

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA INYECTORA  
DE PLÁSTICO**

**CÉSAR LEONARDO CADENA RUEDA  
ALEJANDRO MEZA MARTÍNEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2006**

A 3D CAD model of a plastic injection molding machine, shown in a semi-transparent view to reveal internal components. The machine is mounted on a metal frame with casters. The main body is grey, with a prominent red rectangular section in the center. The background is a light yellow gradient.

# **DISEÑO DE UNA MÁQUINA INYECTORA DE PLÁSTICO**

**CÉSAR LEONARDO CADENA RUEDA  
ALEJANDRO MEZA MARTÍNEZ**

**Trabajo de Grado para optar al título de  
Ingeniero Mecánico**

**Director  
JORGE ENRIQUE MENESES  
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2007**



## DEDICATORIA

*César Cadena:*

*A Dios, a Chucho, a mi familia en especial a mi mamá y mi tía, a Mirna y mis amigos. A don José, que siempre me quiso ver como un “doctor con fundamento”.*

*Alejandro Meza:*

*A la vieja Made. Gracias por la paciencia...*

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por la oportunidad.

A mi mamá, mi tía y todos mis familiares, por su apoyo y sacrificio y hacer de mí la persona que soy. A Mirna, por su amor, compañía y por ser ese polo a tierra que tanto me hacía falta. A todos mis amigos, por su amistad incondicional, su compañía y buenos recuerdos, en especial Jose, Felipe, Ricardo y Alejo, mi compañero de proyecto.

Al colega Jorge Enrique Meneses, director del proyecto y amigo, por su respaldo, confianza y colaboración y con él a todos los profesores y personal de la Escuela.

A todos aquellos que hicieron posible este trabajo, Eduardo Culman, Bercely Chacón, José Verdeza, Pladesan, Tornoplast, Socomex S.A., y personal del Lab FMS.

**César Leonardo Cadena**

Agradezco principalmente a mi mamá por el apoyo, la confianza y su sacrificio por brindarme la educación. A mis hermanos por su soporte y motivación.

A mis amigos, César Cadena, Eduardo Culman, José Verdeza, Bercely Chacón y Sonia Judith.

Igualmente le agradezco al Ing. Jorge Enrique Meneses por su colaboración y consejos durante la realización de éste proyecto y buena parte de mi carrera. A los Ing. Alfredo y Abel Parada por la orientación y asistencia.

**Alejandro Meza Martinez**

## RESUMEN

**TÍTULO:**  
**DISEÑO DE UNA MÁQUINA INYECTORA DE PLÁSTICO\***

**AUTORES:**  
César Leonardo Cadena Rueda.  
Alejandro Meza Martínez.\*\*

**PALABRAS CLAVES:**  
Diseño, Moldeo por inyección, Inyección de plástico, Procesos de manufactura del Plástico.

**DESCRIPCIÓN:**  
El objetivo de este trabajo de grado es suministrar a la Escuela de Ingeniería Mecánica una herramienta que se constituya en el primer paso para la investigación de los procesos de manufactura de plástico, poco conocidos en nuestra Escuela. Se parte de la necesidad que se encontró en la escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander de conocer los procesos de manufactura de un material tan importante como el plástico. Se toma como principio de esta investigación el proceso de inyección, por ser el más difundido actualmente y el que presenta una mayor cantidad de productos utilizables en la vida diaria. Se presentan las especificaciones para el diseño de una máquina Inyectora de plástico a partir de unas necesidades específicas dadas. Luego se presentan modelos de solución a dichas necesidades, escogiendo el más factible y mejor adaptado al problema propuesto. A continuación se muestra el proceso de diseño y mejoramiento del mismo a través de herramientas CAD y CAE con la ayuda de tablas de fabricantes y otros elementos seleccionados. Al final se presentan las conclusiones del trabajo y sugerencias para, a partir del presente, lograr mayores avances en futuros trabajos.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ciencias Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Ing. Jorge Enrique Meneses.

## ABSTRACT

**TITLE:**  
**DESIGN OF A PLASTIC INJECTION MOULDING MACHINE \***

**AUTHORS:**  
César Leonardo Cadena Rueda.  
Alejandro Meza Martínez. \*\*

**KEY WORDS:**  
Design, injection moulding, manufacturing processes of plastics.

**DESCRIPTION:**  
The main objective of this degree work is to provide the Mechanical Engineering School with a tool which can be considered as the first step in the research in plastics manufacturing processes, little known in our school. It begins from the need that was found in the Mechanical Engineering School of The Industrial University of Santander about the poor knowledge in manufacturing processes of a material as important as plastic. The basis for this investigation is the Injection Moulding Process, since it is the most expanded nowadays, and the one with the biggest amount of everyday-use products. Specifications for designing an Injection Moulding Machine are presented coming from specific needs given. Then, different models suitable to accomplish those needs are presented, being chosen the most suitable and best adapted to the given problem. Next, the design and improving processes are described through CAD and CAE tools and with the help of fabricant's tables and other selected elements. At the end of the work, conclusions and suggestions for its improvement in future researches are presented.

---

\* Degree Work.

\*\* Physical-Mechanical Sciences Faculty, Mechanical Engineering School, Eng. Jorge Enrique Meneses.

## CONTENIDO

	pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>1 OBJETIVOS</b>	<b>3</b>
1.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
<b>2 JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN</b>	<b>6</b>
2.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	6
2.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA	7
2.3 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA	8
2.4 SELECCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA MÁQUINA	9
2.4.1 Geometría de la Máquina	9
2.4.2 Rango de Trabajo (Tamaño)	9
2.4.3 Unidad Inyectora	10
2.4.4 Unidad de Cierre	11
<b>3 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL DISEÑO</b>	<b>13</b>
3.1 SISTEMAS DE LA MÁQUINA	14
3.1.1 Unidad de Inyección	14
3.1.2 Estructura	15
3.1.3 Unidad de cierre	15
3.1.4 Circuito Hidráulico	16
<b>4 UNIDAD INYECTORA</b>	<b>18</b>
4.1 ELEMENTOS DE LA UNIDAD DE INYECCIÓN	19

4.1.1	Configuración del Tornillo o Husillo	19
4.1.2	Volumen de Inyección	21
4.1.3	Presión de Inyección	22
4.1.4	Tolva	22
4.1.5	Cilindro Inyector	23
4.2	VARIABLES DE CONTROL DE LA UNIDAD INYECTORA	25
4.3	SELECCIÓN DE ELEMENTOS ASOCIADOS.	26
4.4	VALIDACIÓN	29
<b>5</b>	<b>ESTRUCTURA</b>	<b>31</b>
5.1	ELEMENTOS DE LA ESTRUCTURA	31
5.2	ANÁLISIS Y DESARROLLO DEL DISEÑO	31
5.3	VALIDACIÓN	32
<b>6</b>	<b>UNIDAD DE CIERRE</b>	<b>35</b>
6.1	ELEMENTOS DE LA UNIDAD DE CIERRE	35
6.2	ANÁLISIS Y DESARROLLO DEL DISEÑO	35
6.3	SELECCIÓN DE ELEMENTOS ASOCIADOS	36
6.4	VALIDACIÓN	37
<b>7</b>	<b>CIRCUITO HIDRÁULICO</b>	<b>41</b>
7.1	CARACTERÍSTICAS DEL CIRCUITO HIDRÁULICO	41
7.1.1	Presión de los elementos hidráulicos	41
7.1.2	Número de elementos (actuadores) hidráulicos	41
7.1.3	Potencia de los elementos hidráulicos	41
7.1.4	Selección Del Motor Eléctrico	44
7.1.5	Selección del acople Motor-Bomba	45

7.2	ANÁLISIS Y DESARROLLO DEL DISEÑO	47
7.3	SELECCIÓN DE ELEMENTOS ASOCIADOS	47
<b>8</b>	<b>FASE FINAL</b>	<b>49</b>
8.1	INTEGRACIÓN DE LOS COMPONENTES	49
8.2	VALIDACIÓN	49
8.3	MONTAJE TOTAL	50
8.4	ELABORACIÓN DE PLANOS	52
	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>53</b>
	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>54</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>55</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>57</b>

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Principales partes y sistemas de la máquina inyectora	4
Figura 2. Circuito hidráulico básico de la máquina inyectora	5
Figura 3. Selección de la geometría de la máquina.	9
Figura 4. Selección del tipo de inyectora	11
Figura 5. Selección del tipo de unidad de cierre	11
Figura 6. Diseño general de la máquina	13
Figura 7. Unidad de Inyección	14
Figura 8. Estructura de la máquina	15
Figura 9. Unidad de cierre y sus partes	16
Figura 10. Circuito hidráulico básico y sus partes	17
Figura 11. Zonas principales del husillo	20
Figura 12. Captura del Diseño del Husillo de Inyección	21
Figura 13. Volumen de Inyección	22
Figura 14. Diseño de la Tolva	23
Figura 15. Configuración inicial de la Unidad inyectora (inicial)	24
Figura 16. Configuración de Unidad Inyectora (Evolucionada)	24
Figura 17. Configuración de Unidad Inyectora (Definitiva)	25
Figura 18. Esquema cilindros seleccionados para la unidad inyectora	27
Figura 19. Posicionamiento de las bandas calentadoras	28

Figura 20. Análisis de esfuerzos en CAE, con FS 1.58 (Rechazada)	33
Figura 21. Análisis de esfuerzos en CAE, con FS 2.75 (Seleccionada)	34
Figura 22. Unidad de Cierre	35
Figura 23. Placa porta-molde	36
Figura 24. Esquema de los cilindros seleccionados para la Unidad de cierre	37
Figura 25. Análisis de esfuerzos CAE de la Clamplimg.	38
Figura 26. Análisis de esfuerzos de Placa porta moldes móvil. FS > 2.	39
Figura 27. Distribución del FS Placa Fija Posterior FS > 2,7	39
Figura 28. Distribución del FS Placa Fija de la Estructura FS > 3,9	40
Figura 29. Gráfica de Potencia vs. Presión de la bomba PE075 @ 1200, 1500 y 1800r.p.m.	43
Figura 30. Gráfica de eficiencia volumétrica y total de la bomba PE075 @ 1800 r.p.m.	43
Figura 31. Circuito Hidráulico de la Inyectora	48
Figura 32. Fotografía virtual de la máquina diseñada.	50
Figura 33. El Ciclo de Presión en el Moldeo	62
Figura 34. Máquina de Inyección	63
Figura 35. Unidades de Cierre	66
Figura 36. Clases de inyectoras según la geometría.	67
Figura 37. Plastificación por émbolo	68
Figura 38. Plastificación por husillo	68

Figura 39. Plastificación por husillo-émbolo	69
Figura 40. Pellets de polipropileno	75
Figura 41. Piezas fabricadas con Duroplastos	77
Figura 42. Piezas elaboradas con materiales elastómeros.	77
Figura 43. Acetato de Celulosa	78
Figura 44. Acrilonitrilo – Butadieno - Estireno	79
Figura 45. Copolímero Estireno Acrilonitrilo	80
Figura 46. Polietileno de Alta Presión	81
Figura 47. Polietileno de Baja Presión	82
Figura 48. Poliamida (PA)	83
Figura 49. Policarbonato	84
Figura 50. Poliestireno Anticalórico	85
Figura 51. Poliestireno Antichoque	86
Figura 52. Poliestireno Normal	87
Figura 53. Polimetil Metacrilato	88
Figura 54. Polipropileno	89
Figura 55. PVC	90
Figura 56. PVCc	91

## LISTA DE TABLAS

	<b>pág.</b>
Tabla 1. Especificaciones del diseño de la máquina	3
Tabla 2. Software utilizado para el desarrollo del trabajo	5
Tabla 3. Selección del rango de trabajo y de la unidad inyectora	10
Tabla 4. Características de la máquina diseñada	12
Tabla 5. Elementos seleccionados para la Unidad Inyectora	26
Tabla 6. Propiedades de motores de la casa fabricante Parker	28
Tabla 7. Tabla de perfiles en U, tipo americano.	31
Tabla 8. Tabla de selección de motores CC 032A catálogo Siemens	45
Tabla 9. Tabla de selección del acople Bomba-Motor Catálogo Martinsprocket	46
Tabla 10. Elementos del circuito hidráulico	47
Tabla 11. Datos Técnicos de la Máquina	51
Tabla 12. Combinaciones de unidades de cierre y de inyección para máquinas inyectoras de plástico.	70
Tabla 13. Propiedades mecánicas de los tornillos	92
Tabla 14. Tabla de los valores de pretensión y par de apriete de los tornillos.	93

## LISTA DE ANEXOS

	<b>pág.</b>
Anexo A. BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS PLÁSTICOS	54
Anexo B. INYECCIÓN DE PLÁSTICOS	56
Anexo C. LA MÁQUINA DE INYECCIÓN	59
Anexo D. MATERIAS PRIMAS	67
Anexo E. GRÁFICAS DE TEMPERATURA EN EL HUSILLO PARA MATERIALES DE INYECCIÓN	74
Anexo F. TABLAS DE PROPIEDADES DE LOS TORNILLOS USADOS EN LA MÁQUINA	88
Anexo G. Planos	94

## NOMENCLATURA O GLOSARIO

### NOTACIÓN

$A$	Área, $m^2$ , $cm^2$
$a_h$	Área transversal del husillo, $m^2$ , $cm^2$
$D$	Diámetro, m
$e$	Espesor, m
$FS$	Factor de seguridad
$g$	Aceleración gravitacional, $m/s^2$
$h_1$	Altura Inicial de los dientes del husillo, mm
$h_2$	Altura Media de los dientes del husillo, mm
$h_3$	Altura Final de los dientes del husillo, mm
$L$	Longitud, m, mm según se indique
$l_{ch}$	Longitud de carrera del husillo, mm, cm
$P_i$	Presión de inyección, bar
$t$	Paso entre filetes del husillo, mm
$V_i$	Volumen de Inyección
$WD$	Densidad de Potencia, $W/cm^2$

### LETRAS GRIEGAS

$\Delta t$	Diferencia de Temperatura
$\eta$	Eficiencia mecánica, %

## INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia han existido infinidad de materiales industriales, cada uno con ventajas propias y diferentes. Es el caso de los polímeros; Los naturales como el caucho, el algodón y la seda fueron utilizados ampliamente desde tiempos inmemoriales. Es a partir de finales del siglo IXX y principios del XX que aparecen los polímeros sintéticos, con sus ventajosas cualidades especiales (bajo peso, alta relación resistencia/peso, fácil obtención y manufactura, flexibilidad, capacidad aislante, estabilidad química), y desde ahí el rango de aplicaciones de productos plásticos se abrirá hasta llegar a casi, si no todos los campos de la industria y la vida diaria.

En el siglo pasado, los procesos de obtención y manufactura de plásticos tuvieron un amplio desarrollo, gracias a la información técnica y empírica obtenida y compartida por los constructores de máquinas y trabajadores del sector. La industria local no ha sido ajena a este desarrollo, situación que no ha ocurrido en la Universidad. Los procesos de manufactura de plásticos, a pesar de ser utilizados a gran escala en la industria, no son conocidos a profundidad por los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UIS.

A través del contacto con la industria local y regional en el Lab FMS, se detectó la necesidad de ingenieros con conocimientos en el área de la manufactura de plástico. Es por esta razón que se decidió iniciar la investigación en este tipo de procesos con el Diseño y posterior construcción de una Máquina Inyectora de Plástico. Este ambicioso proyecto, que busca familiarizar a las próximas generaciones de ingenieros mecánicos con el mundo de la transformación de polímeros, involucra la mayoría de ramas estudiadas a lo largo de la carrera como: Diseño de Máquinas,

Termodinámica, Transferencia de calor, Mecánica de Fluidos, Sistemas Óleo-Neumáticos, Automatización Industrial, y las herramientas CAD y CAE, convirtiéndose en la oportunidad perfecta para aplicar y ampliar lo aprendido en cada una de ellas.

En el presente documento se recoge la información generada a lo largo del trabajo, como la descripción de la necesidad, la descripción del proceso de diseño, la selección de las partes que compondrán los sistemas de la máquina, incluyendo las partes que no fueron seleccionadas y que no presentaron el mejor comportamiento al ser evaluadas, además de las conclusiones a las que se llegó con este trabajo.

Esperamos, pues, que se saque el mayor provecho de esta investigación, la disfruten tanto como nosotros disfrutamos durante su elaboración y que se convierta en la antesala de un avance mayor en la investigación de este campo de la ingeniería en nuestra Escuela.

