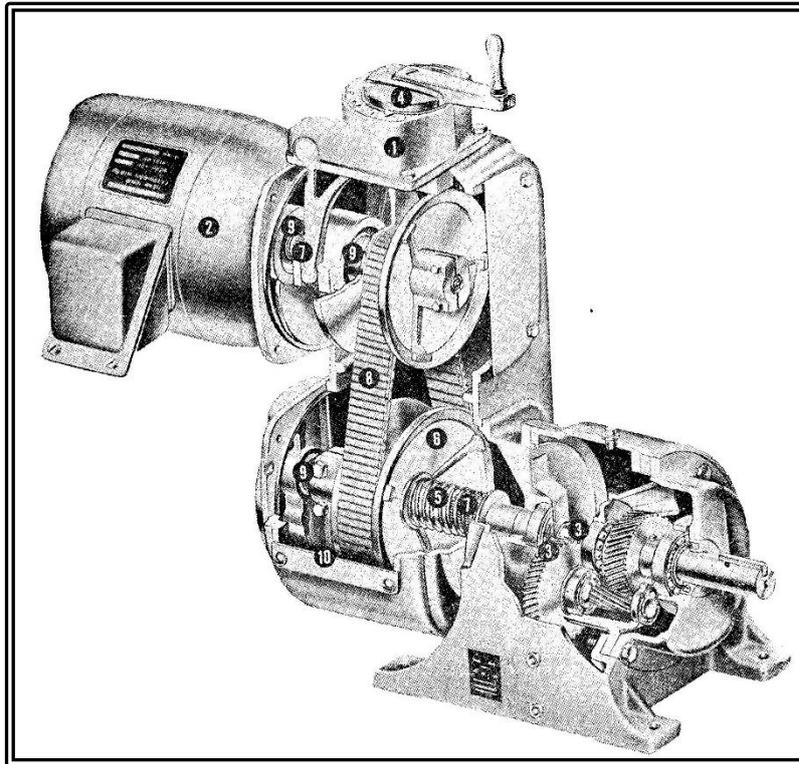
Imagen de: ANGUITA Delgado R. "Extrusión de plásticos. Teoría y equipos Parte I" Ed. H. Blume 1977, España pp 103

### Variadores de velocidad

Los variadores de velocidad de tipo eléctrico son los más utilizados en las extrusoras, estos son los sistemas de corriente alterna-corriente continua (AC-DC), los acoplamientos con embargue electromagnético y el motor con conmutador. Para obtener corriente continua de una línea de corriente alterna, se usan transformadores Leonard o rectificadores. Y finalmente los variadores hidráulicos de velocidad que tienen un menor uso.<sup>58</sup>

<sup>58</sup> ANGUITA Delgado R. "Extrusión de plásticos. Teoría y equipos Parte I" Ed. H. Blume 1977, España pp 103-104

En la imagen 4.15 se muestra el detalle de un variador Polydyne de General Electric.



**Imagen 4.15 Variador de velocidad eléctrico (Polydyne de General Electric)**

Imagen de: ANGUITA Delgado R. "Extrusión de plásticos. Teoría y equipos Parte I" Ed. H. Blume 1977, España pp 94

1. Mecanismo de control manual.
2. Motor c.a.
3. Engranaje y piñón de alta velocidad fácilmente intercambiables.
4. Unidad de control
5. Sistema de muelles compensadores para mantener automáticamente la tensión de la correa.
6. Poleas de gran diámetro, con caras internas pulidas.
7. Sistema de ajuste de las poleas con los ejes.
8. Correa de transmisión.

El **variador AC-DC** consiste en un motor de corriente continua y velocidad variable, para lo cual se hace variar el voltaje de excitación; la corriente continua necesaria para este motor procede de una dinamo accionada por un motor de corriente alterna conectado a la red. El motor de corriente continua se une al eje del sistema reductor mediante un acoplamiento flexible o una transmisión de correas.<sup>59</sup>

---

<sup>59</sup> ANGUITA Delgado R. "Extrusión de plásticos. Teoría y equipos Parte I" Ed. H. Blume 1977, España pp 105, 107

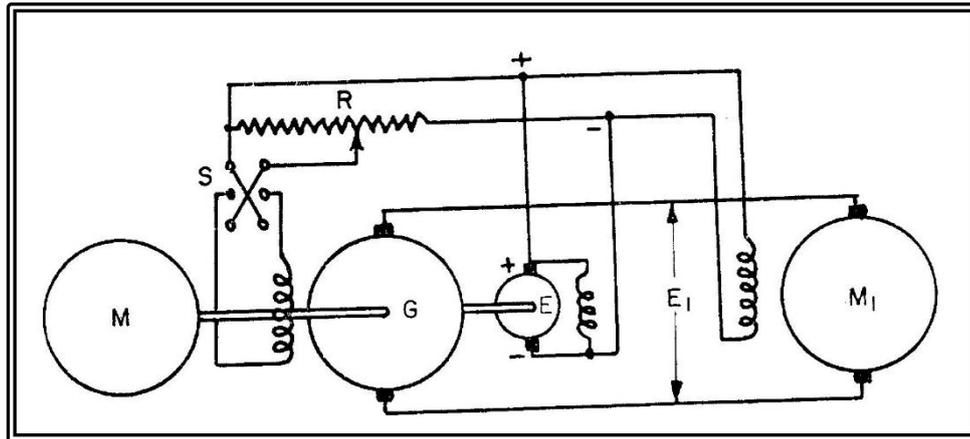


Imagen 4.16 Sistema de variador AC-DC

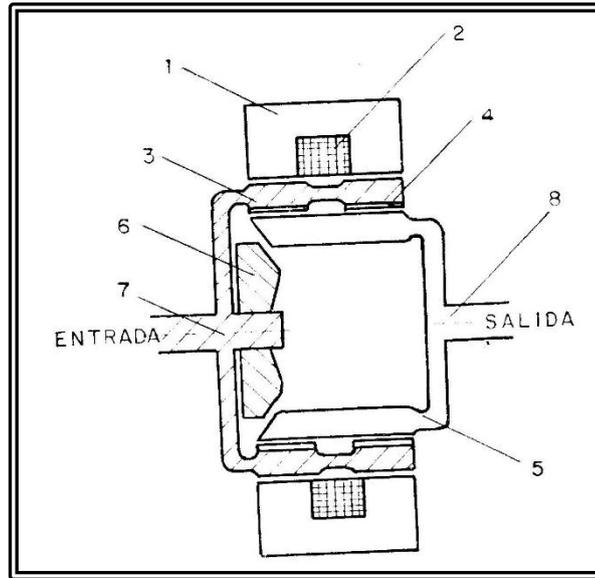
Imagen de: ANGUITA Delgado R. "Extrusión de plásticos. Teoría y equipos Parte I" Ed. H. Blume 1977, España pp 98, 102

- M. Motor de corriente alterna
- G. Dinamo
- E. Dinamo excitatriz
- M<sub>1</sub>. Motor controlado

En la imagen 4.16, M<sub>1</sub> es el motor cuya velocidad debe regularse y M-G es el grupo motor-generador; M es el motor de corriente alterna y G la dinamo; las tres máquinas eléctricas M, G y E están montadas sobre el mismo eje. E es una pequeña dinamo autoexcitada, denominada excitatriz, que proporciona la corriente de excitación para la dinamo y el motor M<sub>1</sub>, y M es el motor que acciona las dinamos G y E. Las ventajas de los variadores de velocidad de tipo eléctrico AC-DC principales son el amplio margen de velocidades, la regulación infinita dentro de este intervalo y la posibilidad de control remoto. Se ha tratado de suprimir el grupo motor-generador; para ello la corriente continua se obtiene mediante rectificadores de selenio, mercurio y silicio.<sup>60</sup>

El **motor de corriente alterna con embargue electromagnético** es un sistema muy utilizado para regular la velocidad de las extrusoras. El fundamento de este sistema se esquematiza en la imagen 4.17. El motor de corriente alterna y el embargue electromagnético van montados en una carcasa común. Un embargue electromagnético descansa en la creación de corrientes parasitas inducidas o corrientes de Foucault entre dos rotores. En esencia se compone de dos rotores concéntricos, uno de ellos acoplado al motor conductor y el otro a la máquina que debe ser controlada.<sup>60</sup>

<sup>60</sup> ANGUITA Delgado R. "Extrusión de plásticos. Teoría y equipos Parte I" Ed. H. Blume 1977, España pp 105, 107



**Imagen 4.17 Sistema de variador de embargue electromagnético**

Imagen de: ANGUITA Delgado R. "Extrusión de plásticos. Teoría y equipos Parte I" Ed. H. Blume 1977, España pp 108

1. Estator
2. Bobina
3. Rotor anular
4. Polos
5. Rotor central
6. Ventilador
7. Eje del lado del motor
8. Eje del lado de salida

Este aparato consume potencia en forma de energía calorífica, la parte de energía disipada como corrientes inducidas origina calor, que debe ser eliminado por refrigeración. La capacidad del sistema para eliminar calor será la determinante del intervalo de velocidad al que puede trabajar. Con unidades que transmiten potencia superior a 75 hp se necesita refrigerar con agua, para potencias inferiores es más común la refrigeración con aire.<sup>61</sup>

El **motor conmutador de corriente alterna** es también muy utilizado, sobre todo en Europa como sistema variador de la velocidad de las extrusoras. El motor conmutador c.a. es un motor trifásico de inducción equipado con devanados adicionales que, a través de conmutadores y escobillas, permiten regular la velocidad por encima y por debajo de un cierto valor. Actualmente hay dos tipos de motor-conmutador en uso; el motor de Schrage que consigue la variación de velocidad haciendo girar las escobillas de conmutación respecto a la armadura del motor, y el motor alimentado por el estator, en el que las escobillas están fijas y el control de la velocidad se consigue mediante un regulador de inducción del voltaje, o un transformador variable, que controla el voltaje aplicado en el devanado del rotor.<sup>61</sup>

<sup>61</sup> ANGUITA Delgado R. "Extrusión de plásticos. Teoría y equipos Parte I" Ed. H. Blume 1977, España pp 109-110

Los **variadores hidráulicos de velocidad** utilizan un motor de corriente alterna de velocidad constante que acciona una bomba de desplazamiento variable, o un impulsor. En el primer caso se trata de una transmisión hidrostática o de desplazamiento positivo, la bomba envía fluido a presión a un motor hidráulico; en el segundo caso se trata de una transmisión hidrocínética o hidrodinámica, el impulsor proporciona energía cinética al fluido y esta energía se convierte en potencia en una turbina; es decir, en la unidad hidrostática la potencia se transmite por la presión del fluido, sin cambio apreciable en la velocidad de éste, mientras que la transmisión de energía en la unidad hidrocínética se efectúa por la variación de velocidad del fluido.<sup>62</sup>