# 1 OBJETIVOS

## 1.1 OBJETIVO GENERAL

- Contribuir con la misión de la Universidad a través de la Escuela de Ingeniería Mecánica y su Lab FMS de ofrecer a la comunidad local, regional y nacional profesionales competentes en todas las áreas relacionadas con su conocimiento, además de soluciones para los diferentes sectores de la industria.
- Abrir el sendero para el desarrollo y la investigación de los diferentes métodos de fabricación de piezas de plástico en la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

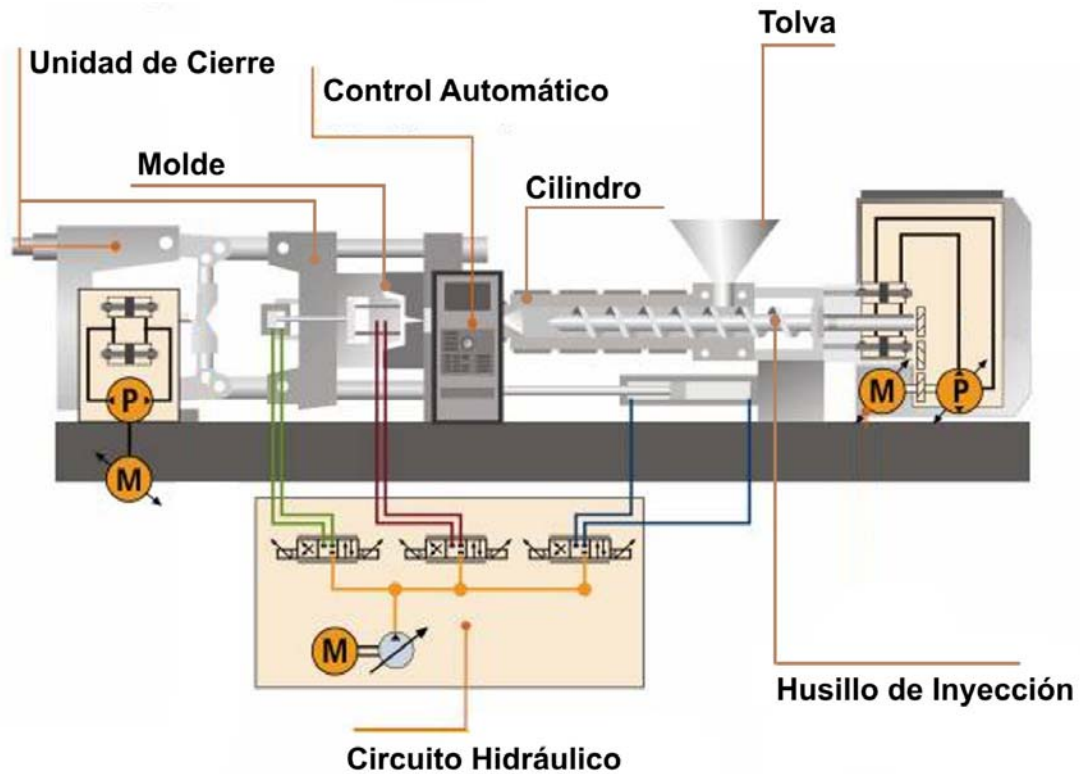
- Diseñar y validar, por medio de herramientas CAD y CAE una máquina inyectora de plástico automática con unidad de cierre tipo arrastre de fuerza de 900 KN y unidad inyectora tipo tornillo número 346 (ver tabla 1).

Tabla 1. Especificaciones del diseño de la máquina

Unidades de la Máquina	Elementos a Diseñar	Elementos a Seleccionar
Unidad Inyectora No. 346	Tornillo de inyección, cilindro inyector, boquilla de inyección, tolva, elementos de fijación.	Cilindros hidráulicos, motor hidráulico, tornillería, bandas calentadoras.
Unidad de Cierre 900 KN	Placa porta-moldes fija, placa porta-moldes móvil, soportes, guías, elementos de fijación.	Cilindros hidráulicos, tornillería.
Estructura	Estructura total de la máquina.	Perfiles estructurales, tornillería, láminas.
Circuito hidráulico principal	Todo el circuito	Componentes del circuito: bombas, motores, cilindros, etc.

- Diseñar la parte mecánica del automatismo y seleccionar los elementos que lo compondrán (Fig. 1).

Figura 1. Principales partes y sistemas de la máquina inyectora



- Diseñar el circuito hidráulico base de la máquina y seleccionar sus componentes (Fig. 2).
- Utilizar herramientas informáticas actuales para el diseño de máquinas (Tabla 2).

Figura 2. Circuito hidráulico básico de la máquina inyectora

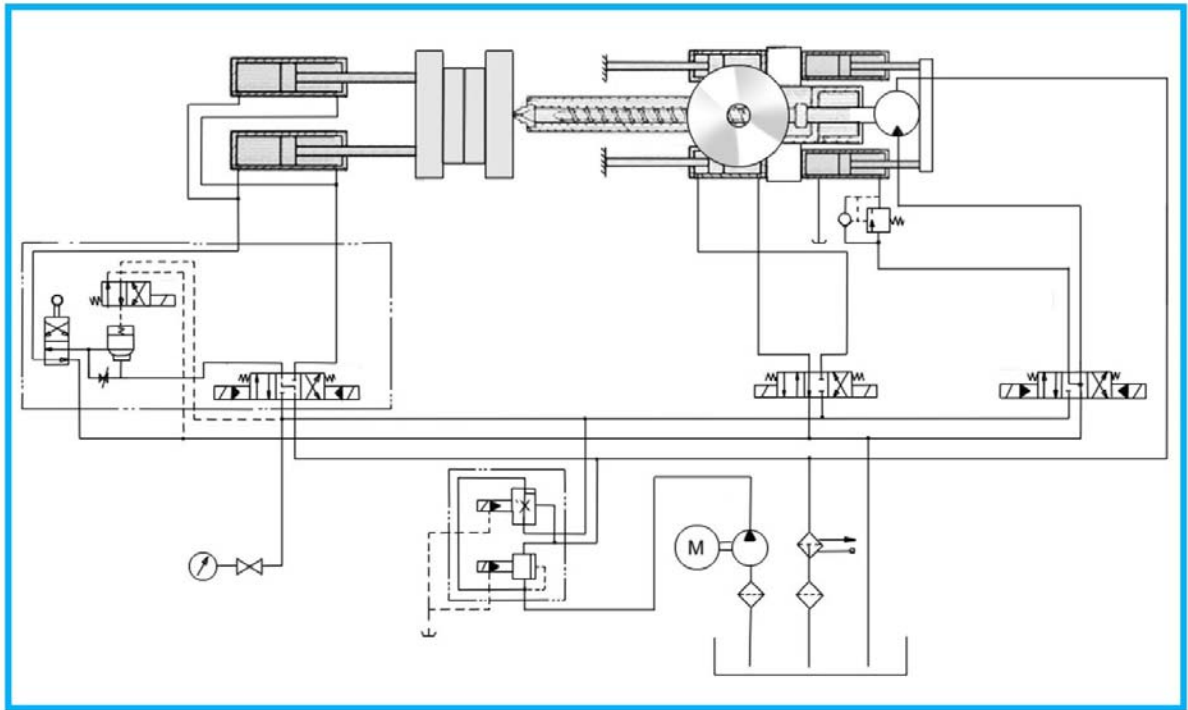


Tabla 2. Software utilizado para el desarrollo del trabajo

Tipo	Nombre
CAD	Solid Works 2005 - 2006
CAE	Cosmos Works 2005 - 2006

## **2 JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN**

### **2.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

Los materiales plásticos han logrado un lugar muy importante como materiales de manufactura. Sus características como el bajo peso, la fácil consecución y transformación, la estabilidad química, la capacidad aislante y la reciclabilidad, entre muchas otras, los hacen materiales muy atractivos para la industria. Esta tendencia se ha visto fortalecida en los últimos años gracias a la aparición de un sinnúmero de productos de uso cotidiano, como son el hardware de computadores, utensilios de cocina, aparatos eléctricos y electrónicos, instrumentación médica, tuberías y algunos elementos de baja responsabilidad estructural de máquinas, por citar sólo algunos. La fácil manufacturabilidad de estos materiales permite la consecución de piezas de diversas geometrías (cumpliendo con requisitos ergonómicos y de estética) en grandes volúmenes de producción (lo que permite una amplia reducción de costos).

En la Universidad y en la Escuela se cuenta con todo tipo de máquinas y procesos para demostrar los diferentes métodos de manufactura de metales y otros materiales, (tornos, fresadoras, taladros, sierras, taller de fundición, de maderas, centros de mecanizado de CNC, etc.) así como para realizar trabajos externos; pero se carece de máquinas para la fabricación de piezas plásticas, lo que hace que estos procesos sean desconocidos para la mayoría de los estudiantes, especialmente los de Ingeniería Mecánica, quienes en su vida profesional podrían verse enfrentados a máquinas y procesos de este tipo, como materia de trabajo o como herramienta para llevar a cabo sus ideas.

## **2.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA**

Con el objetivo de contribuir con la misión de la Universidad Industrial de Santander, de fomentar el desarrollo regional y la formación de profesionales integrales capaces de solucionar las necesidades de la industria local, regional y nacional, se pretende con este trabajo de grado suplir la necesidad de una máquina de producción de plásticos tipo inyectora.

En Santander existe una amplia industria de confecciones y calzado que se verá beneficiada con una producción de elementos plásticos de bajo costo (ganchos, suelas, patrones plásticos, etc.); además el sector de la industria del plástico existente en el departamento será favorecido con la oferta de ingenieros con conocimientos en esta clase de procesos. Por otra parte, al contar con una serie de máquinas producidas en la región (meta ulterior al presente proyecto) se reduce la inversión primaria, eliminando el costo de importación y de servicio posterior.

La Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander, a través del Lab FMS (Flexible Manufacturing Systems) mantiene un amplio contacto con el sector industrial de la ciudad y del departamento, ofreciendo servicios de manufactura y asesorías de última tecnología. En la actualidad se fabrican moldes de inyección para piezas plásticas. Con la incorporación de una máquina inyectora de plástico estos servicios se verían sensiblemente ampliados y mejorados, abarcando un nuevo sector de la industria manufacturera y abriendo un camino para la investigación y el desarrollo de los otros métodos de fabricación de piezas plásticas.

Identificado el problema, y reconocido el valioso aporte que significaría para la Universidad, la Escuela y sus estudiantes la consecución de una máquina inyectora de plástico, queda el interrogante de cómo conseguirla. Surgieron dos opciones, que se consideraron como las más viables. La primera, la compra del equipo. La segunda, diseñarla y construirla al interior de la Escuela.

Desde un punto de vista práctico, la primera opción hubiese sido la recomendada. Pero considerando la Universidad como una fuente generadora de conocimiento y capacitación, el reto de diseñarla y construirla se convirtió en la oportunidad para explorar un campo no tenido en cuenta antes, una demostración de las capacidades intelectuales y técnicas de los estudiantes y la ocasión perfecta para formarlos en este sector de la industria manufacturera. Adicionalmente, los altos costos del equipo (aproximadamente \$150'000.000<sup>=</sup> para un equipo del rango escogido) sumados a los gastos de importación, representarían una inversión cuantiosa para la Universidad y La Escuela. Con la construcción de la máquina se aprovechará la excelente infraestructura disponible en la Escuela, disminuyendo los costos de fabricación y demostrando el alcance y las capacidades de la Escuela, sus estudiantes y técnicos.

Por todas estas razones se concluyó que el diseño de la máquina era la solución más adecuada.

### **2.3 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA**

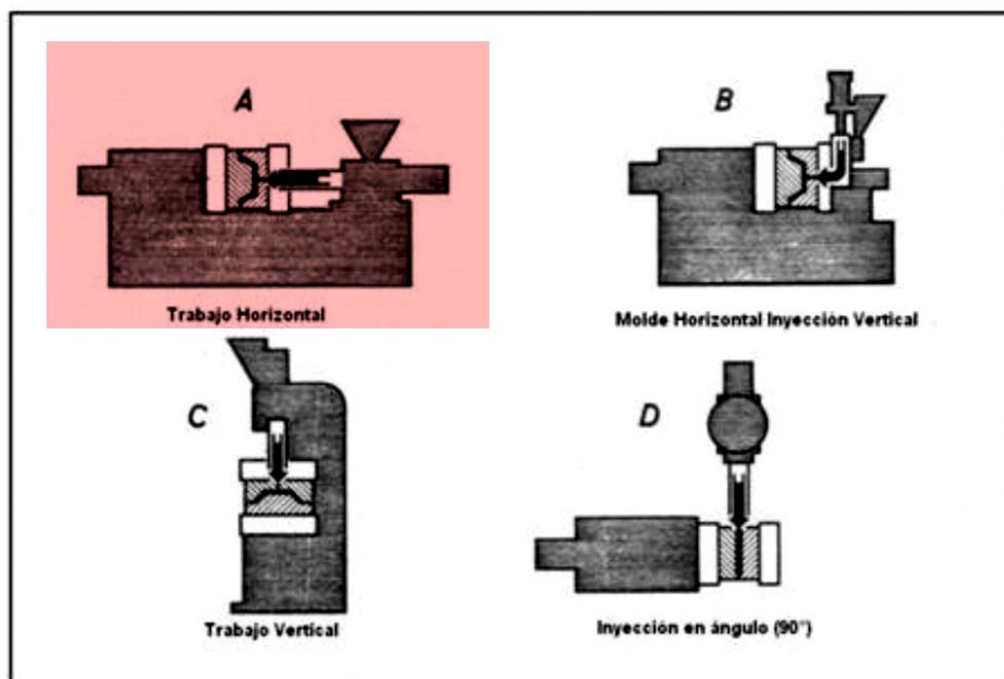
Durante esta fase se estudiaron y analizaron las fuentes disponibles (libros, manuales, catálogos, páginas de Internet, fotografías y datos obtenidos en las visitas a las industrias de la región, revistas y afiches), para determinar cuál de esta información sería útil para el diseño. Se estudió la historia de la industria del plástico, los procesos de manufactura del plástico, las características de uso y de diseño de las máquinas inyectoras de plástico, etc. Se solicitó también información técnica a empresas importadoras de estas máquinas, información que fue proporcionada cordialmente. Una información técnica más detallada fue negada por las casas constructoras, debido a confidencialidad interna. Esta fase proporcionó el conocimiento necesario para enfrentar las fases siguientes.

## 2.4 SELECCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA MÁQUINA

Tras un análisis primario en lo referente a las características generales de la máquina, se decidió que las propiedades que se debían determinar inicialmente eran las siguientes:

**2.4.1 Geometría de la Máquina:** Existen varios tipos de geometrías para inyectoras (Ver: Anexo C). Se escogió el tipo de máquina de inyección horizontal, debido a su facilidad de diseño, a su robustez, a que se encuentran más datos de referencia de estas inyectoras y por supuesto, a que ha probado ser la configuración por excelencia de las máquinas inyectoras (Fig. 3).

Figura 3. Selección de la geometría de la máquina.



Fuente: El Plástico en la Industria. (Editada por los autores)

**2.4.2 Rango de Trabajo (Tamaño):** Se determinó que una máquina inyectora de rango medio, es decir con una fuerza en la unidad de cierre entre 800 y 1500 KN, sería un tamaño adecuado para los fines de la máquina

a diseñar (académico y producción a pequeña escala). Se pensó también en razones de costo para la selección de los componentes que no se pueden construir en la Escuela, como cilindros hidráulicos, bombas, y demás componentes, aparte de que fueran de fácil consecución en el mercado. Para mayor información sobre los rangos de trabajo ver: Anexo C.

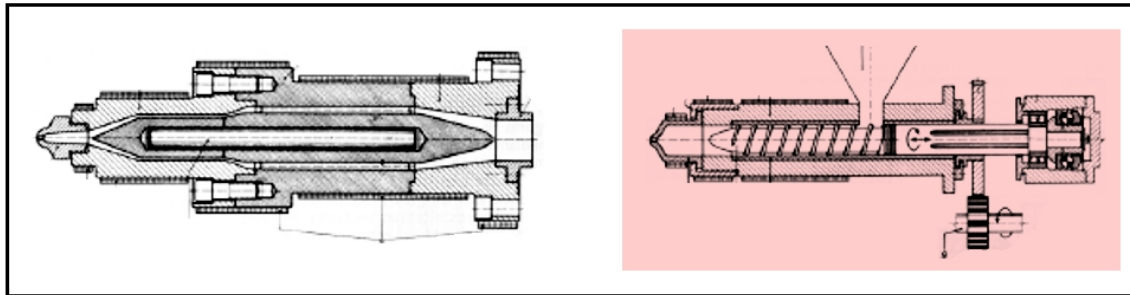
Tabla 3. Selección del rango de trabajo y de la unidad inyectora

Clamp unit kN	Injection unit										
	60	130	210	350	525	750	1000	1330	1900	2800	4500
250	•	•									
400	•	•	•								
600		•	•	•							
800		•	•	•	•						
1000			•	•	•	•					
1300				•	•	•	•				
1600				•	•	•	•				
2100							•	•			
2700								•	•	•	
3500								•	•	•	
4500									•	•	•

Fuente: Catálogo Battenfeld. (Editada por los autores)

**2.4.3 Unidad Inyectora:** Existen unidades inyectoras de husillo, de émbolo y de husillo-émbolo (Ver: Anexo C). Se decidió diseñar una unidad inyectora de tipo tornillo puesto que esta configuración distribuye el calor de manera más uniforme, tiene una mayor precisión de dosificación del material y un peso más bajo pues el tornillo puede ser hueco. Para el rango de trabajo escogido, una unidad de inyección con código EUROMAP 346 es el adecuado (ver tabla 3).

Figura 4. Selección del tipo de inyectora



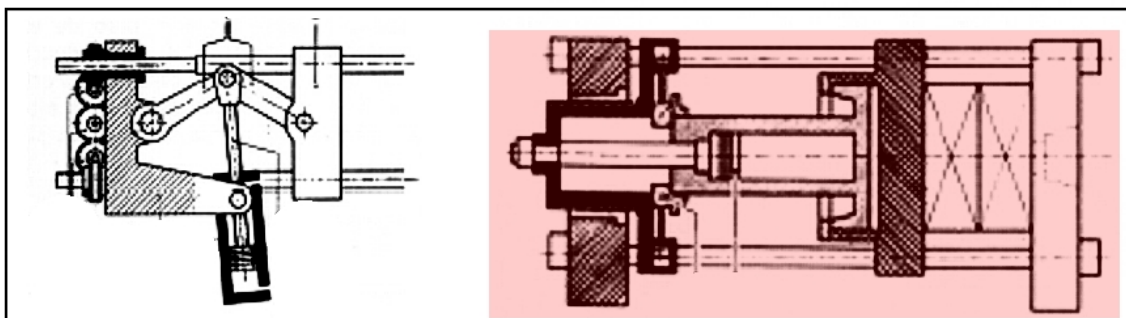
A. Plastificación por Émbolo

B. Plastificación por Husillo

Fuente: El Plástico en la Industria. (Editada por los autores)

**2.4.4 Unidad de Cierre:** Las unidades de cierre se clasifican en cierre por arrastre de fuerza, arrastre de forma y una combinación de ambas (Ver: Anexo C). Se resolvió diseñar la unidad de cierre con una configuración de arrastre de fuerza, por presentar menos partes móviles en contacto, lo que supone eliminar el sistema de lubricación auxiliar. Además el cilindro hidráulico es autolubricante. Al determinar el rango de trabajo, se determina la capacidad de fuerza de la unidad de cierre. Se eligió una fuerza de 900 KN por estar dentro del rango, cerca del límite inferior por cuestiones económicas (tabla 3).