Las unidades hidrostáticas funcionan con una bomba de pistones y aceite como fluido; el aceite es bombeado a un motor hidráulico que a su vez hace girar al tornillo. El motor puede ser de caudal constante o variable, según el intervalo de velocidades que se desee.<sup>62</sup>

Sistema y cojinetes de apoyo del empuje del tornillo:

La misión de este sistema es principalmente absorber el empuje axial de retroceso del tornillo originado por las altas presiones que se desarrollan en el cabezal y la boquilla y en el extremo anterior del tornillo. Delante del tornillo se han llegado a medir presiones hasta de 500 kg/cm<sup>2</sup> pero lo más normal es encontrar presiones de unos 350 kg/cm<sup>2</sup>; calculando con éste último valor el empuje axial de retroceso del tornillo en extrusoras de diferente diámetro se llega a unos valores como los indicados en la tabla 4.18:<sup>62</sup>

<b>Tamaño de la extrusora (Diámetro del tornillo mm.)</b>	<b>Empuje axial (Tm.)</b>
4	0.85
5	
60	1.65
90	3.50
120	6.00
150	10.00
200	17.00
250	28.00

**Tabla 4.18 Empuje axial de retorno del tornillo**

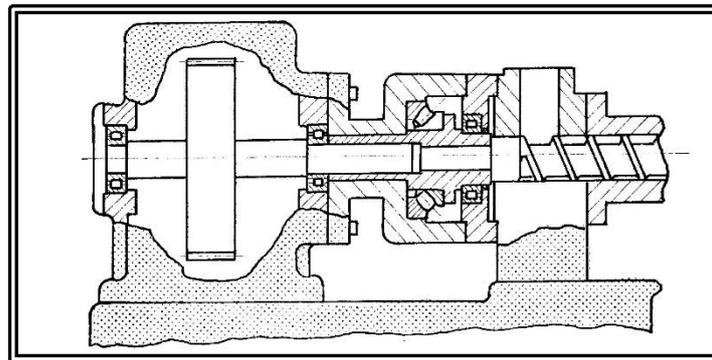
Fuente: ANGUIA Delgado R. "Extrusión de plásticos. Teoría y equipos *Parte I*" Ed. H. Blume 1977, España pp 108

<sup>62</sup> ANGUIA Delgado R. "Extrusión de plásticos. Teoría y equipos *Parte I*" Ed. H. Blume 1977, España pp 91, 111

Además de soportar las cargas axiales, el sistema y los cojinetes de apoyo deben transmitir la potencia del sistema motriz al tornillo, precisamente a la velocidad del tornillo y, por tanto, con un par elevado, y deben mantener el tornillo centrado preferentemente con el cilindro mientras aquel gira.<sup>63</sup>

Normalmente se construyen los sistemas de apoyo para soportar presiones de extrusión de 700 kg/cm<sup>2</sup> cuando la velocidad del tornillo es de 100 r.p.m.<sup>63</sup>

En la imagen 4.19 se muestra un sistema de apoyo con el eje conductor rígidamente unido al reductor de velocidad



**Imagen 4.19 Sistema de apoyo con el eje motriz rígidamente unido al reductor de velocidad**

Imagen de: ANGUITA Delgado R. "Extrusión de plásticos. Teoría y equipos Parte I"  
Ed. H. Blume 1977, España pp 92

### Reductor de velocidad

Los motores eléctricos con los que van equipadas las extrusoras giran a 1000 r.p.m. o más. Normalmente en las extrusoras de un tornillo, éste gira a velocidades entre 10 y 120 r.p.m. Puesto que el tornillo debe girar mucho más despacio que el motor eléctrico que acciona al sistema, es preciso usar un reductor o variador de velocidad. Generalmente se usan reducciones de 6:1 hasta 30:1; el reductor tiene su propia carcasa y sus cojinetes y transmite la potencia –mediante un acoplamiento flexible– al eje principal que soporta el empuje de retroceso del tornillo.<sup>63</sup>

La misión del reductor es transmitir al tornillo la potencia del motor y disminuir la velocidad de rotación. La potencia se debe transmitir uniforme y eficazmente para que el tornillo gire suavemente y se utiliza la máxima potencia posible. El tipo de reductor depende del tamaño del extrusor y de la potencia que debe transmitirse.<sup>63</sup>

Hay varios tipos de reductores en uso:

---

<sup>63</sup> ANGUITA Delgado R. "Extrusión de plásticos. Teoría y equipos Parte I" Ed. H. Blume 1977, España pp 92, 94

- De engranajes en cola de pescado
- De engranaje helicoidal
- De tornillo sinfín
- De engranajes son dientes rectos

Todos van siempre encerrados en una carcasa y lubricados; el engrane más bajo se sumerge en el aceite del depósito y se bombea.<sup>64</sup>

Los peligros que se citan en la tabla 4.13 varían dependiendo del sistema de transmisión del que se trate, sin embargo, se hará un análisis general, ya que los peligros que presentan todos los sistemas de transmisión son los mismos, la diferencia radica en que dichos peligros se acentúan de diferentes maneras en las distintas transmisiones con las que pueda contar el sistema motriz.

#### **Análisis de riesgos: Sistema motriz con transmisión mecánica, eléctrica o hidráulica (suponiendo como única fuente de energía la electricidad)**

<b>Peligro Mecánico</b>	
<b>Tipo de peligro</b>	Provocados por partes en movimiento. Movimientos fundamentales: De corte, de avance, de penetración
<b>Daños posibles originados por el peligro</b>	Atrapamientos, golpes o roturas de elementos (arboles, correas, engranajes, etc.)
<b>Ubicación/Función Causantes del peligro</b>	Componentes activos del equipo, diseñados para originar movimiento y funcionamiento del equipo / Conversión de energía en movimiento para activación de la extrusora
<b>Probabilidad de que ocurra el daño</b>	Media
<b>Severidad de las consecuencias</b>	Media a alta
<b>Peligro Eléctrico</b>	
<b>Tipo de peligro</b>	Contacto eléctrico directo, cortocircuitos, derivaciones, contacto de la instalación en tensión
<b>Daños posibles originados por el peligro</b>	Intensidad de 5.2 a 90 mA de c.c. o de 1.1 a 23 mA de c.a. (50 Hz). Desde umbral de percepción hasta choque doloroso y grave (contracción muscular y dificultad respiratoria)
<b>Ubicación/Función Causantes del peligro</b>	Componentes activos de la equipo, diseñados para llevar tensión / Conversión de energía en movimiento para activación de la extrusora
<b>Probabilidad de que ocurra el daño</b>	Media a alta
<b>Severidad de las consecuencias</b>	Media

<sup>64</sup> ANGUIA Delgado R. "Extrusión de plásticos. Teoría y equipos *Parte I*" Ed. H. Blume 1977, España pp 95

**Peligro Químico: Líquidos (fluidos de corte)**

<b>Tipo de peligro</b>	Contacto con fluidos de corte (líquidos muy tóxicos, tóxicos, nocivos, irritantes, sensibilizantes, carcinogénicos, mutágenos o tóxicos para la reproducción)
<b>Daños posibles originados por el peligro</b>	Posibilidad de originar afecciones cutáneas o alérgicas y en algunos casos enfermedad profesional (efectos agudos, crónicos, reacciones inflamatorias en mucosas, hipersensibilidad, cáncer, alteraciones genéticas hereditarias y/o efectos negativos en la capacidad reproductora). Resbalones y caídas por acumulación de aceites en el suelo.
<b>Ubicación/Función Causantes del peligro</b>	Lubricantes y/o combustibles / Lubricar y/o proporcionar energía alternativa o principal
<b>Probabilidad de que ocurra el daño</b>	De baja a media dependiendo de los líquidos utilizados
<b>Severidad de las consecuencias</b>	De baja a media dependiendo de los líquidos utilizados

**Peligro Térmico**

<b>Tipo de peligro</b>	Piezas a temperatura media
<b>Daños posibles originados por el peligro</b>	Molestias por contacto
<b>Ubicación/Función Causantes del peligro</b>	Zona a temperaturas medias por fricción por movimientos / Sin funcionalidad
<b>Probabilidad de que ocurra el daño</b>	Baja
<b>Severidad de las consecuencias</b>	Baja

**Peligro Ruido**

<b>Tipo de peligro</b>	Ruido continuo estable (80 - 100 decibelios aproximadamente) Sensación de ruidoso a muy ruidoso
<b>Daños posibles originados por el peligro</b>	Sordera profesional (con jornadas de 8 hrs de exposición, probabilidad superior al 20% si la exposición se prolonga durante 40 años)
<b>Ubicación/Función Causantes del peligro</b>	Movimientos y fricciones de las piezas componentes del motor / Conversión de energía en movimiento para activación de la extrusora
<b>Probabilidad de que ocurra el daño</b>	Baja
<b>Severidad de las consecuencias</b>	Baja

### ZONA III "Pieza a trabajar"

Zona de la extrusora: Proceso

Pieza a trabajar: TORNILLO

El tornillo o husillo consiste en un cilindro largo rodeado por un filete helicoidal. El tornillo es una de las partes más importantes ya que contribuye a realizar las funciones de transportar, calentar, fundir y mezclar el material.<sup>65</sup>

Peligro inminente	Riesgo medio	Riesgo escaso
Peligros físicos: -Mecánicos -Térmicos Peligros químicos: -Líquidos -Gases	Peligros físicos: -Eléctricos	Peligros físicos: -Ruido

Tabla 4.20 Peligros presentes en pieza a trabajar (tornillo)

La estabilidad del proceso y la calidad del producto que se obtiene dependen en gran medida del diseño del tornillo. Los parámetros más importantes en el diseño del tornillo son su longitud (L), diámetro (D), el ángulo del filete ( $\theta$ ) y el paso de rosca (w).<sup>65</sup>

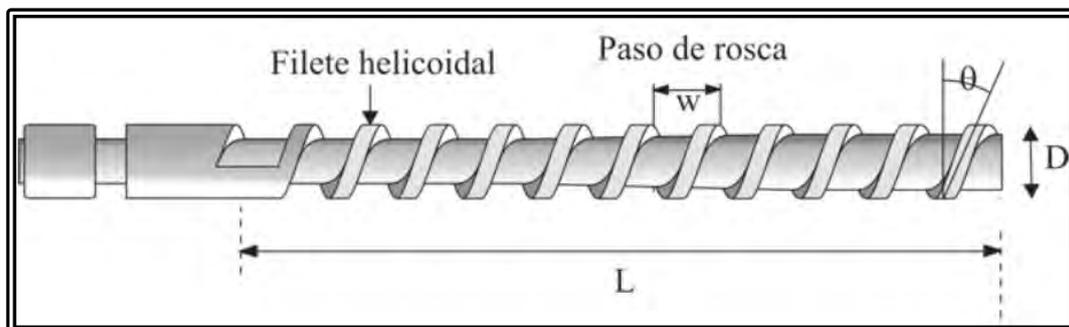


Imagen 4.21 Tornillo de una extrusora

Imagen de: BELTRÁN Rico M. "Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades"  
 Ed. Universidad de Alicante 2012, España pp 108

El material se va presurizando a medida que avanza por el tornillo, comenzando con presión atmosférica en la tolva y aumentando hasta la salida por la boquilla. La sección de paso del tornillo no es constante, sino que es mayor en la zona de alimentación (mayor profundidad de canal). Normalmente el tornillo no viene acompañado de ningún sistema de calentamiento o enfriamiento,

<sup>65</sup> BELTRÁN Rico M. "Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades" Ed. Universidad de Alicante 2012, España pp 107 -108

aunque en algunos casos se emplean tornillos huecos por los que se hace circular un fluido refrigerante o calefactor.<sup>66</sup>

A continuación se observa el análisis de riesgos de esta parte de la extrusora, el tornillo. Los peligros que pueden hallarse derivados del movimiento de rotación del tornillo consisten en atrapamiento, cizallamiento, aplastamiento o abrasión. Sin embargo, será posible advertir dichos peligros y de manera importante, únicamente en caso de que se manipule el tornillo estando la máquina en actividad y el tornillo en rotación se encuentre expuesto. De lo contrario, al desempeñar su función únicamente de manera interna, el tornillo, en su uso normal dentro la extrusora no representa peligro en el aspecto mecánico. Por otro lado, al estar en proceso, el tornillo podrá alcanzar temperaturas elevadas, que se verán reflejadas en el cilindro, a dicho peligro debe prestarse mayor atención.

### Análisis de riesgos: Tornillo

<b>Peligro Mecánico</b>	
<b>Tipo de peligro</b>	Movimiento de rotación tipo árbol
<b>Daños posibles originados por el peligro</b>	Cizallamiento, aplastamiento o abrasión
<b>Ubicación/Función Causantes del peligro</b>	Tornillo girando es su propio eje dentro de una tolva fija/Ejercer presión sobre la carga a alimentada (de hasta 350 kg/cm <sup>2</sup> )
<b>Probabilidad de que ocurra el daño</b>	Baja a media
<b>Severidad de las consecuencias</b>	Media a alta
<b>Peligro Térmico</b>	
<b>Tipo de peligro</b>	Pieza a alta temperatura (hasta de 200 °C)
<b>Daños posibles originados por el peligro</b>	Quemaduras por contacto
<b>Ubicación/Función Causantes del peligro</b>	Zona a temperaturas altas generadas principalmente por cizalla / Plastificación
<b>Probabilidad de que ocurra el daño</b>	Baja a media
<b>Severidad de las consecuencias</b>	Media a alta
<b>Peligro Químico: Líquidos</b>	
<b>Tipo de peligro</b>	Líquidos viscosos muy tóxicos, tóxicos, nocivos, irritantes, sensibilizantes, carcinogénicos, mutágenos o tóxicos para la reproducción

<sup>66</sup> ANGUIITA Delgado R. "Extrusión de plásticos. Teoría y equipos *Parte I*" Ed. H. Blume 1977, España pp 107, 108

### **Peligro Químico: Líquidos**

<b>Daños posibles originados por el peligro</b>	Efectos agudos, crónicos, reacciones inflamatorias en mucosas, hipersensibilidad al gas, cáncer, alteraciones genéticas hereditarias y/o efectos negativos en la capacidad reproductora
<b>Ubicación/Función Causantes del peligro</b>	Zona de plastificación de polímeros, hallándose en estado líquido viscoso / Plastificación
<b>Probabilidad de que ocurra el daño</b>	De media a alta dependiendo del material a extrudir
<b>Severidad de las consecuencias</b>	De media a alta dependiendo del material a extrudir

### **Peligro Químico: Gases**

<b>Tipo de peligro</b>	Gases muy tóxicos, tóxicos, nocivos, irritantes, sensibilizantes, carcinogénicos, mutágenos o tóxicos para la reproducción
<b>Daños posibles originados por el peligro</b>	Efectos agudos, crónicos, reacciones inflamatorias en mucosas, hipersensibilidad al gas, cáncer, alteraciones genéticas hereditarias y/o efectos negativos en la capacidad reproductora
<b>Ubicación/Función Causantes del peligro</b>	Zona de expulsión de gases originados en el proceso / Sin funcionalidad
<b>Probabilidad de que ocurra el daño</b>	De media a alta dependiendo del material a extrudir
<b>Severidad de las consecuencias</b>	De media a alta dependiendo del material a extrudir

### **Peligro Eléctrico**

<b>Tipo de peligro</b>	Contacto eléctrico indirecto
<b>Daños posibles originados por el peligro</b>	Intensidad de 1 a 5.2 mA de c.c. o de 0.4 a 1.1 mA de c.a. (50 Hz). Desde ninguna sensación hasta umbral de percepción
<b>Ubicación/Función Causantes del peligro</b>	Componente y accesorio no diseñados para paso de corriente eléctrica, pero con posibilidad de quedar en tensión por algún defecto / Sin funcionalidad
<b>Probabilidad de que ocurra el daño</b>	Baja
<b>Severidad de las consecuencias</b>	Baja

### **Peligro Ruido**

<b>Tipo de peligro</b>	Ruido continuo estable (máximo 80 decibelios aproximadamente) Sensación de ruidoso
<b>Daños posibles originados por el peligro</b>	Sordera profesional (con jornadas de 8 hrs de exposición, probabilidad inferior al 20% si la exposición se prolonga durante 40 años)
<b>Ubicación/Función Causantes del peligro</b>	Movimiento de cizalla y fricciones del tornillo con la carga solida / Plastificación
<b>Probabilidad de que ocurra el daño</b>	Baja
<b>Severidad de las consecuencias</b>	Baja

## Cilindro

Es el cuerpo principal de la máquina en el que va alojado el tornillo. En la tabla 4.22 se mencionan los peligros hallados en este componente, en base a la tabla 4.5 vista anteriormente.

<b>Peligro inminente</b>	<b>Riesgo medio</b>	<b>Riesgo escaso</b>
Peligros físicos: -Mecánicos -Térmicos Peligros químicos: -Líquidos -Gases		Peligros físicos: -Eléctricos

Tabla 4.22 Peligros presentes en Cilindro

El cilindro proporciona una de las superficies necesarias para friccionar el material plástico y al mismo tiempo, la superficie a través de la cual se transmite al polímero el calor suministrado por los elementos de calefacción externos.<sup>67</sup>

La longitud del cilindro se considera desde el plato rompedor hasta la parte posterior de la garganta de alimentación, y el diámetro considerado es el diámetro interno del cilindro.<sup>67</sup>

Tanto los tornillos como el cilindro requieren estar contruidos con materiales de gran duración, es decir, de gran resistencia al desgaste. La corrosión y el desgaste mecánico, que tienen lugar durante el proceso de extrusión, pueden hacer variar las dimensiones tanto del tornillo como del cilindro. Por estas razones es frecuente encamisar los cilindros con aleaciones bimetálicas; Xaloy (un tipo de acero). Para conseguir la mayor duración posible se exigen las siguientes propiedades en un cilindro:

- Resistencia de la superficie interior de la camisa frente al roce con los filetes del tornillo.
- Resistencia frente a la abrasión causada por fibras y cargas minerales posiblemente presentes en el material termoplástico,
- Resistencia química en contacto con los polímeros fundidos.
- Gran dureza a elevadas temperaturas de trabajo<sup>67</sup>

El cilindro de calefacción alberga en su interior al tornillo. La superficie del cilindro debe ser muy rugosa para aumentar las fuerzas de cizalla que soportara el material y permitir así que este fluya a lo largo de la extrusora. Para evitar la corrosión y el desgaste mecánico, el cilindro suele construirse de aceros muy

---

<sup>67</sup> ANGUITA Delgado R. "Extrusión de plásticos. Teoría y equipos Parte I" Ed. H. Blume 1977, España pp 42

resistentes y en algunos casos viene equipado con un revestimiento bimetálico que le confiere una elevada resistencia, en la mayoría de los casos superior a la del tornillo, ya que este es mucho más fácil de reemplazar.<sup>68</sup>

### Análisis de riesgos: Cilindro

<b>Peligro Mecánico</b>	
<b>Tipo de peligro</b>	No presenta movimiento, parte fija en relación con el tornillo en su interior en movimiento.
<b>Daños posibles originados por el peligro</b>	Contacto con materiales en fase de fabricación, peligro de arrastre de la pieza que mecaniza (tornillo interno)
<b>Ubicación/Función Causantes del peligro</b>	Interior del cilindro (tornillo girando es su propio eje y material en proceso) / Ejercer presión respuesta a la ejercida por el tornillo sobre la carga a alimentada (de hasta 350 kg/cm <sup>2</sup> )
<b>Probabilidad de que ocurra el daño</b>	Baja a media
<b>Severidad de las consecuencias</b>	Alta
<b>Peligro Térmico</b>	
<b>Tipo de peligro</b>	Pieza a alta temperatura (hasta de 350 °C)
<b>Daños posibles originados por el peligro</b>	Quemaduras por contacto
<b>Ubicación/Función Causantes del peligro</b>	Zona (en su interior) con las máximas temperaturas de la extrusora / Plastificación
<b>Probabilidad de que ocurra el daño</b>	Baja a media
<b>Severidad de las consecuencias</b>	Media a alta
<b>Peligro Químico: Líquidos</b>	
<b>Tipo de peligro</b>	Conteniendo líquidos viscosos muy tóxicos, tóxicos, nocivos, irritantes, sensibilizantes, carcinogénicos, mutágenos o tóxicos para la reproducción
<b>Daños posibles originados por el peligro</b>	Efectos agudos, crónicos, reacciones inflamatorias en mucosas, hipersensibilidad al gas, cáncer, alteraciones genéticas hereditarias y/o efectos negativos en la capacidad reproductora
<b>Ubicación/Función Causantes del peligro</b>	Zona de plastificación de polímeros (interior del cilindro), hallándose en estado líquido viscoso / Plastificación
<b>Probabilidad de que ocurra el daño</b>	De media a alta dependiendo del material a extrudir
<b>Severidad de las consecuencias</b>	De media a alta dependiendo del material a extrudir