Figura 5. Selección del tipo de unidad de cierre



A. Arrastre de Forma

B. Arrastre de Fuerza

Fuente: El Plástico en la Industria. (Editada por los autores)

En conclusión, la máquina diseñada cuenta con las siguientes características:

Tabla 4. Características de la máquina diseñada

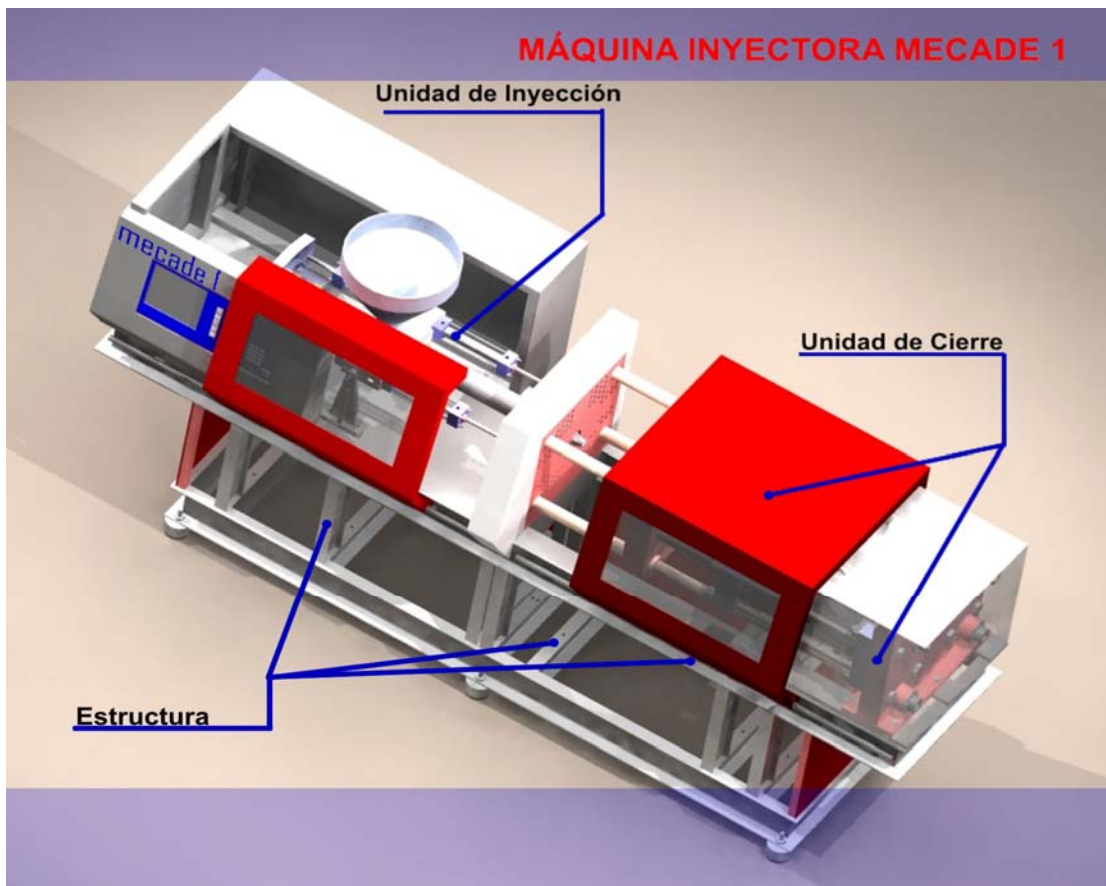
<b>Inyectora de plástico MECADE 1</b>	
Geometría	Inyección Horizontal
Rango de trabajo	Medio
Unidad de inyección	Tipo husillo (Tornillo)
Código Unidad de inyección	346
Unidad de cierre	Arrastre de fuerza
Fuerza Unidad de cierre	900KN

La configuración seleccionada presenta excelentes características de sencillez, robustez, fácil construcción y funcionalidad. Por lo descrito en el Anexo C, ofrece amplias ventajas, demostrando que es la configuración más recomendable para máquinas inyectoras de plástico y de la que más se puede conseguir información, suministros y servicio técnico.

### 3 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL DISEÑO

Una vez determinadas las características asociadas a la máquina, se procede a realizar los primeros bocetos del diseño, para su posterior elaboración con herramientas CAD, SolidWorks en este caso. Se probaron las configuraciones preliminares, para hacer cambios y llegar a las configuraciones definitivas. Algunas de ellas se desecharon por inconvenientes de resistencia y configuración, otras por dificultad de construcción y manufactura y otras por costos elevados.

Figura 6. Diseño general de la máquina



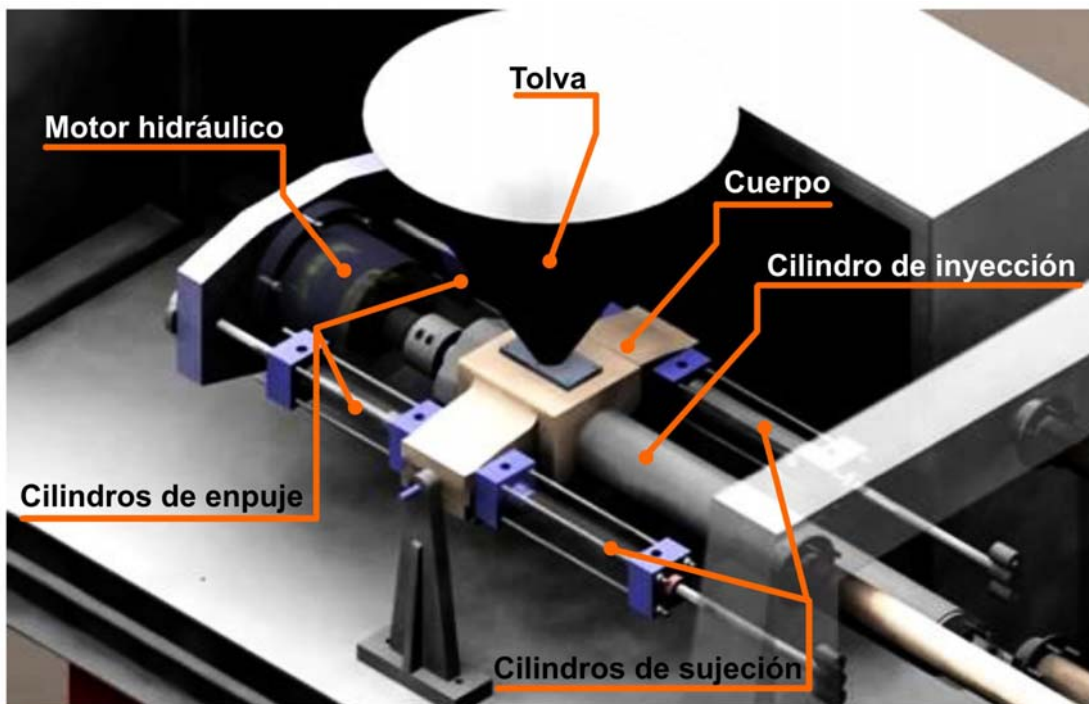
### 3.1 SISTEMAS DE LA MÁQUINA

La máquina diseñada consta de los siguientes sistemas:

- Unidad de inyección
- Unidad de cierre
- Unidad de soporte (Estructura)
- Unidad de trabajo (Circuito Hidráulico)

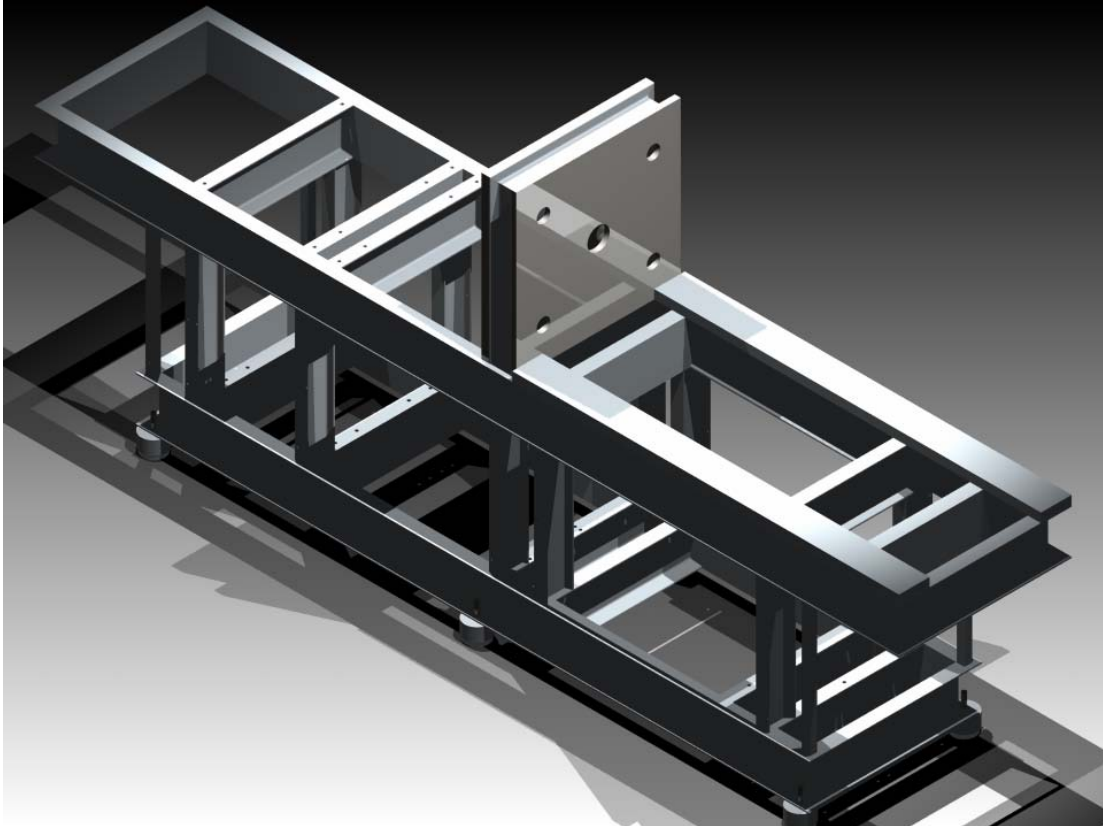
**3.1.1 Unidad de Inyección.** Este sistema es el encargado de recibir la materia prima (los pellets de polímero) a temperatura ambiente, para plastificarla por medio de calentamiento, y transportar la masa plastificada hasta la boquilla de inyección, mediante un movimiento de rotación (motor hidráulico) y de desplazamiento horizontal (cilindros hidráulicos), e inyectarla hacia el molde. Más detalles en el capítulo 4.

Figura 7. Unidad de Inyección



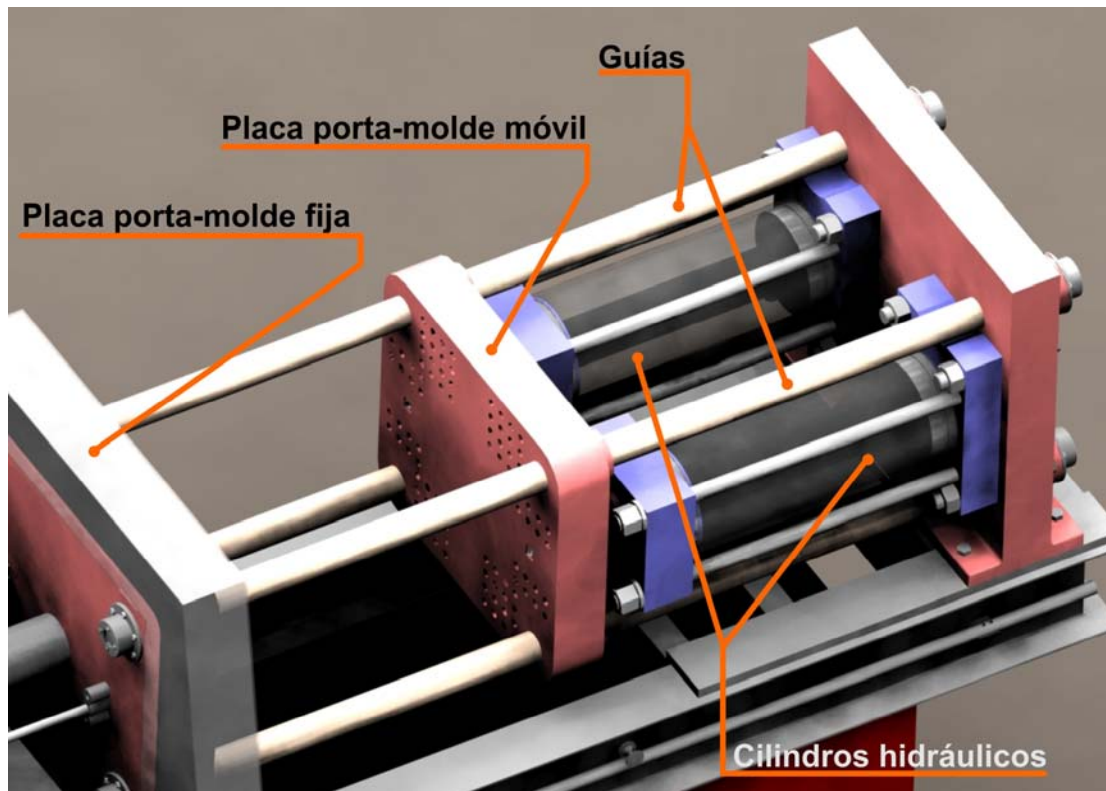
**3.1.2 Estructura.** Es el esqueleto sobre el que se sitúan todos los elementos de la máquina. Debe cumplir con los requisitos de rigidez, resistencia, forma y estética adecuados para proporcionarle una buena base. Más detalles en el capítulo 5.

Figura 8. Estructura de la máquina



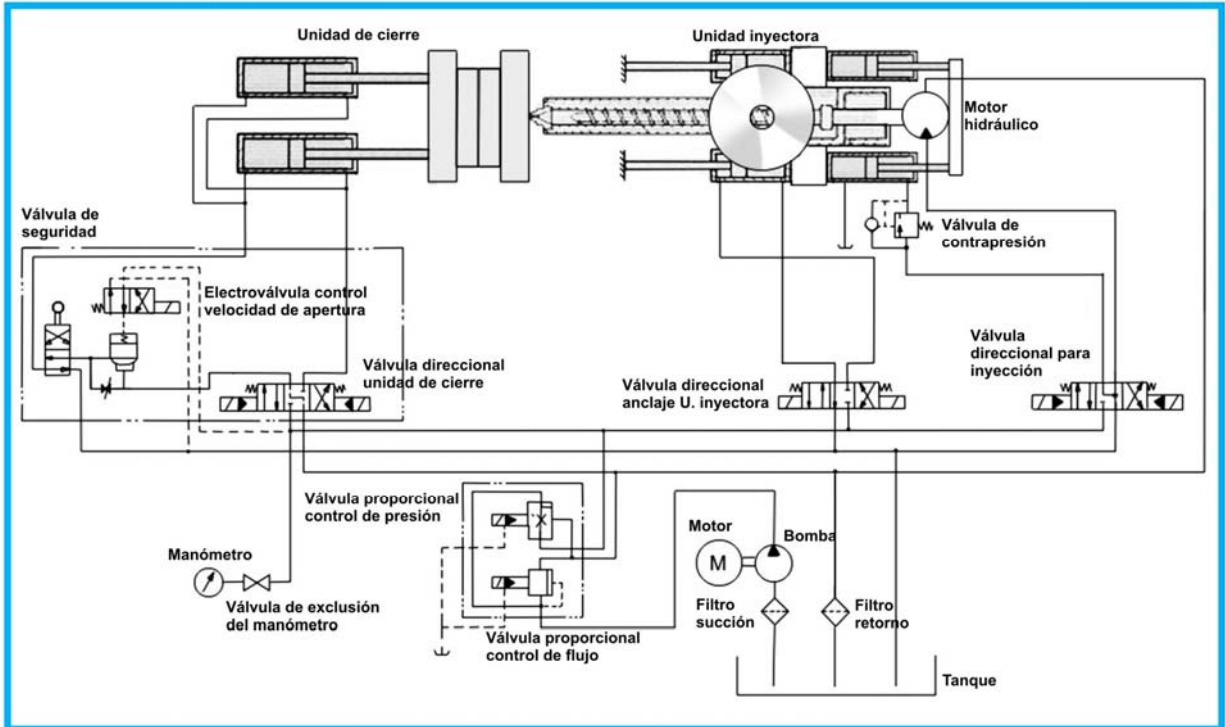
**3.1.3 Unidad de cierre.** En este sistema se ubican los moldes que darán forma a la pieza. Una parte del molde se sujeta a la placa porta-molde fija que se encuentra anclada a la estructura de la máquina, y la otra parte a la placa porta-molde móvil, que se desliza por las guías gracias a la acción de los cilindros hidráulicos, cerrando el molde para que se inyecte el material y se forme la pieza. Más detalles en el capítulo 6.