<sup>68</sup> BELTRÁN Rico M. "Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades" Ed. Universidad de Alicante 2012, España pp 108 -109

### Peligro Químico: Gases

<b>Tipo de peligro</b>	Origen de generación de gases muy tóxicos, tóxicos, nocivos, irritantes, sensibilizantes, carcinogénicos, mutágenos o tóxicos para la reproducción
<b>Daños posibles originados por el peligro</b>	Efectos agudos, crónicos, reacciones inflamatorias en mucosas, hipersensibilidad al gas, cáncer, alteraciones genéticas hereditarias y/o efectos negativos en la capacidad reproductora
<b>Ubicación/Función Causantes del peligro</b>	Zona de expulsión de gases originados en el proceso / Sin funcionalidad
<b>Probabilidad de que ocurra el daño</b>	De media a alta dependiendo del material a extrudir
<b>Severidad de las consecuencias</b>	De media a alta dependiendo del material a extrudir

### Peligro Eléctrico

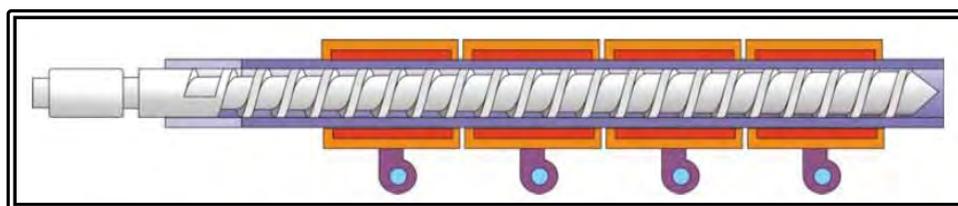
<b>Tipo de peligro</b>	Contacto eléctrico indirecto
<b>Daños posibles originados por el peligro</b>	Intensidad de 1 a 5.2 mA de c.c. o de 0.4 a 1.1 mA de c.a. (50 Hz). Desde ninguna sensación hasta umbral de percepción
<b>Ubicación/Función Causantes del peligro</b>	Componente no diseñado para paso de corriente eléctrica, pero con posibilidad de quedar en tensión por algún defecto / Sin funcionalidad
<b>Probabilidad de que ocurra el daño</b>	Baja
<b>Severidad de las consecuencias</b>	Baja

#### Sistemas de calefacción

Otro componente de vital importancia en el proceso es el sistema de calefacción, componente que tiene como objetivo minimizar la fricción del polímero sólido contra las paredes así como asegurar su fundición. En la tabla 4.23 se mencionan los peligros hallados en este componente, en base a la tabla 4.5 vista anteriormente.

Peligro inminente	Riesgo medio	Riesgo escaso
Peligros físicos: - Eléctricos - Térmicos	/	/

Tabla 4.23 Peligros presentes en Sistemas de Calefacción



**Imagen 4.24 Sistemas cilindro de calefacción-tornillos**

Imagen de: BELTRÁN Rico M. "Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades"  
Ed. Universidad de Alicante 2012, España pp 108 -109

El cilindro por lo general posee sistemas de transferencia de calor. El calentamiento se puede realizar mediante resistencias eléctricas circulares localizadas en toda su longitud, y también, aunque es menos usual, mediante radiación o encamisado con fluidos refrigerantes o calefactores. El cilindro suele dividirse en varias zonas de calefacción, al menos tres, con control independiente en cada una de ellas, lo que permite conseguir un gradiente de temperatura razonable desde la tolva hasta la boquilla.<sup>69</sup>

El cilindro debe enfriarse si como consecuencia de la generación interna de calor originada por la cizalla a la que se somete al plástico o reacción se rebasa la temperatura nominal del proceso (lo que ocurre normalmente). El enfriamiento en la menor parte de las ocasiones se hace con líquidos, ya que aunque tengan una mayor capacidad para eliminar calor que el aire, la temperatura es más difícil de controlar. Normalmente se usan soplantes. Hay que tener en cuenta que los sensores de control de temperatura quedan situados en el cilindro, por lo que la temperatura del material será siempre superior a la que indican los controles.<sup>69</sup>

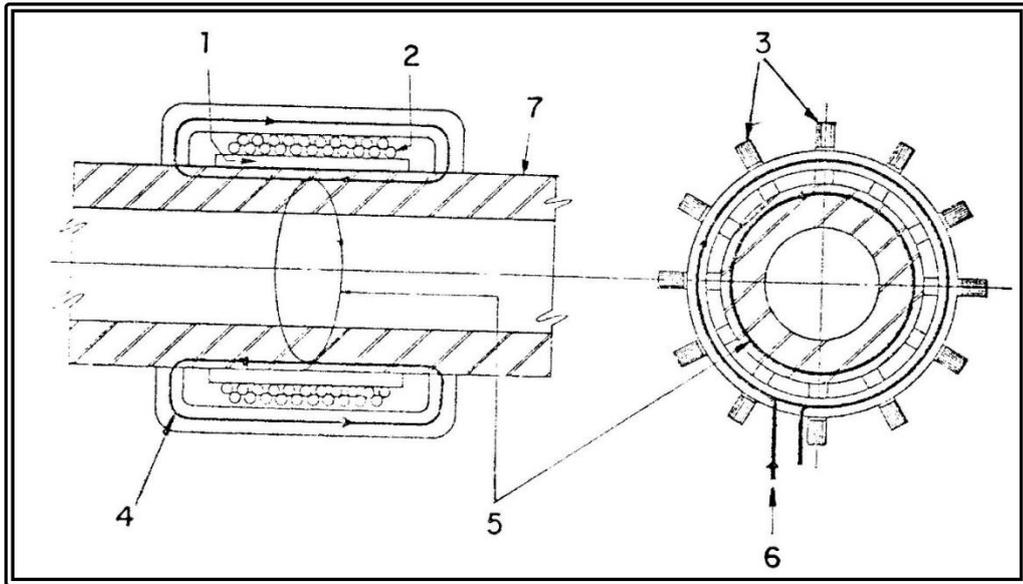
Un método empleado para la calefacción de los cilindros es el uso de resistencias eléctricas tubulares enrolladas sobre el cilindro, se emplean resistencias individuales que permiten dividir el cilindro en varias zonas de calefacción.<sup>70</sup>

Otro método de calefacción eléctrica es el de calefacción por inducción; con este método el calor es producido en las propias paredes del cilindro, éste va rodeado por una serie de bobinas inductoras y la corriente que circula por estas produce corrientes inducidas en las paredes del cilindro que se transforman en calor. Con objeto de poder enfriar es necesario dejar espacio entre las bobinas inductoras y el cilindro, por lo que las bobinas se montan sobre unos puentes de láminas de hierro que además actúan como puentes de inducción que permiten cerrar las líneas del circuito magnético. Cuando se necesita enfriar se hace circular aire a través de los espacios que quedan entre bobinas y cilindros. La práctica ha demostrado que calentando por inducción, se toma media hora para subir la temperatura del cilindro a 190°C, una resistencia eléctrica tarda más tiempo. Se utiliza este tipo de sistema de calefacción para extrusoras que trabajan a temperaturas muy elevadas o con compuestos muy sensibles al calor. Los sistemas de calefacción por inducción se dividen en dos tipos: uno con bobinas de múltiples capas y alto voltaje (trabajan a 220 V) y otro con bobinas de una sola capa y bajo voltaje (entre 20 y 60 V).<sup>70</sup>

---

<sup>69</sup> BELTRÁN Rico M. *"Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades"* Ed. Universidad de Alicante 2012, España pp 109

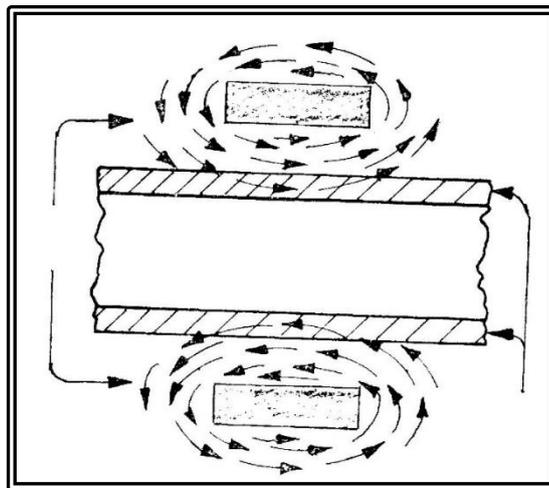
<sup>70</sup> ANGUITA Delgado R. *"Extrusión de plásticos. Teoría y equipos Parte I"* Ed. H. Blume 1977, España pp 63



**Imagen 4.25 Sistema de calefacción por inducción**

Imagen de: ANGUITA Delgado R. "Extrusión de plásticos. Teoría y equipos *Parte I*" Ed. H. Blume 1977, España pp 65

1. Medio de refrigeración
2. Enrollamientos primarios
3. Láminas de núcleos magnéticos
4. Líneas del flujo magnético
5. Corriente secundaria
6. Corriente primaria
7. Cilindro



**Imagen 4.26 Calentamiento del cilindro por inducción:  
principio de funcionamiento**

Imagen de: ANGUITA Delgado R. "Extrusión de plásticos. Teoría y equipos *Parte I*" Ed. H. Blume 1977, España pp 65

Otros sistemas de calefacción utilizan el calor latente de vaporización de un líquido para mantener constante la temperatura, empleando resistencias eléctricas para la calefacción. Los líquidos elegidos pueden ser mezclas convenientes de agua con glicerina o con otros glicoles. La calefacción se hace con resistencias eléctricas; cuando aumenta la temperatura hierve el líquido de la cámara, evapora y vuelve a condensar, cediendo su calor latente de vaporización; por el condensador circula suficiente agua que permite la total condensación de los vapores producidos. De este modo el calor en exceso se elimina a través del agua de refrigeración del condensador, y la temperatura de la zona se mantiene

perfectamente constante en el punto de ebullición del líquido empleado. Como líquidos de calefacción se emplean agua, para temperaturas hasta de 240°C, y Dowtherm<sup>71</sup> para temperaturas comprendidas entre 180° y 450°C. Cuando el cilindro se calienta se mantiene en la cámara una presión correspondiente a la temperatura que se desea en el cilindro; el líquido no hierve mientras se mantenga esta presión.<sup>72</sup>

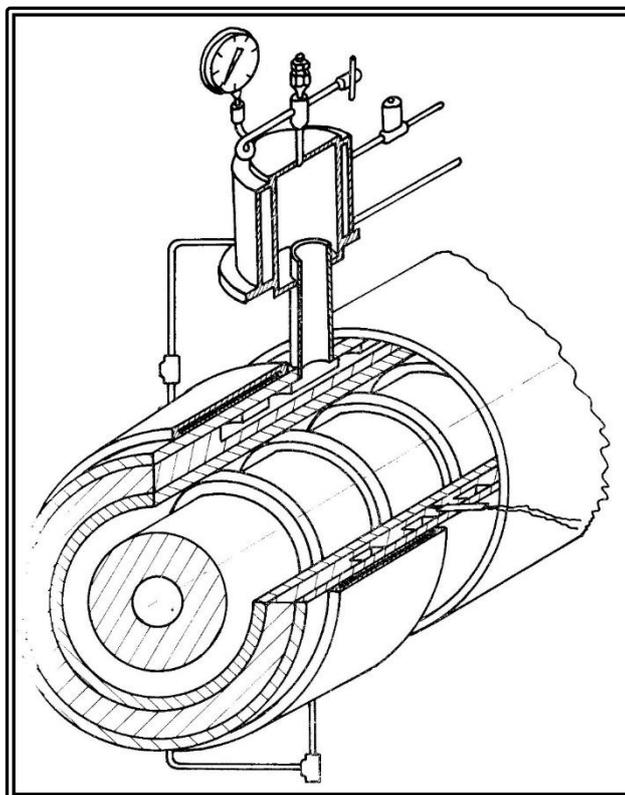


Imagen 4.27 Sistema de enfriamiento del vapor para controlar la temperatura del cilindro

Imagen de: ANGUITA Delgado R. "Extrusión de plásticos. Teoría y equipos Parte I" Ed. H. Blume 1977, España pp 69

### Análisis de riesgos: Sistema de calefacción

Peligro Térmico	
<b>Tipo de peligro</b>	Pieza a alta temperatura (hasta de 350 °C)
<b>Daños posibles originados por el peligro</b>	Quemaduras por contacto, estrés térmico por radiación térmica
<b>Ubicación/Función Causantes del peligro</b>	Zona con las máximas temperaturas de la extrusora / Plastificación
<b>Probabilidad de que ocurra el daño</b>	Baja a media
<b>Severidad de las consecuencias</b>	Media a alta

<sup>71</sup> Dowtherm: Fluido de transferencia de calor, composición 95.5 % etilenglicol 4.5 % inhibidores de corrosión industriales. Se tiñe de rosa fluorescente para detección de pérdidas.

<sup>72</sup> ANGUITA Delgado R. "Extrusión de plásticos. Teoría y equipos Parte I" Ed. H. Blume 1977, España pp 67-68

## Peligro Eléctrico

<b>Tipo de peligro</b>	Contacto eléctrico directo
<b>Daños posibles originados por el peligro</b>	Intensidad de 1 a 90 mA de c.c. o de 0.4 a 23 mA de c.a. (50 Hz). Desde ninguna sensación hasta umbral de intensidad limite
<b>Ubicación/Función Causantes del peligro</b>	Componente diseñado para llevar tensión / Conversión de energía eléctrica en energía térmica
<b>Probabilidad de que ocurra el daño</b>	Baja
<b>Severidad de las consecuencias</b>	Media a alta

### Sistemas de refrigeración

Tan importante o más que los sistemas de calefacción empleados, es el sistema de refrigeración. Ya que si se llega a una temperatura excesiva pueden aparecer fenómenos de degradación del polímero y/o problemas en la recogida del perfil extrudado. En base a la tabla 4.5 los peligros que pueden presentarse en este componente son los siguientes:

Peligro inminente	Riesgo medio	Riesgo escaso
Peligros físicos: - Eléctricos - Térmicos		

*Tabla 4.28 Peligros presentes en Sistemas de refrigeración*

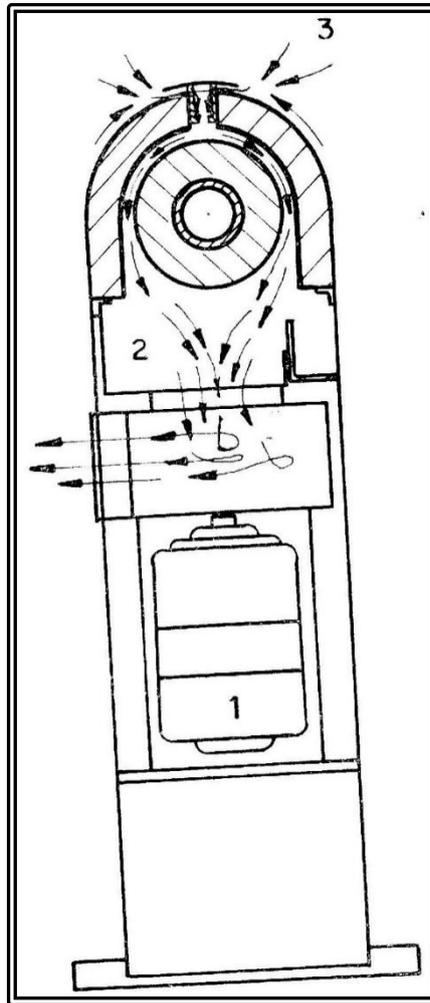
Para conseguir un eficaz transporte del material es preciso que las fuerzas de fricción entre las paredes del cilindro y los gránulos del material sean mayores que las fuerzas de fricción entre el tornillo y los gránulos; por esta razón es preferible que la temperatura del tornillo sea inferior a la del cilindro, tomando en cuenta que el efecto de calentamiento por las fricciones es mayor en el tornillo, se hace necesaria la refrigeración en el tornillo.<sup>73</sup>

En extrusoras de un solo tornillo, se taladra el tornillo y se inserta un tubo de menor diámetro que permite la circulación de agua. El calentamiento del material depende de sus características térmicas, particularmente de su calor específico y de su viscosidad a la temperatura de trabajo, los materiales con bajo calor específico y alta viscosidad a la temperatura de trabajo son los que más se calientan por efecto de fricción. Un sistema de refrigeración consiste en un soplante que lanza aire alrededor del cilindro y sobre los elementos de calefacción. Otra solución es enrollar en espiral tubos de cobre en las

---

<sup>73</sup> ANGUITA Delgado R. "Extrusión de plásticos. Teoría y equipos Parte I" Ed. H. Blume 1977, España pp 74

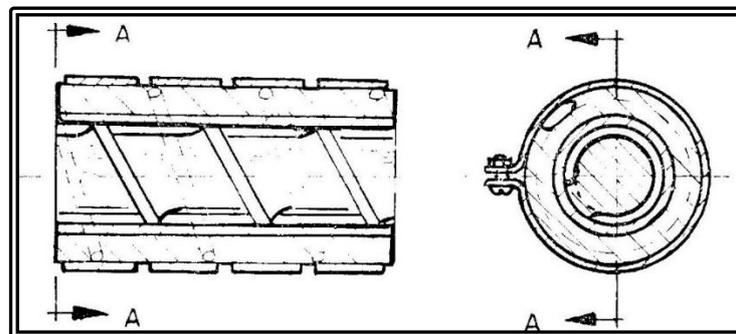
paredes del cilindro, las zonas de refrigeración se controlan eléctricamente, la velocidad de paso del fluido refrigerante por los tubos de cobre es controlada por medio de válvulas.



**Imagen 4.29 Sistema de refrigeración del cilindro con aire**

Imagen de: ANGUITA Delgado R. "Extrusión de plásticos. Teoría y equipos Parte I" Ed. H. Blume 1977, España pp 76

- 1. Soplante
- 2. Flujo de aire
- 3. Entrada de aire



**Imagen 4.30 Sistema de refrigeración del cilindro con fluido (agua)**

Imagen de: ANGUITA Delgado R. "Extrusión de plásticos. Teoría y equipos Parte I" Ed. H. Blume 1977, España pp 75

Frecuentemente es también necesario refrigerar la garganta de entrada del material. Si en la garganta de la tova de alimentación los gránulos del material plástico se calentaran hasta ponerse blandos y

pegajosos, se podría bloquear la entrada al tornillo por la unión de los propios gránulos del material y, además, estos se pegarían al tornillo y se impediría el avance hacia adelante del termoplástico, si no se enfriara la temperatura tendería a subir constantemente.<sup>74</sup>

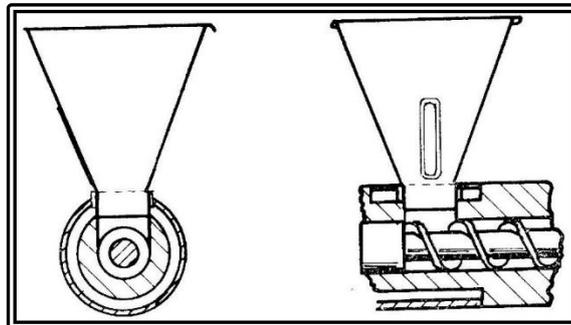


Imagen 4.31 *Sistema de refrigeración de la garganta de la tolva de alimentación*

Imagen de: ANGUITA Delgado R. "Extrusión de plásticos. Teoría y equipos Parte I" Ed. H. Blume 1977, España pp 80

### Análisis de riesgos: Sistema de refrigeración

<b>Peligro Térmico</b>	
<b>Tipo de peligro</b>	Fluido devuelto a altas temperaturas
<b>Daños posibles originados por el peligro</b>	Estrés térmico
<b>Ubicación/Función Causantes del peligro</b>	El fluido adquiere la energía térmica en exceso del proceso de extrusión, el fluido es liberado a una temperatura mucho mayor a la de entrada (aire caliente o agua en forma de vapor) / Refrigeración
<b>Probabilidad de que ocurra el daño</b>	Baja a media
<b>Severidad de las consecuencias</b>	Media a alta
<b>Peligro Eléctrico</b>	
<b>Tipo de peligro</b>	Contacto eléctrico indirecto
<b>Daños posibles originados por el peligro</b>	Intensidad de 1 a 5.2 mA de c.c. o de 0.4 a 1.1 mA de c.a. (50 Hz). Desde ninguna sensación hasta umbral de percepción
<b>Ubicación/Función Causantes del peligro</b>	Componente no diseñado para paso de corriente eléctrica, pero con posibilidad de quedar en tensión por algún defecto / Sin funcionalidad
<b>Probabilidad de que ocurra el daño</b>	Baja
<b>Severidad de las consecuencias</b>	Baja

<sup>74</sup> ANGUITA Delgado R. "Extrusión de plásticos. Teoría y equipos Parte I" Ed. H. Blume 1977, España pp 80

## ZONA IV "Evacuación"

Zona de la extrusora: Salida

### Sistema de evacuación

Es la parte final de la extrusora, ya fue procesado por la máquina y en esta zona el material es ya completamente viscoso. Los peligros mencionados en la tabla 4.5 son los siguientes:

Peligro inminente	Riesgo medio	Riesgo escaso
Peligros físicos: -Térmicos Peligros químicos: - Gases	Peligros físicos: -Mecánicos	

Tabla 4.32 Peligros presentes en Sistema de evacuación

Es la zona en la que el material sale como producto del proceso de extrusión. La salida está conformada por el cabezal y boquilla (asistidos por válvulas para aumentar la presión en el cabezal) y el plato rompedor y filtros (asistidos por un paquete de mallas).