Figura 9. Unidad de cierre y sus partes



**3.1.4 Circuito Hidráulico.** Este sistema es el encargado de convertir la potencia hidráulica en potencia mecánica, ya sea en la rotación del motor de la unidad inyectora o el desplazamiento de los émbolos de los cilindros, tanto de la unidad de cierre, como de la unidad inyectora. Se compone de numerosos elementos como el motor eléctrico, la bomba, válvulas, motor hidráulico, cilindros hidráulicos, etc. Más detalles de los elementos y su selección en el capítulo 7.

Figura 10. Circuito hidráulico básico y sus partes



El diseño general de la máquina cuenta con otros elementos diferentes a los descritos anteriormente, que serán relacionados más detalladamente en los capítulos correspondientes a cada sistema, y se dará una relación más amplia de las características técnicas de la máquina al final del capítulo 8.

Todos los sistemas de la máquina, exceptuando el circuito hidráulico, fueron diseñados en el software de CAD SolidWorks. Asimismo, los análisis de esfuerzos y fatiga fueron verificados y validados mediante la herramienta CAE CosmosWorks. Más detalles como factores de seguridad, resultados de los análisis de esfuerzos y fatiga son presentados en los capítulos correspondientes a cada sistema.

## 4 UNIDAD INYECTORA

Ya determinadas las características de la máquina, el primer sistema que se diseñó fue el de la Unidad de inyección. La primera pieza diseñada fue el husillo, por presentar la mayor cantidad de aspectos a determinar. El material del tornillo es acero 4340 nitrurado al igual que el cilindro inyector. Después de esta pieza, se diseñó el cuerpo contenedor del husillo, el mencionado cilindro inyector.

Se probaron varias configuraciones de cilindro: formando un solo cuerpo con el soporte de la tolva para entrada del material, lo que suponía una construcción extremadamente difícil y de mucho gasto de material; mecanizado en el soporte, que presentaba el mismo problema y unido mediante rosca al cuerpo, resultando esta última como la mejor configuración, por su facilidad de construcción y montaje.

Después de diseñar la configuración básica del cilindro y del cuerpo de la unidad inyectora, se procedió a mejorar su apariencia con fines estéticos, añadiendo líneas curvas en su forma exterior. La entrada del material a la unidad (tolva), no supuso una gran dificultad, ya que ésta es bastante simple.

Después de armar virtualmente el cuerpo de la unidad inyectora, se diseñó el anclaje de ésta a la estructura, que se solucionó por medio de un anclaje simple por medio de tornillo de presión y soportes anclados a la mesa.

A continuación se brinda una descripción más detallada del diseño de la Unidad de inyección.

## 4.1 ELEMENTOS DE LA UNIDAD DE INYECCIÓN

La unidad de inyección se caracteriza a través de los siguientes ítems:

**4.1.1 Configuración del Tornillo o Husillo:** Por ser una de las piezas principales de la máquina, se debió tener especial cuidado con el husillo, analizando cada uno de los factores de diseño de éste. A continuación se describe el proceso de diseño del husillo:

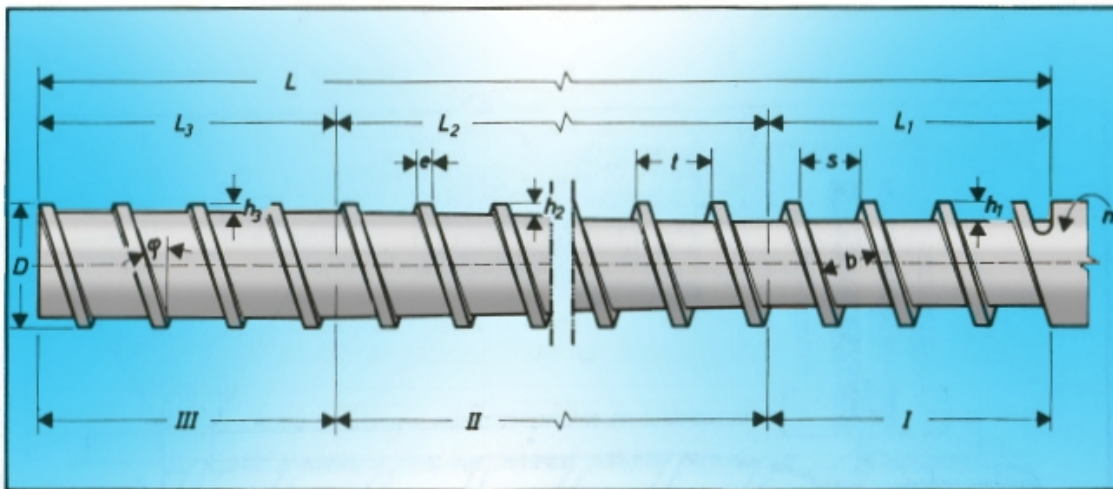
**a. Diámetro del Tornillo:** Las máquinas inyectoras traen de fábrica tres configuraciones posibles para la unidad inyectora, es decir, tres diámetros de husillo: uno menor para trabajos de mayor presión y menos volumen inyectado; uno medio para trabajos “normales” de presión media y volúmenes medios y uno mayor para trabajos de menor presión y mayor volumen de inyección. Para este proyecto, se escogió un diámetro medio para una unidad 346, que según la información de varios fabricantes debe estar entre 36 y 48 mm. Por lo tanto, se seleccionó un diámetro de 42 mm, que está en la mitad del rango. Este diámetro es utilizado además por varios de los fabricantes de Máquinas Inyectoras consultados.

**b. Longitud del Tornillo:** Otra de las propiedades que definen el husillo es la relación  $L/D$ , siendo  $L$  la longitud del tornillo y  $D$  el diámetro. El valor de la relación  $L/D$  se encuentra generalmente en el rango de 12/1 hasta 25/1. Cuanto mayor sea esta relación, más se puede garantizar la plastificación, es decir, a mayor longitud del tornillo, la calidad de la homogenización de la masa fundida es mejor, aunque se requerirá de más calentadores para el cilindro. Para husillos del rango escogido en este proyecto, se puede utilizar con éxito una relación  $L/D$  de 20, que permite plastificar adecuadamente la mayoría de los materiales termoplásticos, quedando éste con una longitud de 840 mm en la zona fileteada.

En el husillo se definen tres zonas principales, de acuerdo a la fig. 11; estas zonas son:

- ◆  $L_1$ : Zona de alimentación (I), igual a  $0.55L$ , es decir 462 mm.
- ◆  $L_2$ : Zona de Compresión (II), igual a  $0.25L$ , es decir 210 mm.
- ◆  $L_3$ : Zona de Dosificación (III), igual a  $0.2L$ , es decir 168 mm.

Figura 11. Zonas principales del husillo



Fuente: El Plástico en la Industria (Editada por los autores)

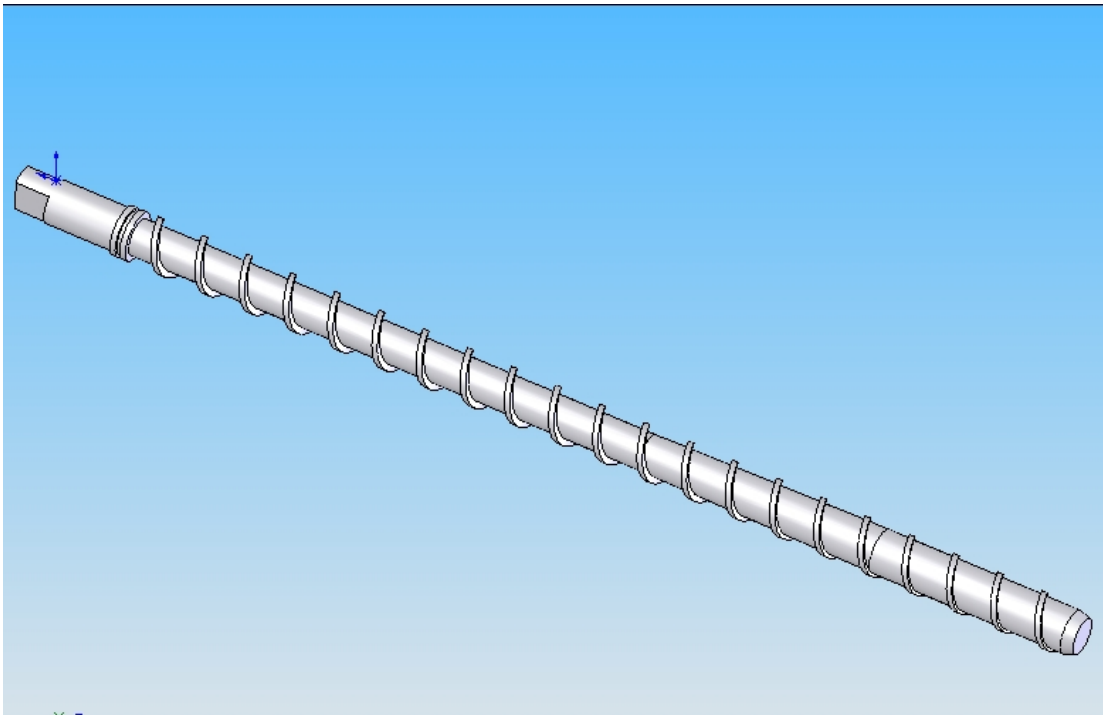
**c. Paso entre filetes ( $t$ ):** Se ha demostrado y comprobado que el paso entre filetes permite una plastificación más efectiva si su valor se encuentra entre  $0.8$  y  $1.0 D$ . En este caso se ha escogido un paso de  $40$  mm., el cual se consideró prudente por estar dentro del rango.

**d. Altura del filete:** A medida que el material se adentra en la longitud del tornillo, pasa de ser una serie de fragmentos sólidos con espacio entre ellos, a una masa plastificada o fluida y se debe empezar a presionar, por lo que la altura de los filetes debe disminuir mientras se llega a la zona de dosificación. La altura inicial del filete se determina así:

$$h_1 = \frac{D - 0.8D}{2}$$

Lo que define una altura del filete en la zona de entrada de 5.5 mm. La altura del filete en la zona de dosificación se determina a través de la relación de compresión que para materiales termoplásticos tiene un valor de 2.2, lo que da como resultado una altura de filete de  $5.5/2.2=2.5\text{mm}$ . El diámetro externo del husillo es constante, debido a lo cual lo que varía es el diámetro del cuerpo del tornillo. En la figura 12 se muestra el husillo tal como fue diseñado.

Figura 12. Captura del Diseño del Husillo de Inyección

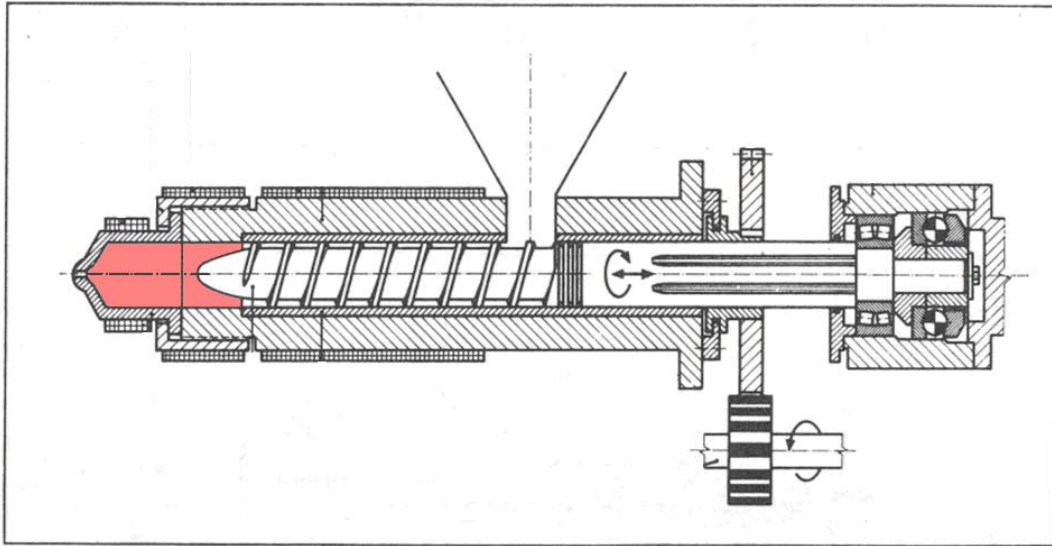


**4.1.2 Volumen de Inyección:** El volumen de inyección se define como el producto del área transversal del husillo por la longitud de la carrera del mismo. Esto es:

$$V_i = a_h * l_{ch}$$

La longitud de la carrera del husillo es variable, al poder controlar el flujo hidráulico del cilindro que la controla. Por lo tanto, se tiene un volumen de inyección en el rango comprendido entre 0 cm<sup>3</sup> hasta 200 cm<sup>3</sup>, teniendo como carrera máxima del husillo 14.5cm.

Figura 13. Volumen de Inyección



Fuente: El Plástico en la Industria (Editada por los autores)

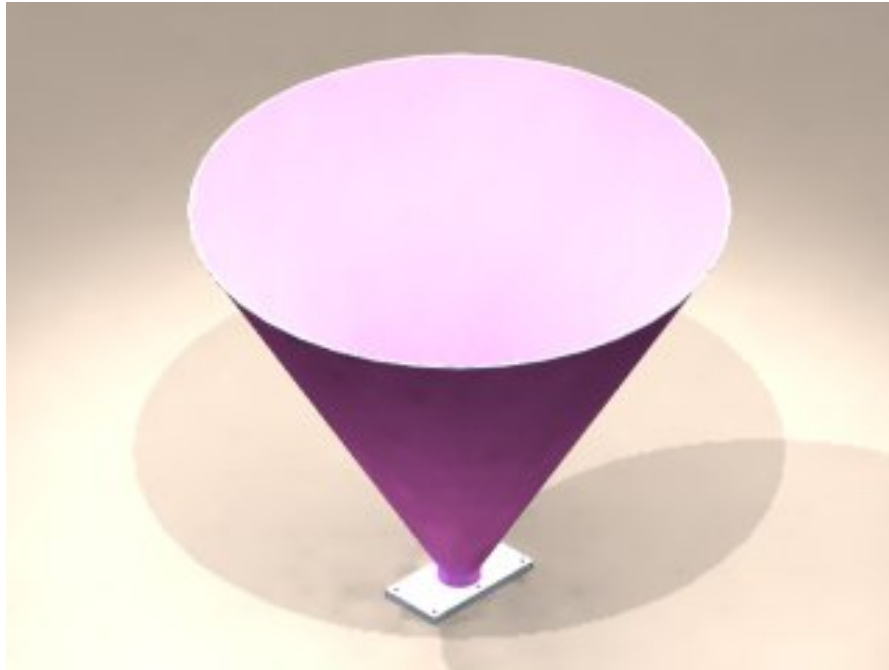
**4.1.3 Presión de Inyección:** El código de la norma EUROMAP que define el tamaño de la unidad de inyección es el resultado de la multiplicación de la presión de inyección por el volumen inyectado dividido entre 1000. Teniendo el número EUROMAP y el volumen máximo de inyección, se determina la presión de inyección (en bar.):

$$P_i = \frac{346}{200} * 1000 = 1730bar$$

**4.1.4 Tolva:** El ángulo de inclinación de la tolva se encuentra en el rango de 55° a 60°, ángulos a los cuales el flujo o caída del material en polvo o en pellets es más eficiente. Como se espera que la máquina diseñada pueda

trabajar con la mayor cantidad de materiales posible, se escogió un ángulo de  $60^\circ$  adecuado para cumplir con el rango propuesto, quedando con una altura de 450 mm y un diámetro de 538 mm, con un volumen aproximado de 39 litros. En la Figura 14 se muestra una captura del diseño de la tolva.

Figura 14. Diseño de la Tolva



**4.1.5 Cilindro Inyector:** Hallar el grosor del cilindro supone un problema tanto de diseño mecánico como térmico. Se tienen como condiciones primarias el diámetro externo del husillo que es el interno del cilindro (42 mm), el material del cilindro (Acero 4340 nitrurado en el diámetro interno), y la longitud (840 mm). Se escogió un grosor de 31,5mm, tomando como el factor más importante la capacidad de soportar las altas presiones y esfuerzos a los que se verá sometido el cilindro, dejando la transferencia de calor a las bandas calentadoras.