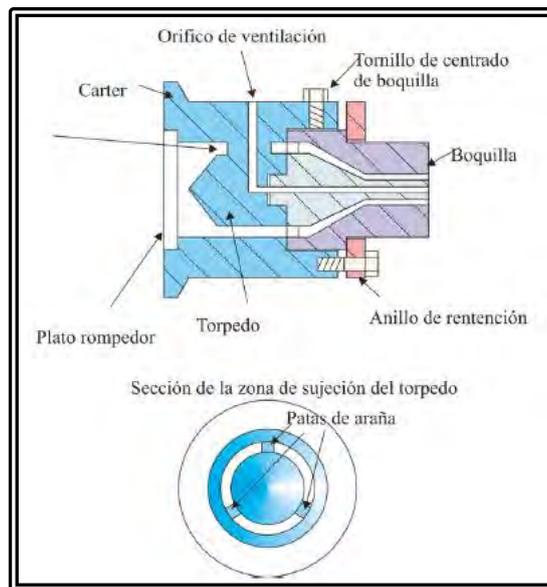
El **cabezal** de la extrusora es la pieza situada entre el cilindro y la **boquilla** conformadora. Es frecuente hablar del conjunto de piezas situado al extremo del cilindro llamándole simplemente la "boquilla", incluyendo en este concepto al cabezal, el plato rompedor y la propia "boquilla". El cabezal se puede quitar y poner de la máquina con facilidad, lo que permite la sustitución o reparación del plato rompedor. Para esto el cabezal se une directamente al cilindro por medio de tornillos y tuercas, o con pernos, charnelas, bayonetas, etc. El empleo de charnelas, si el sistema está bien proyectado, permite la máxima facilidad de manejo aun cuando la boquilla esté caliente, como ocurre casi siempre en la práctica.<sup>75</sup>

La manera más sencilla de sujetar el cabezal al cilindro es mediante el uso de tuercas directamente atornilladas sobre la brida del cilindro. Este sistema es aconsejable cuando no es preciso limpiar el tornillo de la extrusora o cambiar las telas metálicas del plato rompedor. El uso de sistemas automáticos para cambiar y limpiar la placa rompedora y el paquete de filtros ha ayudado al mantenimiento de este tipo de fijación, especialmente en el caso de cabezales y boquillas pesados, que deben apoyarse en el suelo y no permiten usar otro tipo de fijación, por ejemplo con charnela.<sup>75</sup>

<sup>75</sup> ANGUITA Delgado R. "Extrusión de plásticos. Teoría y equipos Parte I" Ed. H. Blume 1977, España pp 46

El cabezal es la pieza situada al final del cilindro, que se encuentra sujetando la boquilla y por lo general manteniendo el plato rompedor. Generalmente va atornillado al cilindro. El perfil interno del cabezal debe facilitar lo más posible el flujo del material hacia la boquilla. La imagen 4.33 muestra un sistema cabezal-boquilla de forma anular. En el sistema anular el material fluye del cilindro a la boquilla a través del torpedo, situado en el cabezal. La sección transversal de los soportes del torpedo se diseña para proporcionar el flujo de material a velocidad constante.<sup>76</sup>

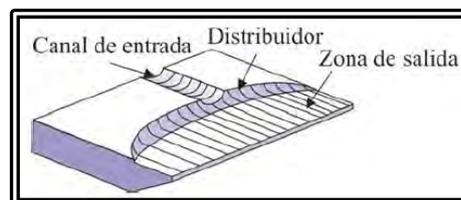
Las boquillas se pueden clasificar por la forma del producto, teniendo así boquillas anulares como la mostrada en la imagen 4.33, boquillas planas, boquillas circulares, etc.<sup>76</sup>



**Imagen 4.33 Boquilla anular y cabezal**

Imagen de: BELTRÁN Rico M. "Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades" Ed. Universidad de Alicante 2012, España pp 113

Se pueden distinguir tres partes diferenciadas en todas las boquillas que se muestran en la imagen 4.34 (corte de boquilla plana): la primera parte es el canal de entrada, luego el distribuidor y a continuación la zona de salida.<sup>76</sup>



**Imagen 4.34 Partes diferenciadas en una boquilla de extrusión**

Imagen de: BELTRÁN Rico M. "Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades" Ed. Universidad de Alicante 2012, España pp 114

<sup>76</sup> BELTRÁN Rico M. "Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades" Ed. Universidad de Alicante 2012, España pp 112

Para variar la presión de extrusión, cuando se trabaja con una boquilla determinada, basta con cambiar la resistencia al paso del polímero fundido que ofrece el sistema, es decir, variar la resistencia al flujo. Esto puede hacerse poniendo un paquete más tupido de telas metálicas, o colocar una válvula de regulación del paso del fluido.<sup>77</sup>

El objeto de emplear válvulas situadas en el cabezal es aumentar o disminuir el gradiente de presión que se mantiene en el interior de la extrusora, y controlar eficazmente la presión. Se emplean válvulas internas y externas.<sup>77</sup>

El empleo de válvulas permite obtener presiones de hasta 200 a 350 Kg/cm<sup>2</sup>, necesarias para mejorar la eficacia de la mezcla y hacer más uniforme la temperatura del material extrudido.<sup>77</sup>

El **plato rompedor** está situado en el extremo del cilindro entre éste y el cabezal; el cabezal sirve para colocar y ajustar el plato rompedor. Este plato debe ser lo suficientemente grueso para permitir que quede alguna holgura entre el cabezal y el cilindro cuando estos dos están unidos y con los tornillos (o el sistema de sujeción utilizado) bien apretados. Así se asegura que no pueda escapar material fundido por el ajuste y que el plato rompedor quede rígidamente colocado. El plato rompedor está constituido por un robusto anillo de acero que rodea un plato grueso del mismo material, cuyo plato va taladrado por una serie de orificios equidistantes entre sí; el diámetro de estos orificios varía de 3 a 5 mm, según el tamaño de la máquina y sus extremos suelen estar abocardados para facilitar el flujo del material a través de dichos agujeros.<sup>77</sup>

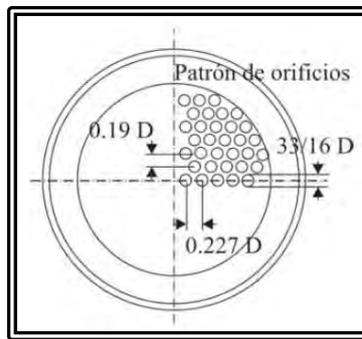
El diseño del plato rompedor y del cabezal deben ser tales que se eviten zonas en las que el polímero fundido pueda quedar detenido, con peligro de sufrir degradación al estar sometido durante mucho tiempo a temperaturas elevadas. Muchas veces la cara del plato rompedor que mira al tornillo de extrusión lleva una ligera conicidad para que se acople mejor con el extremo del tornillo y se eviten zonas "muertas" para el flujo de material fundido.<sup>77</sup>

El plato rompedor se encuentra al final del cilindro. Se trata de un disco delgado de metal con agujeros, como se muestra en la imagen 4.35. El propósito del plato es servir de soporte a un paquete de **filtros** cuyo fin principal es atrapar los contaminantes para que no salgan con el producto extrudido. Los filtros además mejoran el mezclado y homogenizan el fundido. Los filtros van apilados delante del plato rompedor, primero se sitúan los de malla más ancha, reduciéndose el tamaño de malla

---

<sup>77</sup> ANGUITA Delgado R. "Extrusión de plásticos. Teoría y equipos *Parte I*" Ed. H. Blume 1977, España pp 48, 51

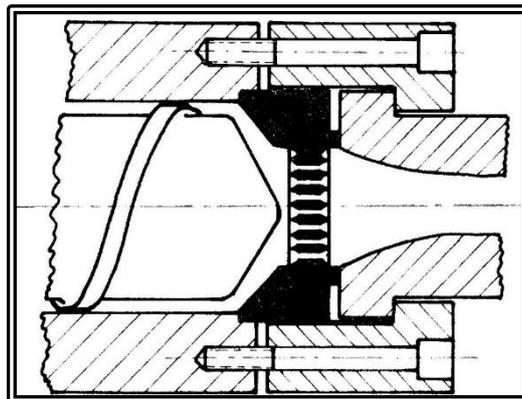
progresivamente. Detrás se sitúa un último filtro también de malla ancha y finalmente el plato rompedor que soporta filtros.<sup>78</sup>



**Imagen 4.35 Plato rompedor**

Imagen de: BELTRÁN Rico M. "Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades"  
Ed. Universidad de Alicante 2012, España pp 112

Este componente no representa peligro mecánico, ya que su funcionamiento no se basa en el movimiento. El peligro que se halla en este componente es el térmico durante el funcionamiento de la extrusora y posiblemente la presión ejercida sobre el mismo por parte del polímero fundido, sin embargo, se ocupa el componente únicamente de manera interna, por lo que no representa un peligro eminente durante el funcionamiento con normalidad de la extrusora.