Figura 15. Configuración inicial de la Unidad inyectora

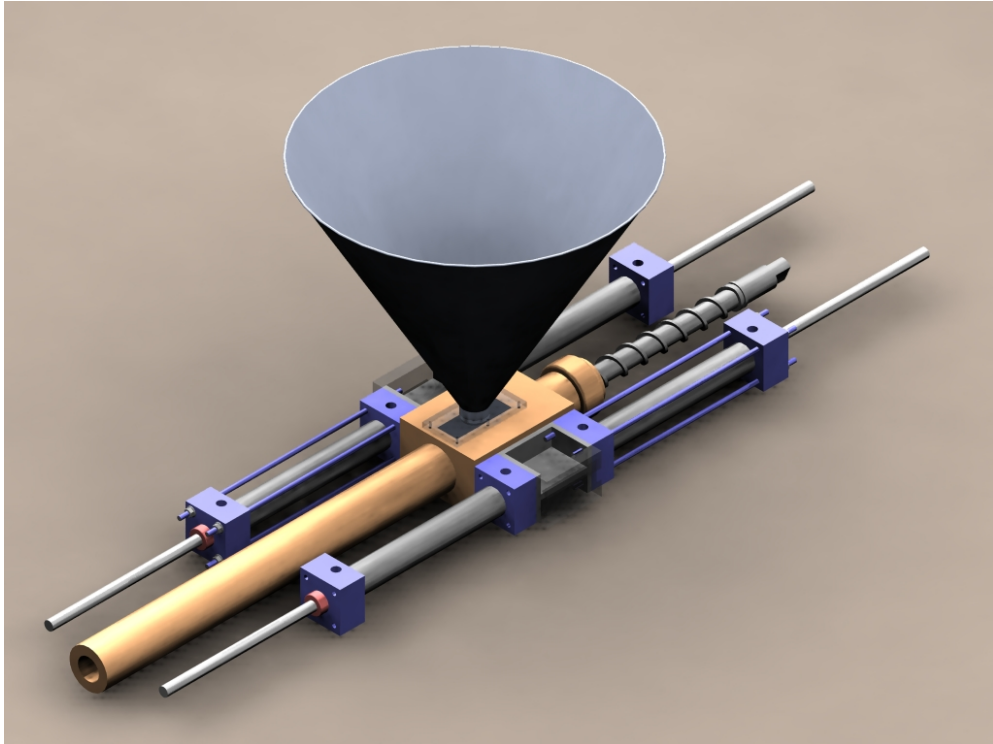


Figura 16. Configuración de Unidad Inyectora (Evolucionada)

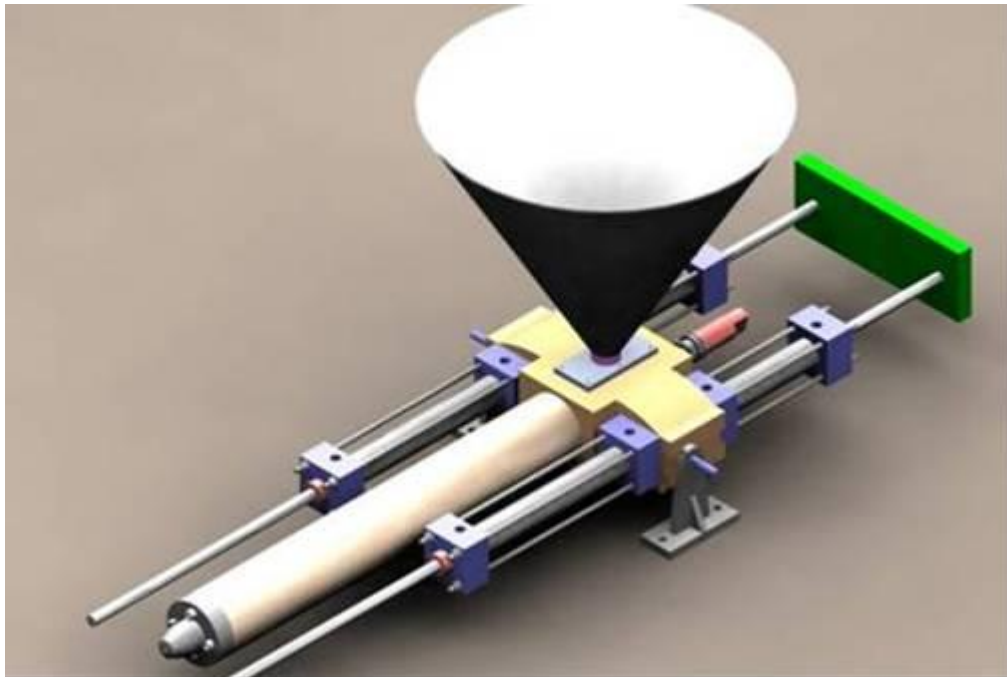
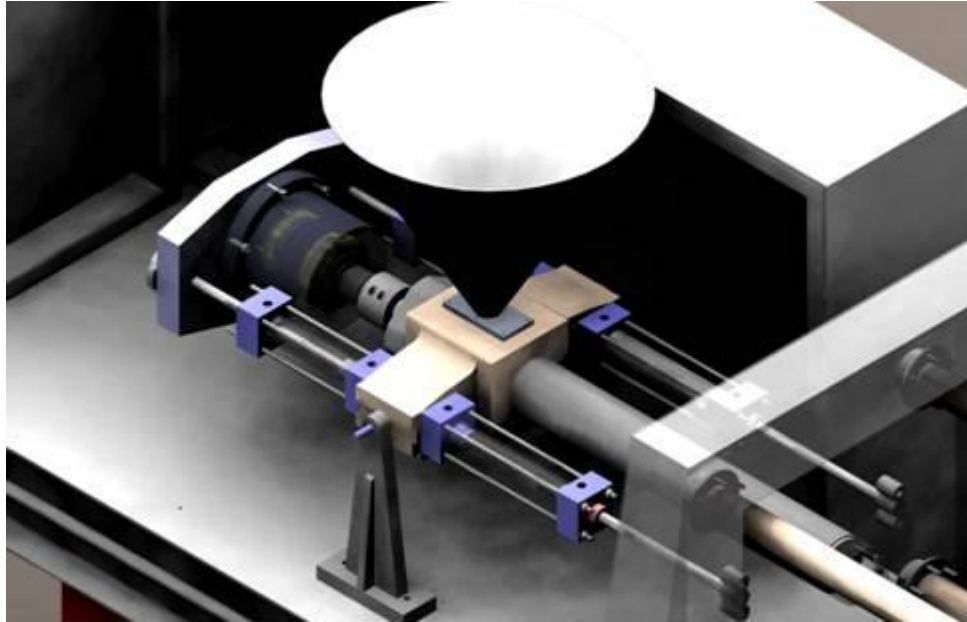


Figura 17. Configuración de Unidad Inyectora (Definitiva)



La unidad seleccionada (figura 17), presenta una configuración compacta, debido a que el cuerpo de la inyectora y el soporte de los cilindros y de anclaje a la mesa se fusionaron en un solo componente y es más resistente a los esfuerzos a los que será sometida por parte de los cilindros hidráulicos y al calor.

#### **4.2 VARIABLES DE CONTROL DE LA UNIDAD INYECTORA**

En la Unidad Inyectora se monitorean algunas variables, entre las que están las temperaturas de las zonas del husillo. Éstas deberán ser monitoreadas por medio de termocuplas integradas al controlador que se vaya a elegir (PLC, tarjetas, etc.) ubicándolas en cada una de las zonas del husillo. En los anexos se suministran gráficas de temperatura para las zonas del husillo dependiendo del material a inyectar. Se deben colocar sensores de posición en los soportes del motor para controlar el volumen de plástico inyectado mediante la regulación de la carrera de inyección del husillo. Como se

mencionó anteriormente, el volumen de inyección de esta unidad está entre 0 y 200 cm<sup>3</sup>.

#### 4.3 SELECCIÓN DE ELEMENTOS ASOCIADOS.

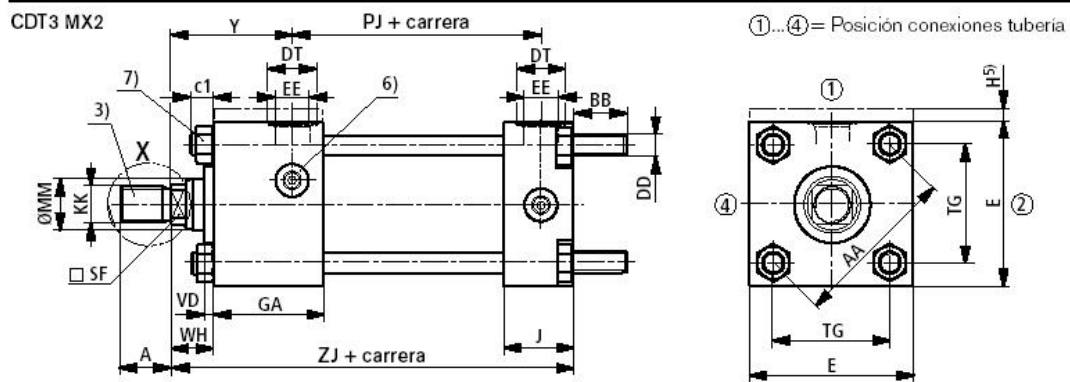
Al inicio del proyecto se quiso diseñar completamente la máquina, lo que resultaba muy difícil por todo lo que supondría construir elementos como motores, bombas, válvulas y cilindros hidráulicos, por lo que tuvieron que ser seleccionados. La selección de los componentes hidráulicos no presentó mayor problema, al contarse con gran cantidad de catálogos impresos y en la red. En la Unidad de Inyección se seleccionaron los siguientes elementos:

Tabla 5. Elementos seleccionados para la Unidad Inyectora

Cant.	Descripción	Detalles
1	Motor Hidráulico actuador del husillo	Motor Parker TF0240
2	Cilindros Hidráulicos de anclaje	Rexroth CDT3 MX2, D: 35mm, longitud: 212.5mm
2	Cilindros Hidráulicos de empuje del husillo	Rexroth CDT3 MX2 , D: 35mm, longitud: 65.5mm
2	Tornillos de sujeción con tuerca y arandela	Longitud: 840mm M12, 1.5
8	Bandas calentadoras	Tempco MI-Plus, D:4", Long: 4"
1	Banda calentadora para boquilla	Tempco MI-Plus, D:2". Long: 2"
4	Termocuplas	Temperaturas entre 30 y 300°C
2	Rodamiento SKF 32312B	Rodamiento de rodillos cónicos

Figura 18. Esquema cilindros seleccionados para la unidad inyectora

Tipo de sujeción MX2, MX3 (medidas nominales en mm)



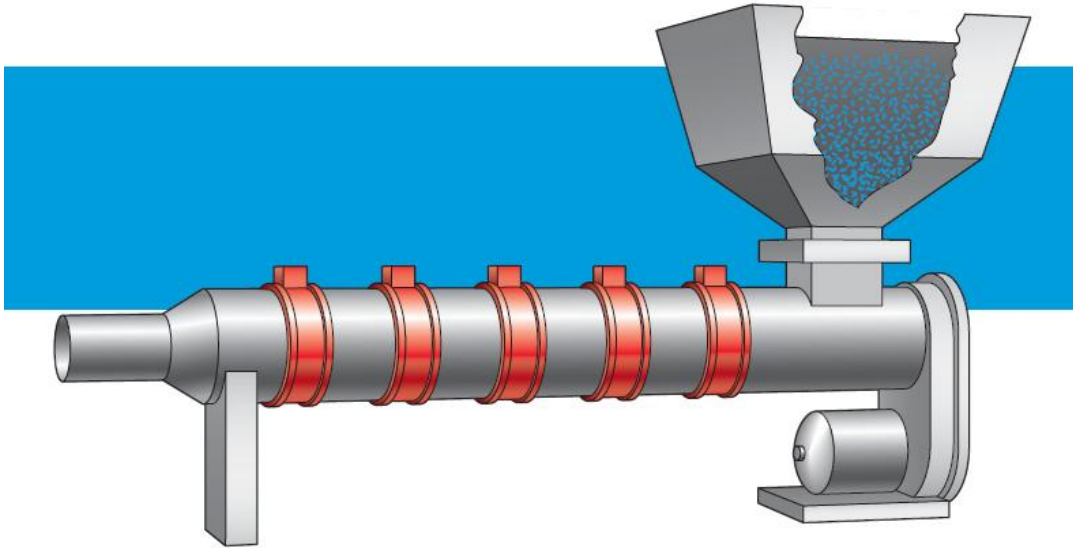
Fuente: Catálogo de selección Rexroth

Las bandas calentadoras se seleccionaron usando el catálogo de TEMPCO, empresa dedicada a la fabricación de bandas calentadoras para máquinas inyectoras. El proceso de selección se hace de la siguiente manera: se determina mediante un ejercicio de transferencia de calor la potencia necesaria para el material que requiere la máxima temperatura en cada una de las zonas. Se determina la longitud de la banda mediante la comparación de las zonas del husillo (I, II y III) y el número de bandas por sección. Mediante la fórmula:

$$WD = \frac{W}{(\pi * D_{ib} * L_b) - (A_f)}$$

donde  $WD$  es la densidad de potencia,  $W$  es la potencia necesaria para producir el calentamiento, (que se puede dividir en el número de bandas deseado),  $D_{ib}$  es el diámetro interno de la banda, o el externo del cilindro,  $L_b$  es la longitud de la banda y  $A_f$  es el área fría (área del cilindro que no está en contacto con la banda, dada por el fabricante) proporcionada por el catálogo, se encuentra la densidad de potencia. Esta  $WD$  se compara con los datos de las bandas en el catálogo, cuidando de no excederla, para lograr un funcionamiento adecuado de la banda seleccionada.

Figura 19. Posicionamiento de las bandas calentadoras



Fuente: Catálogo de selección de bandas Tempo

Tabla 6. Propiedades de motores de la casa fabricante Parker

Motor Series TF	cm <sup>3</sup> /rev in <sup>3</sup> /rev	rev/min	cont / int* l/min g/min	cont / int* bar psi	max bar psi	cont / int* Nm lb-in	max KW HP	cont / int* Nm lb-in
TF 0080	81 4.9	693	46 57 12 15	207 276 3000 4000	300 4350	220 296 1948 2621	21.5 28.8	158 205 1401 1811
TF 0100	100 6.1	749	57 76 15 20	155 241 2250 3500	300 4350	197 318 1746 2813	24.9 33.4	148 243 1309 2155
TF 0130	128 7.8	583	57 76 15 20	138 207 2000 3000	300 4350	229 356 2031 3148	21.7 29.1	180 278 1596 2460
TF 0140	141 8.6	530	57 76 15 20	138 207 2000 3000	300 4350	254 393 2248 3477	21.8 29.2	196 308 1739 2728
TF 0170	169 10.3	444	57 76 15 20	138 207 2000 3000	300 4350	317 489 2808 4324	22.7 30.5	243 385 2152 3404
TF 0195	197 12.0	381	57 76 15 20	138 207 2000 3000	300 4350	364 562 3222 4971	22.4 30.1	302 468 2671 4142
TF 0240	238 14.5	394	76 95 20 25	138 207 2000 3000	300 4350	427 670 3782 5928	27.7 37.1	366 572 3242 5058
TF 0280	280 17.1	334	76 95 20 25	138 207 2000 3000	300 4350	509 794 4502 7029	27.8 37.3	438 672 3876 5946

Fuente: Catálogo de selección Motores Parker (Resalte de la selección por los autores)

#### 4.4 VALIDACIÓN

Para la validación de los componentes de la máquina se utilizó el programa CosmosWorks, que complementa el paquete de SolidWorks.

Por su simplicidad y grafismo en la presentación de resultados, presenta amplias ventajas para el diseñador, entre ellas, facilitar el análisis mediante cálculos de geometrías complicadas, permitiendo hacer ajustes de no conformidades “en la marcha”, lo que presenta ahorro en los tiempos de diseño. Se probaron todos los elementos diseñados de la unidad inyectora, asegurándose de que cumplieran con los requisitos de seguridad y cumplieran con su cometido, lo que se logró satisfactoriamente.

Figura 20. Análisis estático Husillo de Inyección  $F_s > 2.1$

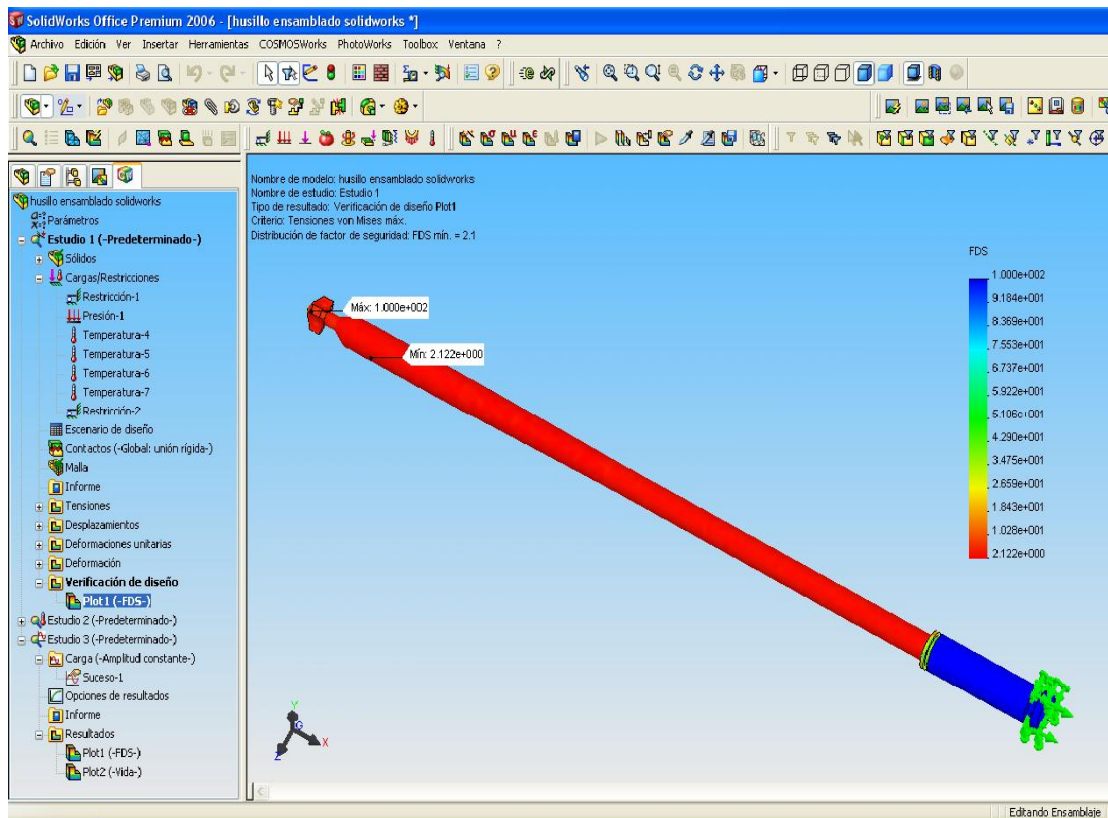


Figura 21. Análisis de Fatiga Husillo de Inyección Fs en Fatiga > 3.7 para Vida Infinita