**Imagen 4.36 Diseño detallado de plato rompedor**

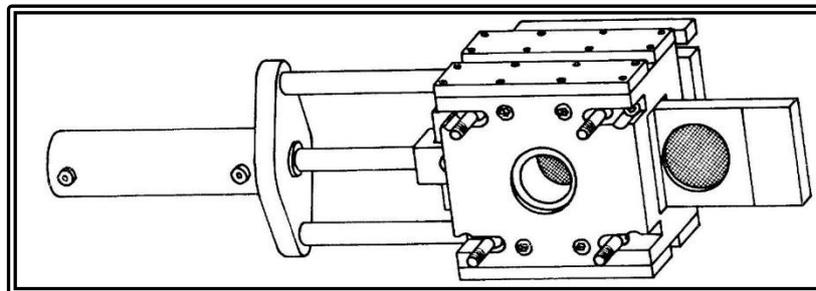
Imagen de: ANGUITA Delgado R. "Extrusión de plásticos. Teoría y equipos Parte I"  
Ed. H. Blume 1977, España pp 51

El paquete de telas metálicas que se coloca en el plato rompedor está formado por telas metálicas de acero de distintas aperturas de malla; las telas más finas y con menor luz de malla (más cerradas). Estas telas metálicas se colocan en el plato rompedor hacia el lado del tornillo, de modo que la propia presión del termoplástico fundido mantiene en posición al juego de telas metálicas. Sirven además como elemento filtrante y evitan el paso de partículas extrañas o gránulos de material sin fundir.<sup>79</sup>

<sup>78</sup> BELTRÁN Rico M. "Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades" Ed. Universidad de Alicante 2012, España pp 111

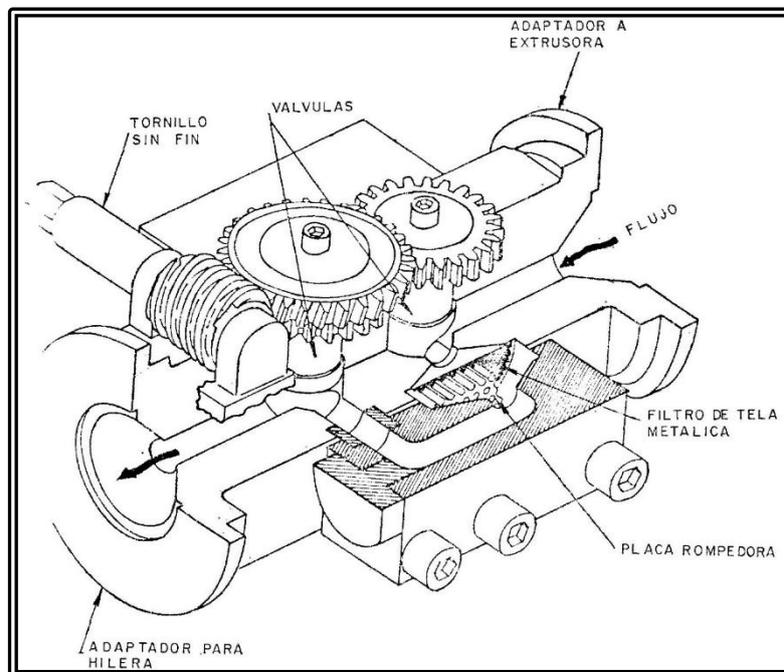
<sup>79</sup> ANGUITA Delgado R. "Extrusión de plásticos. Teoría y equipos Parte I" Ed. H. Blume 1977, España pp 51-52

Frecuentemente se plantea el problema de tener que cambiar el paquete de telas metálicas durante la extrusión, cuando éste se ha obturado en gran parte, debido a las impurezas retenidas que se van acumulando; esta necesidad se detecta por la disminución de los Kg/h que salen de la extrusora, y por el aumento excesivo de presión delante del extremo del tornillo, cuya presión se mide con un manómetro colocado en esta zona. Para cambiar las telas metálicas se para la extrusión. Actualmente el problema se resuelve montando en la salida de la extrusora, antes de la boquilla, un cambiador automático de filtros por un sistema hidráulico, que mantiene la mínima separación entre extrusora y boquilla. Se desplaza lateral y alternativamente, cada vez que se necesita cambiar los filtros; al desplazarse sale fuera el plato rompedor y los filtros obturados y se colocan automáticamente en posición el plato y los filtros de recambio; se pueden realizar todos los cambios de filtros que haga falta sin parar el funcionamiento de la extrusora.<sup>80</sup>



**Imagen 4.37 Cambiador automático de filtros de placa deslizante**

Imagen de: ANGUITA Delgado R. "Extrusión de plásticos. Teoría y equipos Parte I" Ed. H. Blume 1977, España pp 52



**Imagen 4.38 Cambiador automático de filtros en derivación**

Imagen de: ANGUITA Delgado R. "Extrusión de plásticos. Teoría y equipos Parte I" Ed. H. Blume 1977, España pp 53

<sup>80</sup> ANGUITA Delgado R. "Extrusión de plásticos. Teoría y equipos Parte I" Ed. H. Blume 1977, España pp 52-53

## Análisis de riesgos: Sistema de Evacuación

<b>Peligro Térmico</b>	
<b>Tipo de peligro</b>	Pieza a alta temperatura
<b>Daños posibles originados por el peligro</b>	Quemaduras por contacto, estrés térmico por radiación térmica
<b>Ubicación/Función Causantes del peligro</b>	Zona con alta temperatura / Mantener el polímero en forma líquida
<b>Probabilidad de que ocurra el daño</b>	Baja a media
<b>Severidad de las consecuencias</b>	Media a alta

<b>Peligro Químico: Gases</b>	
<b>Tipo de peligro</b>	Gases muy tóxicos, tóxicos, nocivos, irritantes, sensibilizantes, carcinogénicos, mutágenos o tóxicos para la reproducción
<b>Daños posibles originados por el peligro</b>	Efectos agudos, crónicos, reacciones inflamatorias en mucosas, hipersensibilidad al gas, cáncer, alteraciones genéticas hereditarias y/o efectos negativos en la capacidad reproductora
<b>Ubicación/Función Causantes del peligro</b>	Zona de expulsión de gases originados en el proceso / Sin funcionalidad
<b>Probabilidad de que ocurra el daño</b>	De media a alta dependiendo del material a extrudir
<b>Severidad de las consecuencias</b>	De media a alta dependiendo del material a extrudir

<b>Peligro Mecánico</b>	
<b>Tipo de peligro</b>	Provocados por partes en movimiento (engranes) Movimientos fundamentales: De corte, de avance, de penetración
<b>Daños posibles originados por el peligro</b>	Atrapamientos o roturas de elementos (arboles, correas, engranajes, etc.)
<b>Ubicación/Función Causantes del peligro</b>	Componentes activos del equipo, diseñados para originar movimiento / Cambio mecánico de mallas
<b>Probabilidad de que ocurra el daño</b>	Media
<b>Severidad de las consecuencias</b>	Media

### ZONA V "Entorno"

Entorno y Medio Ambiente

El entorno que rodea los puntos de operación ya analizado anteriormente, es muy similar al entorno general que rodea a toda la extrusora, la diferencia será que los peligros se presentan con menor intensidad al irse alejando de los puntos de operación, a pesar de esto, no deben ignorarse ya que aún

se encuentran presentes y sus efectos son graves. Los peligros del entorno en general de la extrusora mencionados en la tabla 4.5 son:

Peligro inminente	Riesgo medio	Riesgo escaso
Peligros físicos: -Térmicos Peligros químicos: -Gases	/	/

Tabla 4.39 Peligros presentes en Entorno

Con el entorno en general de la extrusora se hace referencia a los peligros a los que se expone una persona con el simple hecho de estar en la zona que rodea a la extrusora sin tener contacto con la máquina. Los peligros a los que se expone una persona al estar parada cerca de una extrusora serán transmitidos por los fluidos del medio (agua o aire). A continuación se presenta el análisis de riesgos del entorno considerando un funcionamiento correcto de la máquina y en uso con normalidad así como un suelo libre de agua. Peligros encontrados al estar junto a la máquina sin tener contacto con la misma:

#### Análisis de riesgos: Entorno de la extrusora

Peligro Térmico	
<b>Tipo de peligro</b>	Ambiente térmico
<b>Daños posibles originados por el peligro</b>	Disconfort, fatiga, estrés térmico por radiación térmica, disminución del rendimiento en los trabajos intelectuales o que exijan estar despierto o alerta
<b>Ubicación/Función Causantes del peligro</b>	Ambiente térmico (de 30 a 40 °C) causado por radiación térmica / Sin funcionalidad
<b>Probabilidad de que ocurra el daño</b>	Alta
<b>Severidad de las consecuencias</b>	Baja
Peligro Químico: Gases	
<b>Tipo de peligro</b>	Presencia de gases muy tóxicos, tóxicos, nocivos, irritantes, sensibilizantes, carcinogénicos, mutágenos o tóxicos para la reproducción
<b>Daños posibles originados por el peligro</b>	Efectos agudos, crónicos, reacciones inflamatorias en mucosas, hipersensibilidad al gas, cáncer, alteraciones genéticas hereditarias y/o efectos negativos en la capacidad reproductora
<b>Ubicación/Función Causantes del peligro</b>	Ambiente contaminado con gases originados en el proceso / Sin funcionalidad
<b>Probabilidad de que ocurra el daño</b>	De media a alta dependiendo del material a extrudir
<b>Severidad de las consecuencias</b>	De media a alta dependiendo del material a extrudir

## MATRIZ DE ANÁLISIS DE RIESGOS

Una vez realizados todos los análisis de riesgos por zona es posible efectuar una Matriz de análisis de riesgos. Una matriz de análisis de riesgos consiste en la identificación de peligros asociados a cada fase o etapa del trabajo y la posterior estimación de los riesgos teniendo en cuenta conjuntamente la probabilidad y las consecuencias en el caso de que el peligro se materialice. La estimación del riesgo (ER) vendrá determinada por el producto de la frecuencia (F) o la probabilidad (P) de que un determinado peligro produzca un cierto daño, por la severidad de las consecuencias (C) que pueda producir dicho peligro.

$$ER = F \times C$$

o

$$ER = P \times C$$

Debiendo tener en cuenta que si bien en prevención los términos de probabilidad y frecuencia se utilizan como sinónimos, en realidad se hace referencia al número de sucesos que ocurren y provocan un cierto daño en un determinado intervalo de tiempo (frecuencia), entendiendo por consecuencias las lesiones o daños afectados en cada suceso.

A partir de esta cuantificación deben adoptarse medidas de control para las situaciones de riesgo cuyo valor de ER se encuentre en la zona sombreada de la matriz de análisis de riesgos.