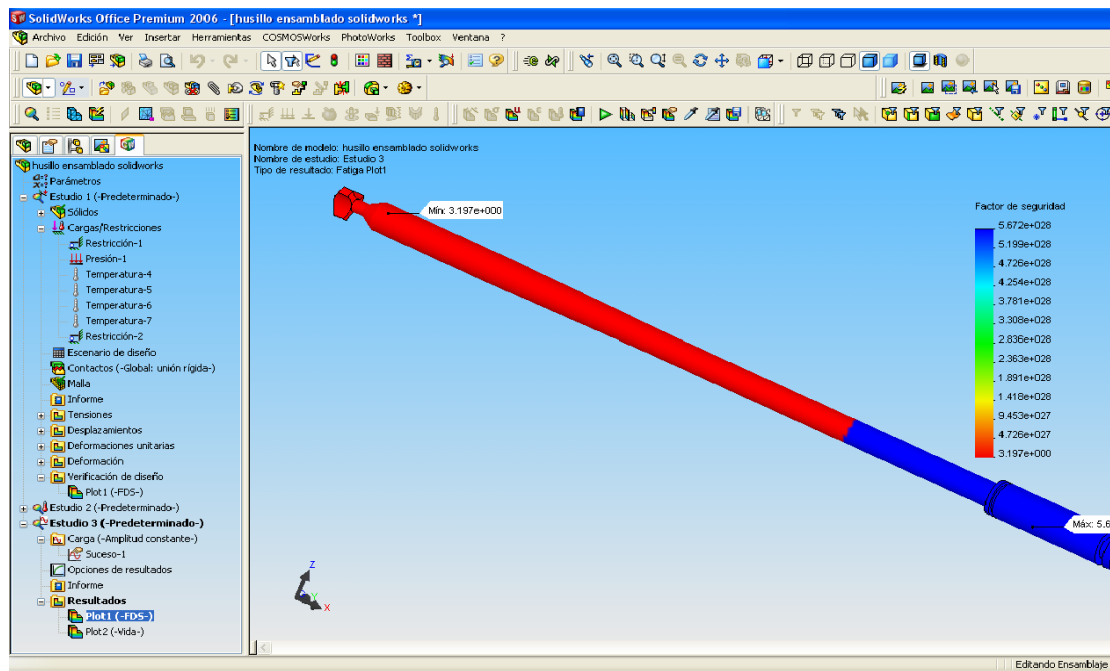
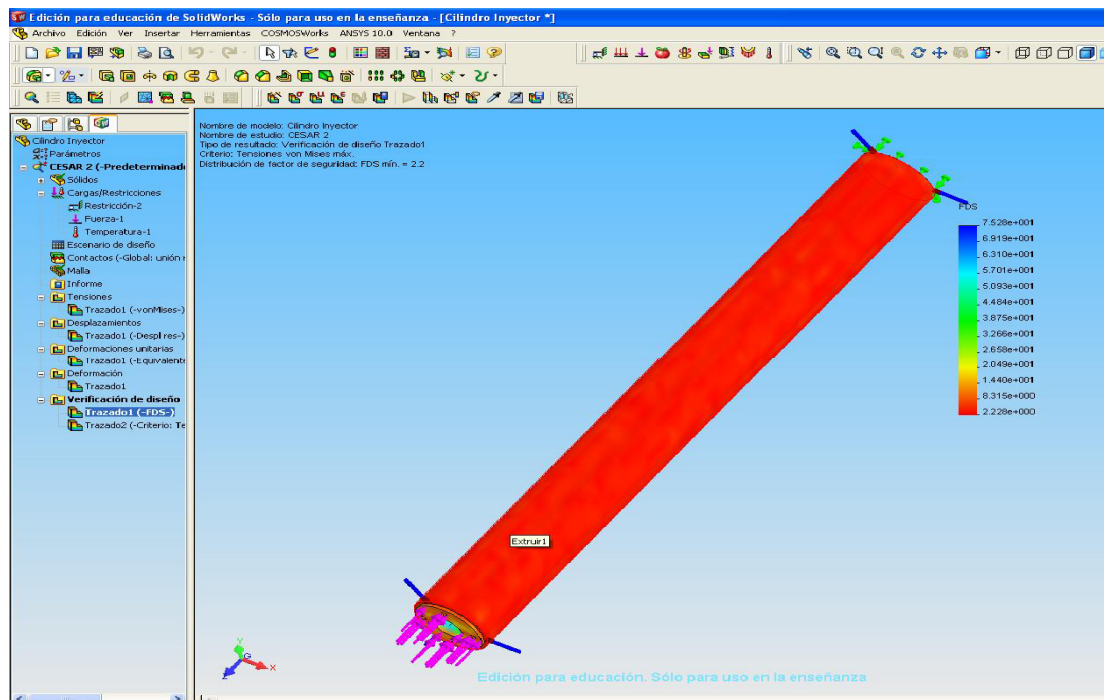


Figura 22. Análisis estático Cilindro Primario de Inyección Fs > 2.2



## 5 ESTRUCTURA

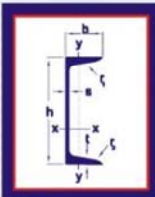
### 5.1 ELEMENTOS DE LA ESTRUCTURA

Como toda unidad estructural, la estructura de la máquina debe ser capaz de soportar los esfuerzos producidos por el peso muerto de la máquina y el de la propia estructura, las cargas dinámicas producidas por el funcionamiento y soportar el ciclaje de dichas cargas. Se tiene un peso estimado (por catálogos y comparación con otras máquinas) de unos 4000 Kg., carga que fue analizada en el CAE con buenos resultados, al ser multiplicada por un factor de seguridad de 1,2. Por lo demás, debe cumplir con los requisitos de rigidez y anclaje de los demás elementos de la máquina.

### 5.2 ANÁLISIS Y DESARROLLO DEL DISEÑO

Se tomó como forma básica de diseño una mesa compuesta de perfiles en U de acero estructural, de referencia C6x8,2 de la Compañía General de Aceros. También se usaron perfiles en I como soportes auxiliares en la estructura, de referencia S5x7,5 de la compañía General de Aceros (tabla 7).

Tabla 7. Tabla de perfiles en U, tipo americano.

	TIPO AMERICANO - PERFILES EN U												
	ESPECIFICACIONES TECNICAS												
	DIMENSIONES						AREA	PESO	MOMENTO DE INERCIA		MODULO DE SECCION		
	h	b	s	t	r1	r2			Ix	Iy	Wx	Wy	
mm						cm <sup>2</sup>	Kg./M	cm <sup>4</sup>		cm <sup>2</sup>			
C 4X4.1	76.2	35.8	4.3	6.9	6.9	2.5	7.68	6.10	66.6	8.32	18.0	3.44	
C 4X5.4	101.6	40.1	4.6	7.5	7.1	2.8	10.10	8.04	158.0	13.30	31.1	4.75	
C 6X8.2	152.4	48.8	5.1	8.7	7.6	3.0	15.40	12.20	541.0	29.10	70.5	8.19	
C 8X11.5	203.2	57.4	5.6	9.9	8.1	3.3	21.70	17.10	1344.0	54.10	133.0	12.90	
C 10X15.3	254.0	66.0	6.1	11.1	8.6	3.6	28.80	22.80	2785.0	95.70	220.0	19.70	
C 12X20.7	304.8	74.7	7.1	12.7	9.7	4.3	38.90	30.80	5332.0	162.00	351.0	27.90	
C 12X30	304.8	80.5	12.9	12.7	9.7	4.3	56.70	44.60	6706.0	216.00	441.0	34.40	
C 15X40	381.0	89.4	13.2	16.5	12.7	6.1	75.50	59.50	14410.0	387.00	757.0	55.70	
PERFIL TIPO EUROPEO UPN													
C 100	100	50	6.00	8.5	8.5	4.50	13.50	10.60	206.00	29.30	41.2	8.49	
C 160	160	65	7.50	10.5	10.5	5.50	24.00	18.80	925.00	85.30	116.0	18.30	
C 200	200	75	8.50	11.5	11.5	6.00	32.20	25.30	1.910.00	148.00	191.0	27.00	
C 260	260	90	10.00	14.0	14.0	7.00	48.30	37.90	4.820.00	317.00	371.0	47.70	
C 300	300	100	10.00	16.0	16.0	8.00	58.80	46.20	8.030.00	495.00	535.0	67.80	

Fuente: Catálogo virtual Compañía General de Aceros

Se procedió a modelar con la herramienta CAD el perfil de la estructura y a partir de ahí, tomando como base los catálogos y las dimensiones de las partes funcionales de la máquina, los diferentes componentes de la estructura como vigas y columnas, formando la mesa mencionada. Se pusieron vigas en las secciones donde debía haber soporte para dichos elementos, como la Unidad de Inyección y la de Cierre. A pesar de su aparente simplicidad, fue una de las partes con mayor trabajo, debido a la infinidad de posibilidades de configuración posibles y las variaciones de esfuerzos con pequeños cambios en la geometría. Debido a esto, se seleccionó la estructura que mejores cualidades mostrara en el análisis con la herramienta CAE.

### **5.3 VALIDACIÓN**

Se pusieron a prueba varias configuraciones, escogiendo la mejor de todas ellas para los propósitos del trabajo, utilizando la herramienta de CAE. Se escogió un factor de seguridad mayor a 2,5, quedando el diseño seleccionado con un factor de seguridad mínimo de 2,75, más que suficiente para el problema propuesto. En la Figura 23 se puede apreciar una configuración cuyo *FS* mínimo era de 1,58; en la Figura 24, la de 2,75.

Figura 23. Análisis de esfuerzos en CAE, con FS 1.58 (Rechazada)

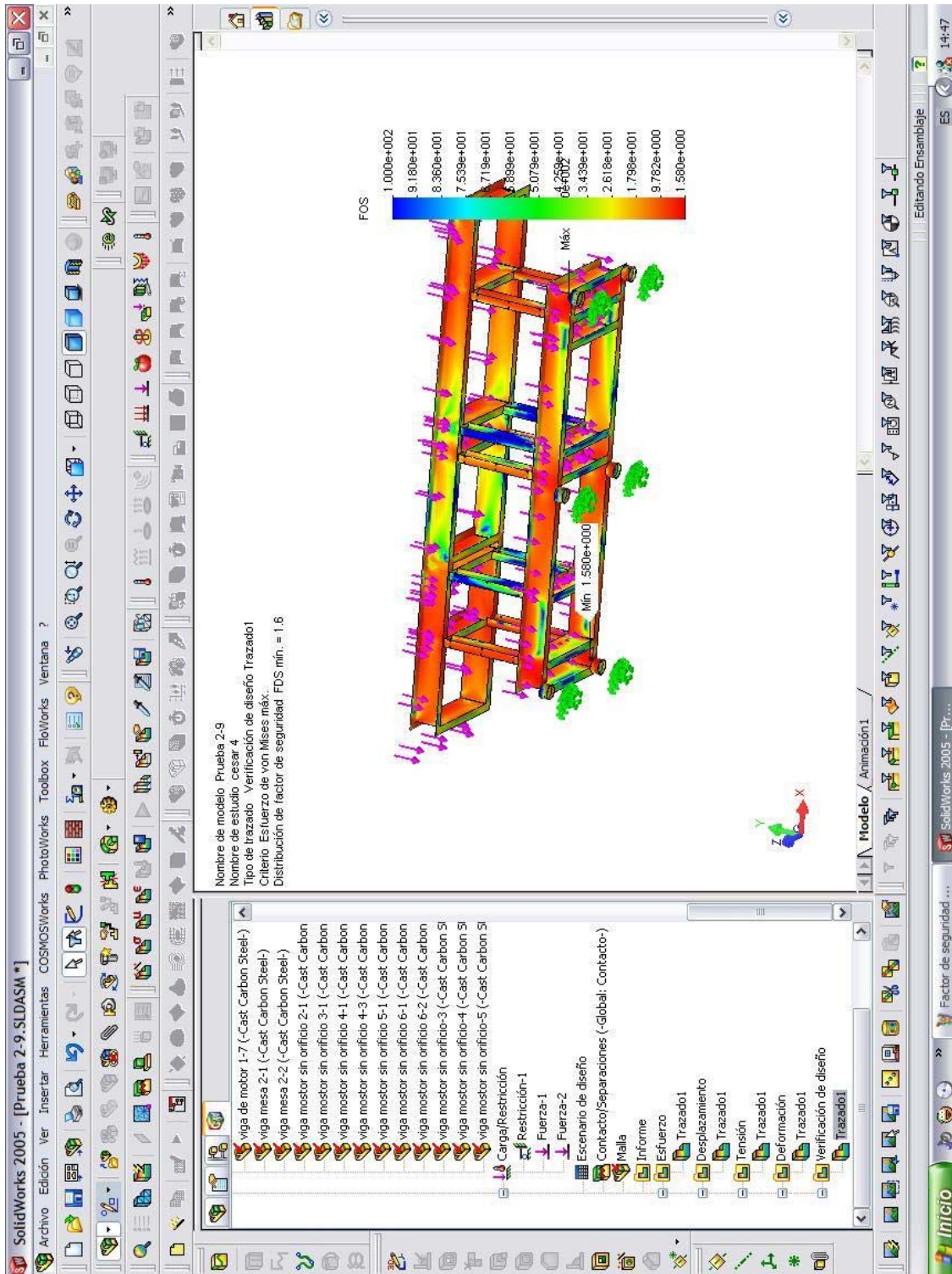
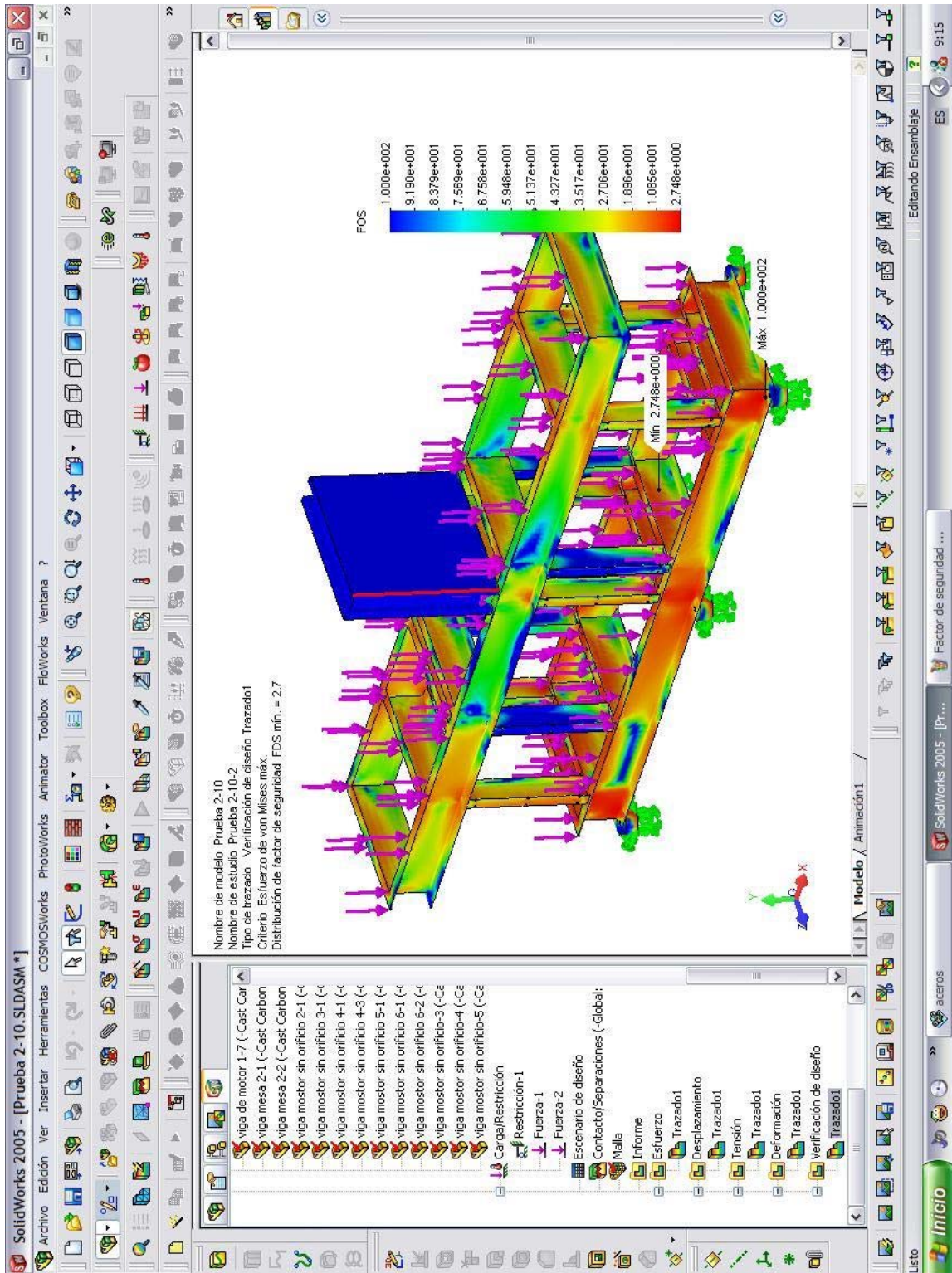


Figura 24. Análisis de esfuerzos en CAE, con FS 2.75 (Seleccionada)

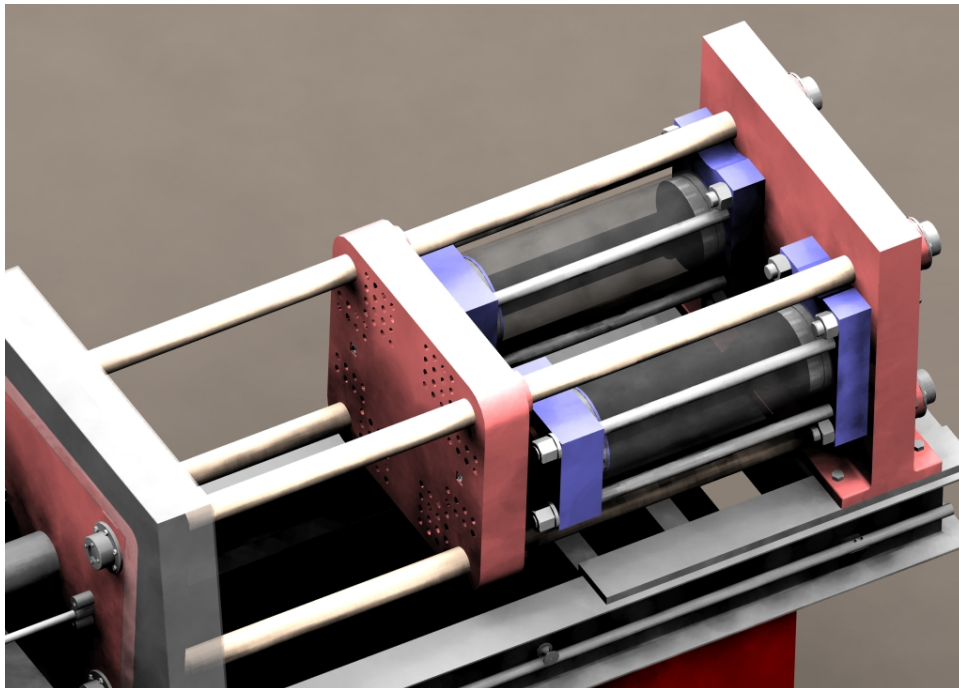


## 6 UNIDAD DE CIERRE

### 6.1 ELEMENTOS DE LA UNIDAD DE CIERRE

Como elementos de entrada para el diseño de esta unidad, se tenían la fuerza de cierre (900 KN), la forma de transmisión de fuerza (arrastre de fuerza), y otras variables menores, como número de cilindros, número de soportes, configuración de los cilindros de fuerza y luz entre las placas (fija y porta-moldes).