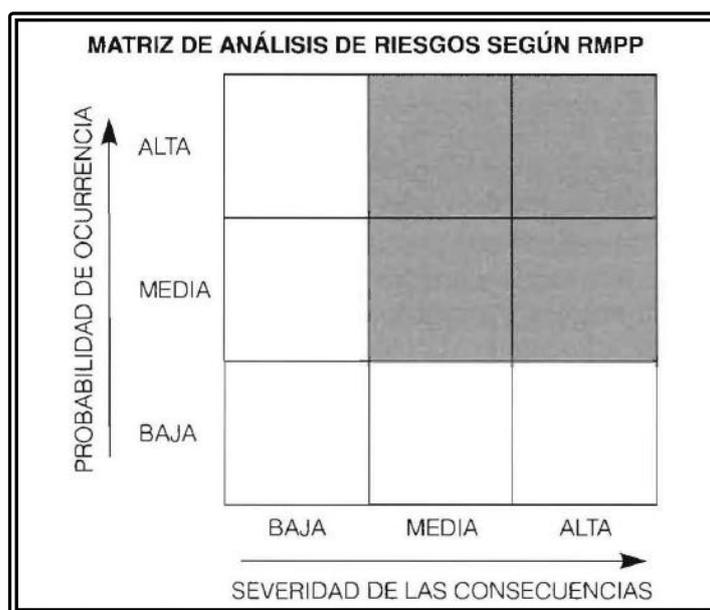


Imagen 4.40 Matriz de análisis de riesgos según RMPP<sup>81</sup>

<sup>81</sup> RMPP (Risk Management and Prevention Program)

Para la extrusora de tornillo único para polímeros, a partir de los peligros encontrados por zona en los análisis de riesgos realizados y mencionados con anterioridad, la matriz de análisis de riesgos queda de la siguiente manera:

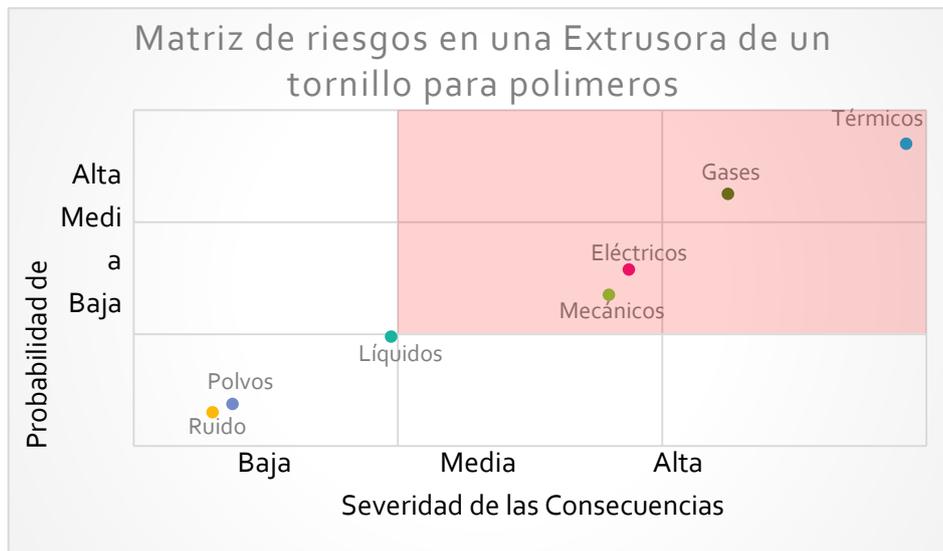


Grafico 4.41 *Matriz de riesgos para el equipo en análisis*

El gráfico 4.41 muestra la matriz de riesgos obtenida para la maquina en cuestión, en la que se observa que los peligros a los que habrá que poner mayor atención son, en orden de prioridad:

1. Peligro térmico
2. Peligro químico (gases)
3. Peligro eléctrico
4. Peligro mecánico

La aplicación de un análisis similar en la industria que lo requiera, debe ser enfocada a cada caso en particular así como las medidas de prevención de peligros. La matriz de riesgos conseguida (gráfico 4.41) se aplica de manera general para extrusoras de tornillo único para polímeros (procesos o síntesis).

### Medidas de prevención

Una vez conocida la tecnología del proceso de forja, así como también señalados los riesgos de presentes en los procesos de conformación por fundición, en este caso por extrusión, los riesgos de manera general a los que es necesario prestar mayor atención son debidos a:

- Contacto con piezas calientes.

- Manutención manual y mecánica.
- Abundancia de mano de obra poco cualificada.
- Energía utilizada (eléctrica, hidráulica, etc.).

A continuación se proponen medidas de prevención de los peligros (térmicos, químicos gases, eléctricos y mecánicos) a los que se debe enfocar la atención de acuerdo a la matriz de riesgos (gráfico 4.41) mostrada con anterioridad. Estas medidas presentadas, al igual que la matriz de riesgos, son aplicables de manera general a extrusoras de tornillo único.

Tipo de peligro	Motivos y tipos de lesiones comunes	Acciones generales de evasión
Peligros térmicos	Manipulación de piezas calientes (quemaduras en manos y múltiples)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Técnica correcta de manipulación de piezas.</li> <li>- Utilización de medios de manutención adecuados.</li> <li>- Protección individual.</li> <li>- Acotación de áreas de accionamiento.</li> </ul>
	Estrés térmico (estrés térmico, síncope, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apantallamiento.</li> <li>- Ventilación general.</li> <li>- Rotación del personal.</li> <li>- Suministro de sales a los trabajadores</li> </ul>
Peligros químicos (gases)	Inhalación de polvos metálicos, gases de combustión, etc. (Afecciones diversas dependiendo del contaminante)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Extracción localizada.</li> <li>- Encerramiento del proceso.</li> <li>- Ventilación general.</li> <li>- Rotación del personal.</li> <li>- Protección individual.</li> </ul>
Peligros eléctricos	Manipulación de piezas de acción eléctrica (sensaciones desde cosquilleo hasta movimientos reflejos, no hay lesión)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Separación por distancia o alejamiento de partes activas.</li> <li>- Interposición de obstáculos o barreras.</li> <li>- Recubrimiento o aislamiento de las partes activas.</li> </ul>
Peligros mecánicos	Atrapamientos (heridas, amputaciones)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistemas de seguridad por doble mando.</li> <li>- Automatización.</li> <li>- Sistemas de enclavamiento.</li> <li>- Protección individual y formación adecuada.</li> </ul>
	Manipulación de piezas acabadas o preformas (heridas, lumbalgias, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Correcta manutención manual y mecánica.</li> <li>- Señalización e iluminación adecuadas.</li> <li>- Orden y limpieza.</li> <li>- Protección individual.</li> </ul>

Tabla 4.42 Medidas de prevención de peligros más agudos en Extrusora de tornillo único para polímeros

## CONCLUSIONES

Se llevó a cabo de manera íntegra un análisis de riesgos, tomando como guía lo establecido por la NOM-004-STPS-1999, para establecer la severidad de los riesgos encontrados. Esto aplicado a una extrusora de tornillo único, al documentar y analizar el funcionamiento de dicha máquina, tomando en cuenta los requisitos mínimos solicitados por la norma rigente de maquinaria y equipo.

Se determinaron los riesgos presentes en la operación de una extrusora de tornillo, al analizar el mecanismo de funcionamiento de cada parte a manipular o a contactar por los operarios, para posteriormente plantear soluciones a los posibles daños al operarla.

Se realizó la correlación entre el funcionamiento de la máquina y los riesgos encontrados mediante el estudio del funcionamiento de la máquina y estableciendo su influencia en la severidad, dando una calificación de manera cuantitativa de los riesgos encontrados, para posteriormente obtener un resultado gráfico.

Se plantearon los mecanismos específicos que aumenten la seguridad en el sistema, enfocados a los riesgos más agudos para la máxima reducción de los mismos. Esto a partir de los resultados gráficos mostrados al valorar numéricamente la severidad y probabilidad de los riesgos presentes en la operación de una extrusora de tornillo único en un proceso especialmente de polímeros.

Por lo cual esta obra concluye de manera positiva en el cumplimiento de su objetivo central: llevar a cabo el requisito solicitado a los patrones por la NOM-004-STPS-1999 (relativa a Sistemas de protección y dispositivos de seguridad en la maquinaria y equipo que se utilice en los centros de trabajo), a través del planteamiento de un análisis de riesgos para una extrusora de tornillo único para síntesis o proceso de polímeros. Para posteriormente como un complemento a lo solicitado proponer y plasmar acciones para minimizar los riesgos hallados más agudos presentes en el sistema en estudio.

## BIBLIOGRAFÍA

- SECRETARÍA DEL TRABAJO Norma Oficial Mexicana NOM-004-STPS-1999 "Sistemas de protección y los dispositivos de seguridad en la maquinaria y equipo que se utilice en los centros de trabajo", México.
- AENOR "Manual sobre seguridad de las máquinas", Ed. AENOR, Madrid 1995, 504 pp, ISBN 9788481431131
- ACGIH "TLVs Valores Límites e índices Biológicos de Exposición 1992-1993", Ed. Generalitat Valenciana, Valencia 1992.
- BURRIEL LLUNA G. "Sistema de gestión de riesgos laborales e industriales", Ed. Mapfre, Madrid 1997, 656 pp, ISBN 9788471008824
- CLERC J. M. "Introducción a las condiciones de trabajo y al medio ambiente de trabajo" Ed. OIT, Ginebra, 1987, 346 pp, ISBN 9223051258
- CORTÉS DÍAZ J. M. "Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo", 9ª edición, Ed. Tébar, Madrid, 2007, 842 pp, ISBN 9788473602723.
- RUBIO ROMERO J. C. "Gestión de la prevención de riesgos laborales. OHSAS 18001 Directrices OIT y otros modelos" Ed. Díaz de Santos, Madrid, 2002, 221 pp ISBN 9788479785253.
- SIMONDS R. H., GRIMALDI, J. V. "Organización de la seguridad en el trabajo" Ed. Rialp, Madrid, 1968, 650 pp, ISBN 0939874989.
- ANGUITA DELAGADO R. "Extrusión de plásticos, teoría y equipos, parte I" Ed. H. Blume, España, 1977, 247 pp, ISBN 8472141187.
- RAMOS de VALLE L. F. "Extrusión de Plásticos: Principios Básicos" Ed. Limusa, México, 1993, 188 pp, ISBN 9681845048.
- BURRIEL LLUNA G. "Sistema de gestión de riesgos laborales e industriales" Ed. Fundación Mapfre, Madrid, 1997, 656 pp. ISBN 9788471008824.
- España Dirección General de Protección Civil. "Métodos cualitativos para el análisis de riesgos: Guía Técnica", Madrid, 1994, 150 pp.
- España Dirección General de Protección Civil. "Metodologías para el análisis de riesgos: Guía Técnica", Madrid, 1994, 127 pp.
- España Dirección General de Protección Civil. "Métodos cuantitativos para el análisis de riesgos: Guía Técnica", Madrid, 1994, 127 pp.
- GARRIDO M. M., PÉREZ T. P. "El trabajo en ambientes con sobrecarga térmica", Ed. INSHT, Madrid, 1981, 173 pp. ISBN 8474251370.
- CHAPMAN STEPHEN J., "Máquinas Eléctricas" 3ª Ed. McGraw-Hill, Bogotá, 2000, 775 pp. ISBN 9584100564.