Figura 25. Unidad de Cierre

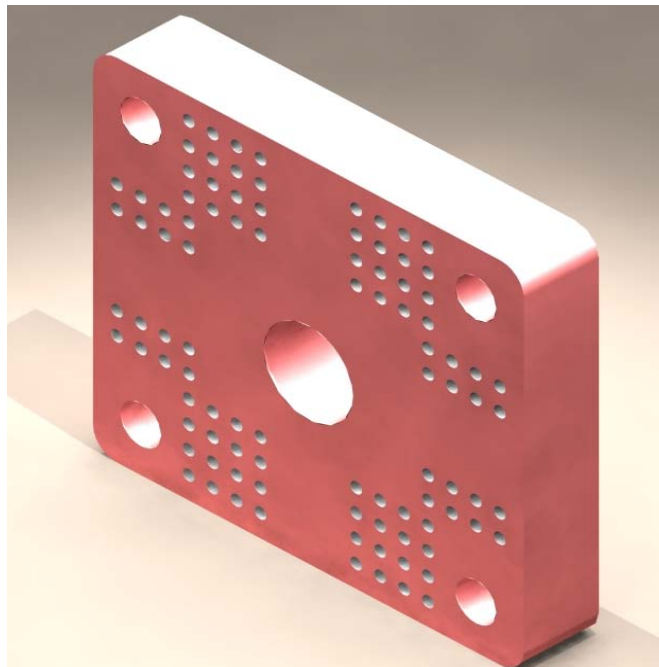


### 6.2 ANÁLISIS Y DESARROLLO DEL DISEÑO

A partir de las variables anteriores, se procedió al modelamiento de las diferentes partes que componen este sistema. El primer elemento diseñado fueron las guías que actúan como tales y como soporte de la placa porta-moldes. A continuación se hicieron los soportes de dichas guías. Después de seleccionar los cilindros y modelarlos en el CAD según los datos del

fabricante, se diseñó la placa donde éstos debían apoyarse, teniendo en cuenta las dimensiones dadas por el catálogo de selección de cilindros. Las placas porta-moldes, tanto la fija como la móvil, se diseñaron teniendo en cuenta los agujeros estandarizados que poseen los moldes para inyección, la profundidad de los orificios y los tipos de roscas (M16/40/55).

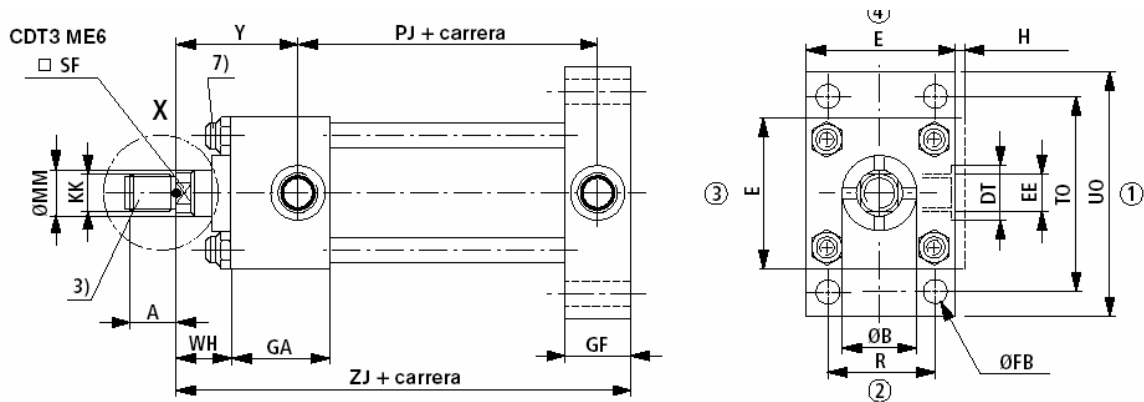
Figura 26. Placa porta-molde



### **6.3 SELECCIÓN DE ELEMENTOS ASOCIADOS**

Los principales elementos seleccionados en esta unidad fueron, por supuesto, los cilindros que aplican la fuerza. Debían realizar una fuerza de 900 kN sobre la placa porta-moldes móvil, su principal factor de selección. Se seleccionaron dos cilindros Rexroth de configuración CDT3 ME6 de 200mm de diámetro externo, que permiten un fácil y cómodo anclaje a la estructura de la máquina, además de una aplicación de fuerza uniforme.

Figura 27. Esquema de los cilindros seleccionados para la Unidad de cierre



Fuente: Catálogo de selección Rexroth

#### 6.4 VALIDACIÓN

Al igual que las unidades anteriores, se realizaron análisis con la herramienta CAE, mostrando buenos resultados. Sólo se modelaron los elementos estructurales (placas, guías, soportes, tornillos), ya que la casa Rexroth garantiza los cilindros al actuar en la fuerza para la cual fueron construidos y seleccionados. En el CAD se pusieron como elementos de ilustración. Se cumplieron los objetivos de rigidez, resistencia a esfuerzos, movilidad y funcionalidad de la unidad.

Figura 28. Análisis de esfuerzos CAE de la Clamping (Unidad de cierre).

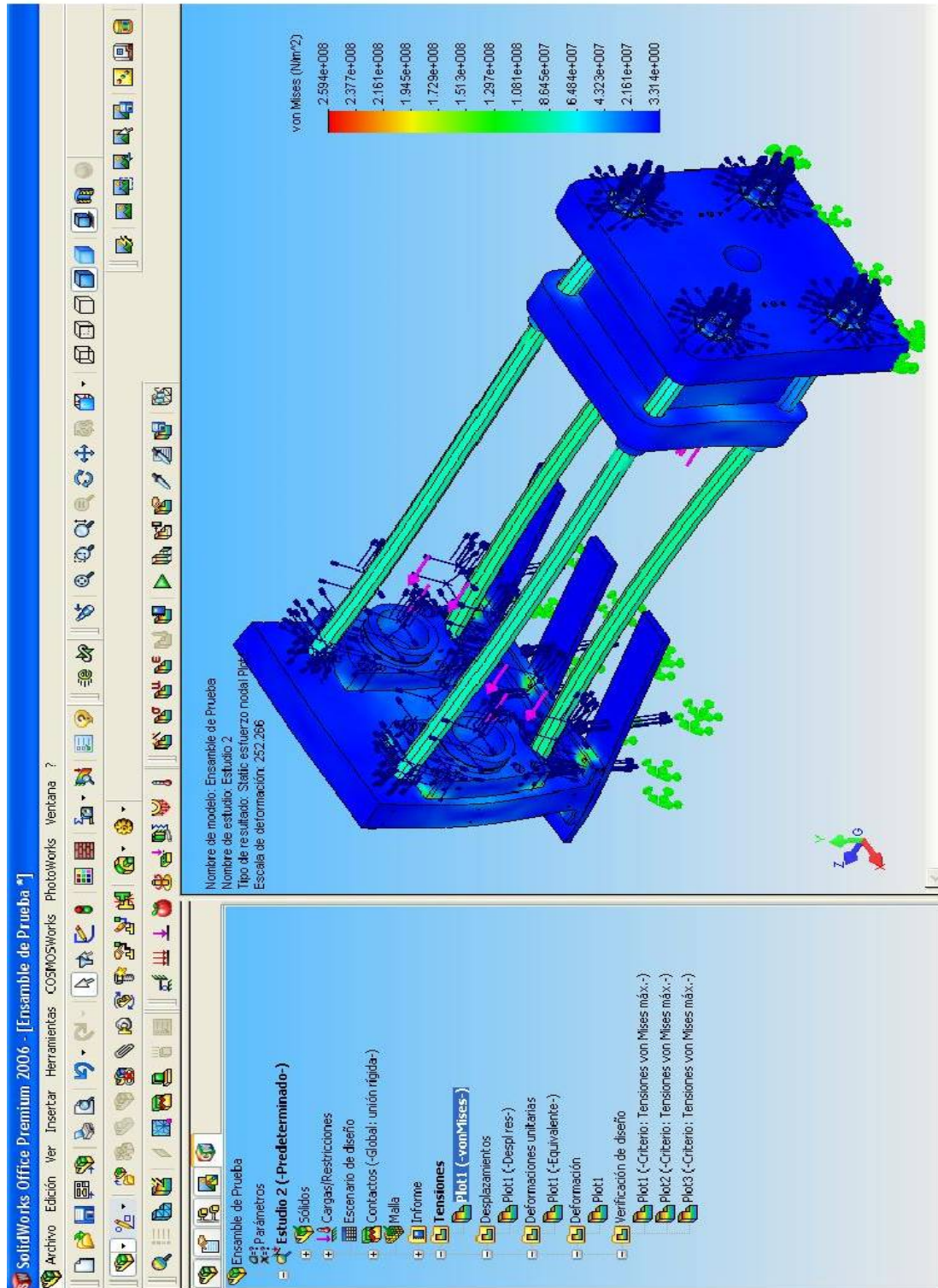


Figura 29. Análisis de esfuerzos de Placa porta moldes móvil. FS > 2.

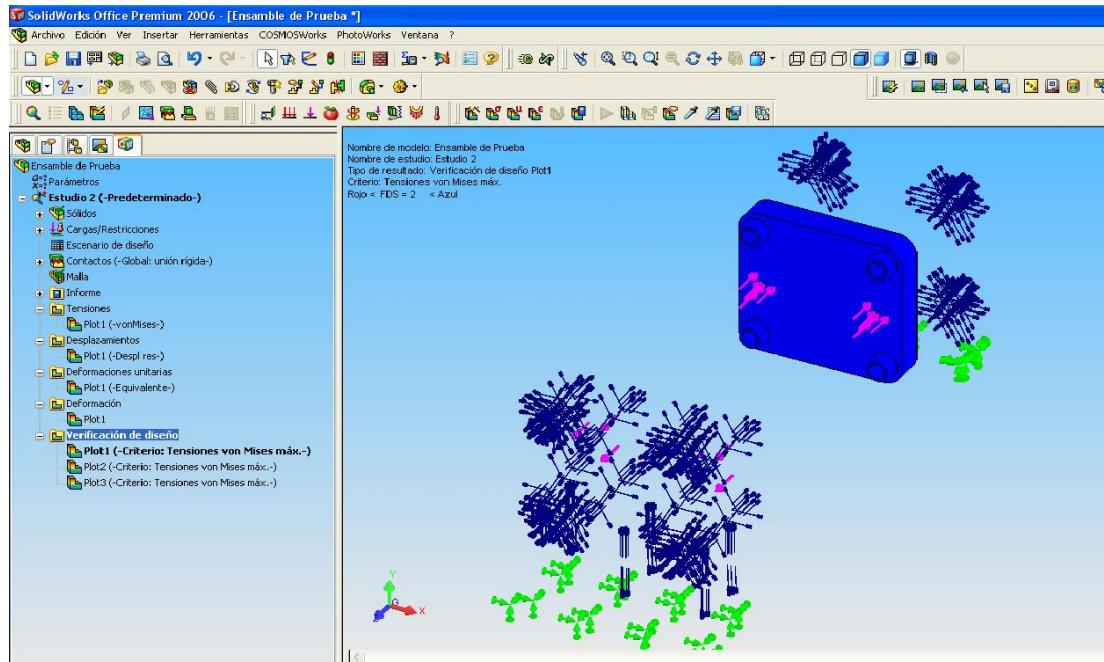


Figura 30. Distribución del FS Placa Fija Posterior FS > 2,7

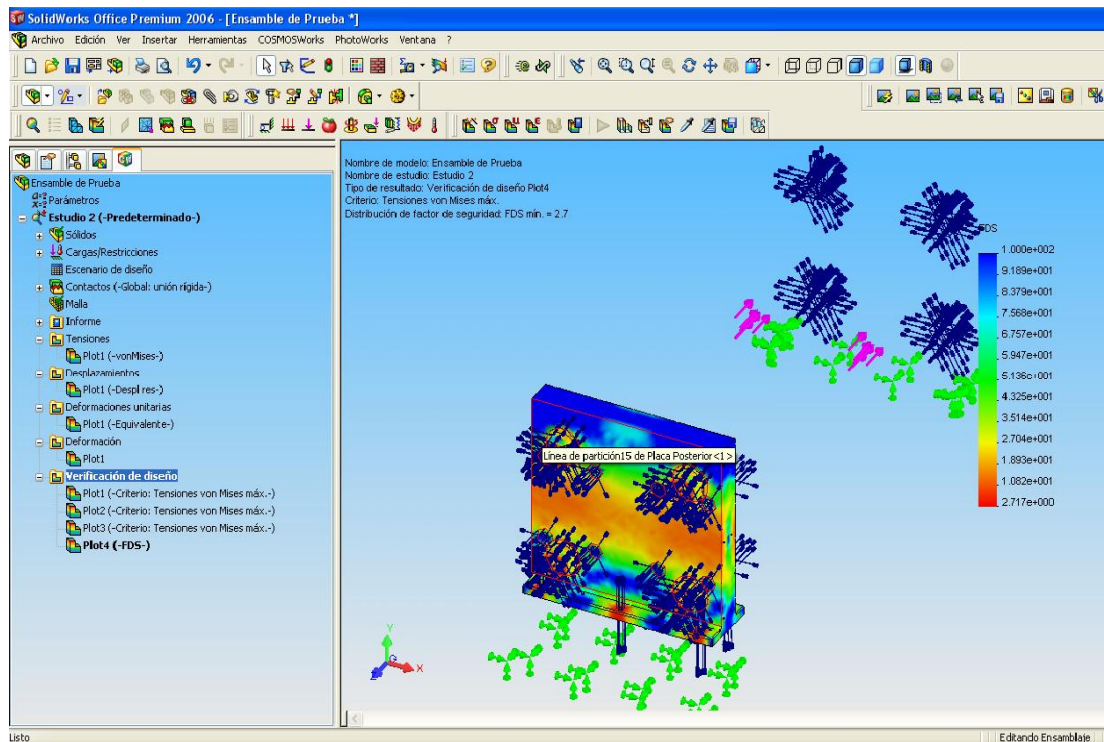
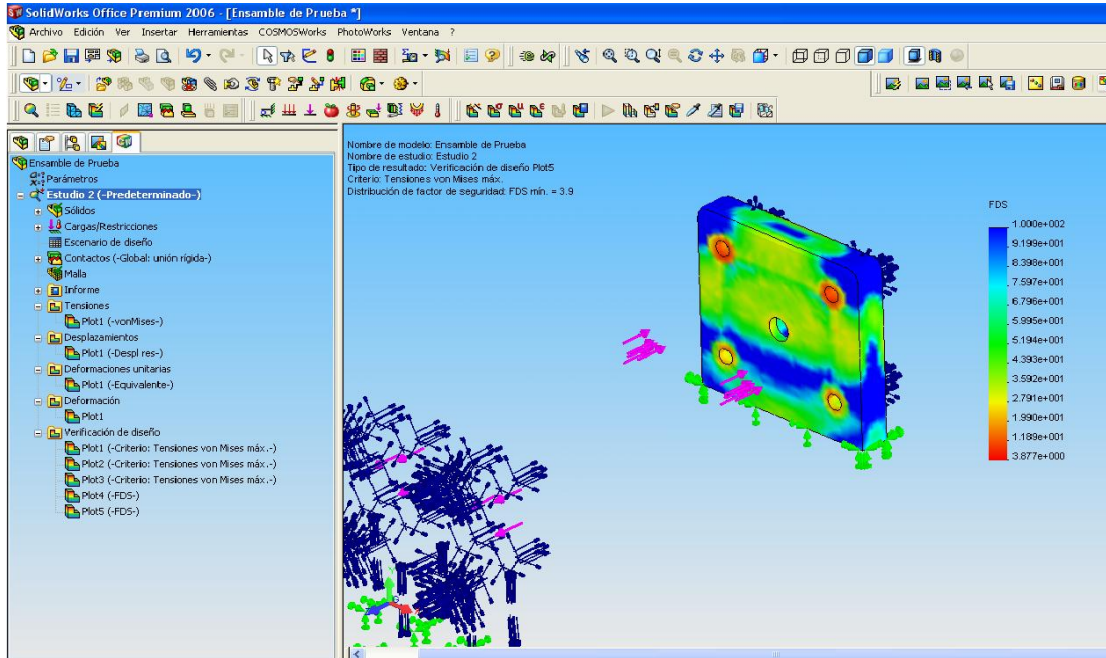


Figura 31. Distribución del FS Placa Fija de la Estructura FS > 3,9



## 7 CIRCUITO HIDRÁULICO

El circuito hidráulico debe suministrar el líquido hidráulico (aceite) en las cantidades, presiones y momentos precisos para cumplir con los tiempos y ciclos de la máquina. Se compone de una bomba principal accionada por un motor eléctrico, tuberías, mangueras, actuadores (cilindros), válvulas, tanque de depósito y un motor hidráulico.

### 7.1 CARACTERÍSTICAS DEL CIRCUITO HIDRÁULICO

Se tienen como elementos de entrada:

**7.1.1 Presión de los elementos hidráulicos:** La selección de los cilindros para las unidades anteriores se hizo basada en el catálogo de cilindros de la casa fabricante Rexroth. En este catálogo se especifica que dichos elementos están diseñados para trabajar en óptimas condiciones a una presión de 160 bar, unas 2300 p.s.i. o un poco más en ciertas aplicaciones. Por lo tanto, ésta es la presión que se escogió.

**7.1.2 Número de elementos (actuadores) hidráulicos:** Se tienen dos cilindros en la unidad de cierre, que aplican la potencia; dos cilindros en la unidad inyectora, que retraen el cilindro inyector pegándolo al molde; dos más que ejecutan la acción inyectora, moviendo el husillo hacia el molde y un motor hidráulico que genera el movimiento de rotación del husillo. Cada par de cilindros (2 de anclaje y 2 de inyección en la unidad inyectora y 2 de cierre en la unidad de cierre) debe actuar sincronizadamente de manera que no se produzca un desequilibrio en los movimientos.

**7.1.3 Potencia de los elementos hidráulicos:** El ciclo de la máquina presenta la siguiente secuencia:

- Al encender la máquina y hacer el primer ciclo, se activan los cilindros de anclaje  $c_a$ , que permanecen accionados durante todo el proceso de producción.
- Se accionan los cilindros de la unidad de cierre  $c_c$ .
- Se accionan los cilindros de inyección de la unidad de inyección  $c_i$ .
- Se despresurizan los cilindros de inyección  $c_i$ .
- Se activa el motor hidráulico, devolviendo los cilindros de inyección e insertando material al cilindro principal de la unidad de inyección.
- Se devuelven los cilindros de cierre de la unidad de cierre.
- Se repite el proceso desde el segundo paso.

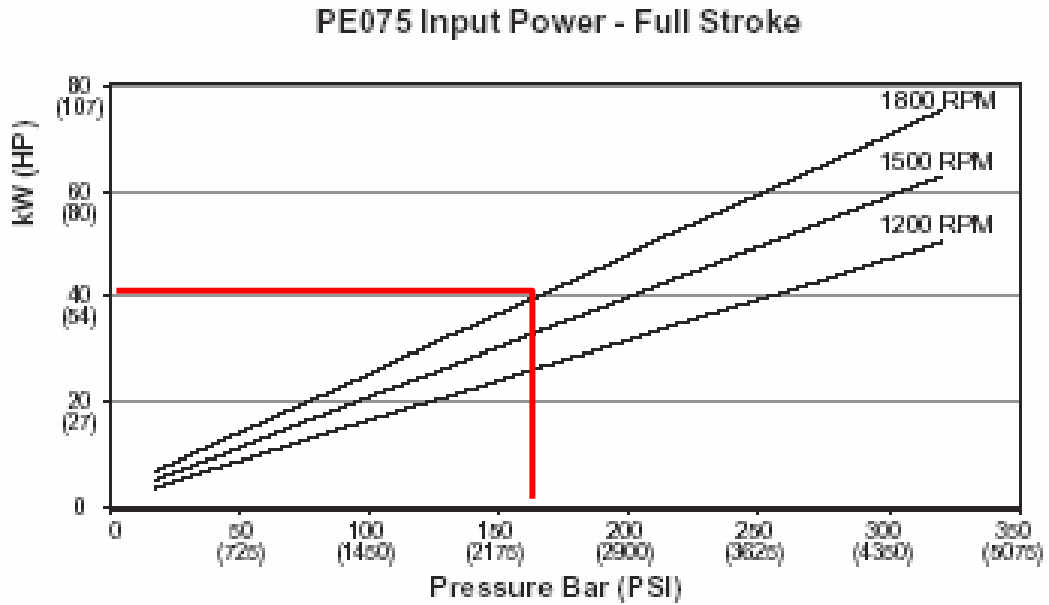
Como se puede observar en el ciclo, todos los elementos no actúan al mismo tiempo. En la fase crítica, se tienen tres de los conjuntos actuando simultáneamente: los cilindros de anclaje, los cilindros de la unidad de cierre y el motor de la unidad de inyección; es en este momento que se tiene la mayor exigencia de potencia de la bomba. Después de hacer los cálculos de los elementos que componen el circuito hidráulico, se obtuvo:

$$P_{motor} + P_{cc} + P_{ca} = P_{máxbomba}$$

$$36.2KW + 1.5KW + 2.8KW = 40.5KW$$

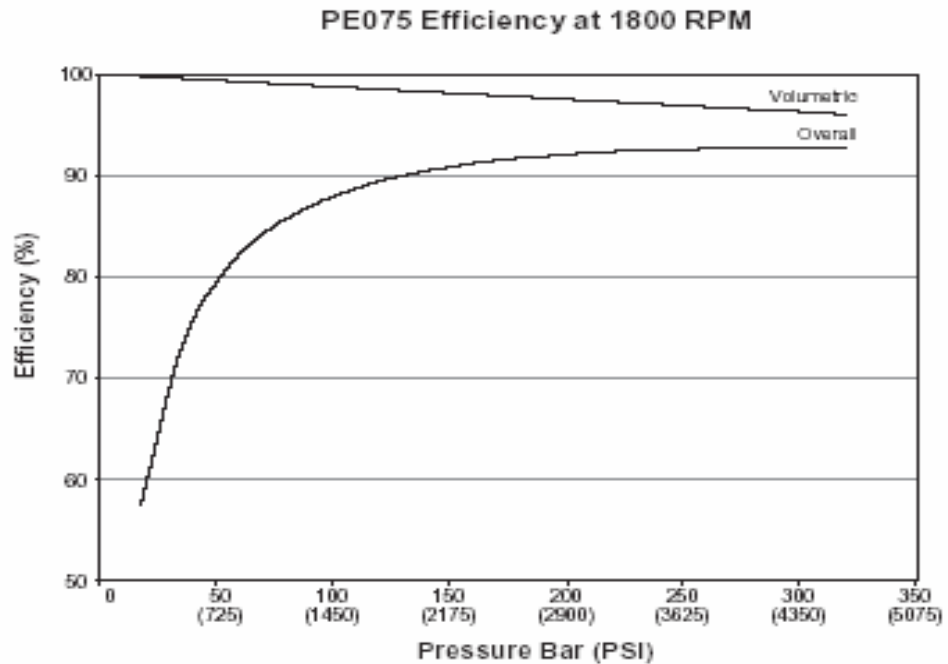
Según el catálogo de selección de bombas de la casa Parker y la gráfica presentada en la figura 32, a una velocidad de 1800r.p.m., la bomba variable de pistones modelo PE075, es la adecuada para el caso.

Figura 32. Gráfica de Potencia vs. Presión de la bomba PE075 @ 1200, 1500 y 1800r.p.m.



Fuente: Catálogo de selección Parker

Figura 33. Gráfica de eficiencia volumétrica y total de la bomba PE075 @ 1800 r.p.m.



Fuente: Catálogo de selección Parker

**7.1.4 Selección Del Motor Eléctrico:** Con la potencia de la bomba (40,5 KW, 40500W, 55HP), se procede a seleccionar el motor. Se eligió el catálogo de la casa Siemens, por su amplio respaldo y reconocimiento así como por la amplia experiencia de la escuela con este fabricante. El catálogo es el M11 para motores eléctricos de jaula de ardilla.

Se multiplica la potencia requerida por la bomba en las RPM especificadas por el factor de eficiencia  $\eta$  suministrado por el catálogo, que para este tipo de motores alcanza un 95%. Por lo tanto se tiene:

$$W = \frac{W_{bomba}}{\eta_{motor}} = \frac{55HP}{0.945} = 58.2HP$$

Con esta potencia se entra al cuadro de selección CC 032A, en la página 86 del catálogo y se selecciona el motor que a las RPM especificadas (1800) consiga una potencia de 58.2HP o más, que es el caso del motor de referencia 1LG6 223–4AA13. Las dos últimas cifras corresponden al voltaje del motor y al tipo de construcción del mismo (ver tabla 8).

Tabla 8. Tabla de selección de motores CC 032A catálogo Siemens

Rated output HP	Size	Order No. Order No. supplement for volt- age and type of con- struction, see table below	Operating data at rated output				Starting torque For direct-on-line starting as multiple of the rated torque	Starting current current	Stalling torque torque	Torque class KL	Moment of inertia J kg m <sup>2</sup>	Weight Type of constr. IM B 3 approx. kg	
			Rated speed rpm	Nominal efficiency level $\eta$ %	Power factor p.f.	Rated current at 460 V A							Rated torque Nm
<b>Energy-saving motors according to EPACT, IP55 degree of protection</b>												<b>CC 032A</b>	
<b>3600 rpm, 2-pole, 60 Hz</b>													
30	180 M	1LG6 183-2AA ..	3560	93.6	0.88	34	60	2.7	7.9	3.7	16	0.086	180
40	200 L	1LG6 206-2AA ..	3565	92.4	0.88	46	80	2.7	7.8	3.7	16	0.151	225
50		1LG6 207-2AA ..	3565	92.4	0.89	57	100	2.8	7.8	3.7	16	0.182	255
60	225 M	1LG6 223-2AA ..	3570	94.1	0.89	67	120	2.8	8.3	3.6	16	0.266	330
75		1LG6 228-2AA .. <sup>1)</sup>	3570	94.1	0.90	83	150	3.3	8.7	3.7	16	0.319	390
75	250 M	1LG6 253-2AA ..	3578	93.6	0.89	84	140	2.7	7.5	3.2	16	0.466	420
100		1LG6 258-2AA .. <sup>1)</sup>	3580	94.1	0.89	112	199	2.8	8.4	3.5	16	0.565	470
100	280 S	1LG6 280-2AB ..	3580	95.0	0.89	110	199	2.8	7.9	3.4	13	0.832	530
125	280 M	1LG6 283-2AB ..	3580	95.0	0.90	136	240	2.9	8.3	3.4	13	1.00	615
150		1LG6 288-2AA .. <sup>1)</sup>	3580	95.0	0.90	164	299	3.1	8.5	3.6	16	1.160	660
150	315 S	1LG6 310-2AB ..	3585	94.5	0.91	164	298	2.6	7.5	3.1	13	1.39	790
175	315 M	1LG6 313-2AB ..	3586	95.0	0.91	190	348	3.0	8.3	3.3	13	1.62	915
200	315 L	1LG6 316-2AB ..	3588	95.4	0.91	215	397	3.0	8.4	3.5	13	2.09	1055
250	315 L	1LG6 317-2AB ..	3588	95.4	0.93	265	496	3.2	8.6	3.4	13	2.46	1245
300	315 L	1LG6 318-2AA .. <sup>1)</sup>	3591	95.4	0.92	320	595	4.1	10.0	3.9	16	2.74	1330
<b>1800 rpm, 4-pole, 60 Hz</b>													
25	180 M	1LG6 183-4AA ..	1775	92.4	0.82	31	100	2.9	7.1	3.3	16	0.122	155
30	180 L	1LG6 186-4AA ..	1775	92.4	0.83	36.5	121	2.8	7.4	3.4	16	0.144	180
40	200 L	1LG6 207-4AA ..	1775	93.0	0.84	48	160	3.0	7.7	3.7	16	0.234	225
50	225 S	1LG6 220-4AA ..	1785	93.6	0.84	60	200	3.1	7.5	3.4	16	0.398	290
60	225 M	1LG6 223-4AA ..	1785	94.1	0.85	70	240	3.3	7.9	3.5	16	0.486	330
75		1LG6 228-4AA .. <sup>1)</sup>	1785	94.1	0.85	88	299	3.0	7.8	3.3	16	0.660	355
75	250 M	1LG6 253-4AA ..	1790	94.5	0.86	86	298	2.9	8.2	3.4	16	0.856	460
100		1LG6 258-4AA .. <sup>1)</sup>	1788	94.5	0.86	116	398	3.0	8.1	3.3	16	0.990	495
100	280 S	1LG6 280-4AA ..	1788	95.0	0.86	114	398	2.9	7.6	3.2	16	1.39	575
125	280 M	1LG6 283-4AA ..	1790	95.0	0.86	144	497	3.0	8.2	3.4	16	1.71	675
150		1LG6 288-4AA .. <sup>1)</sup>	1788	95.0	0.86	172	598	3.1	8.4	3.5	16	1.88	710
150	315 S	1LG6 310-4AA ..	1791	95.0	0.87	170	597	3.1	7.8	3.2	16	2.31	810
175	315 M	1LG6 313-4AA ..	1791	95.4	0.87	198	696	3.2	8.4	3.3	16	2.88	965
200	315 L	1LG6 316-4AA ..	1792	95.4	0.87	225	795	3.7	9.0	3.6	16	3.46	1105
250	315 L	1LG6 317-4AA ..	1792	95.8	0.87	280	994	4.0	9.1	3.7	16	4.22	1305
300	315 L	1LG6 318-4AA .. <sup>1)</sup>	1792	95.8	0.87	335	1193	4.0	9.3	3.7	16	4.50	1345

<sup>1)</sup> With CC No. CC 032A

Fuente: Catálogo de selección de motores Siemens

**7.1.5 Selección del acople Motor-Bomba:** Al tener seleccionada la bomba, se procedió a seleccionar el acople. Se utilizó el catálogo de Martinsprocket, que ofrece varias configuraciones de acoples para motores y bombas hidráulicas. Se determinó que un acople de tipo mordaza, por ser el tipo más seguro y común para estos casos era la mejor opción.

El proceso de selección es bastante sencillo: teniendo la potencia del elemento que va a ser movido (la bomba) y el tipo de fuente de potencia (motor eléctrico), y considerando el ambiente de trabajo, se multiplica dicha potencia por un factor de corrección, 1,5 en este caso. A continuación se

mira en el listado de productos aquél que cumpla con la potencia a las revoluciones calculadas. Hay que tener en cuenta que al seleccionar acoples del segundo tipo de material, el Hytrel, el valor de la potencia en la tabla se debe multiplicar por 3. Para este caso, se seleccionó un acople de referencia ML150, que a 1800 RPM posee una capacidad de potencia de 102.6 HP, suficientes para soportar los 81.46 HP del caso presentado.

$$HP = 40500W * \frac{0.001341022HP}{1W} * 1.5 = 81.46HP$$

Tabla 9. Tabla de selección del acople Bomba-Motor Catálogo Martinsprocket

Service Factor Guide	Prime Mover		
	Electric Motor or Steam Turbine	Gasoline or Diesel Engine, 6 or More Cyl.	Gasoline or Diesel Engine, Less Than 6 Cyl.
<b>Light:</b> Uniform or steady load never exceeding horsepower rating, infrequent starting. Agitators, Blowers, Conveyors, Evaporators, Fans, Generators, Centrifugal Pumps, Stokers	1.0	1.5	2.0
<b>Moderate:</b> Heavy inertia, moderate shock, frequent starting; peak loads do not exceed 125 per cent average horsepower. Uneven load. Beaters, Rotary Pumps and Compressors, Cranes, Elevators, Mine and Propeller Fans, Generators, Pulp Grinders, Hoists, Kilns, Machine Tools, Mixers, Gear Pumps, Woodworking Machines	1.5	2.0	2.5
<b>Heavy:</b> Heavy shock conditions or frequent reversing. Peak loads do not exceed 150 per cent average horsepower. Uneven load. Reciprocating Pumps and Compressors, Crushers, Freight and Passenger Elevators, Mills (Hammer, Ball, Rolling, Turf, Flour), Vibrating Screens, Winches, Wire Drawing Machines, Punches, Shears	2.0	2.5	3.0



Bore Tolerances:  
 $\frac{1}{2} - 1 \frac{3}{4} + .001 - .000$   
 $1 \frac{13}{16} - 2 \frac{5}{8} + .0015 - .0000$

### Martin ML (Universal Series) — Torque and Horsepower Ratings

Catalog Number	Torque Rating Lb. — In.		Buna-N Horsepower Capacity at Various RPM					Max. Bore	(Each) Weight
	Buna-N	Hytrel*	100	300	1200	1800	3600		
ML035	3.5	—	.006	.02	.07	.10	.20	$\frac{3}{4}$	.07
ML050	31.5	94.5	.05	.15	.60	.9	1.8	$\frac{5}{8}$	.13
ML070	42	126	.07	.21	.84	1.2	2.5	$\frac{3}{4}$	.25
ML075	81	242	.13	.39	1.56	2.3	4.7	$\frac{7}{8}$	.44
ML090	140	420	.22	.66	2.64	4.0	7.9	1 $\frac{1}{4}$	.69
ML095	189	567	.30	.90	3.6	5.4	10.8	1 $\frac{1}{2}$	.84
ML099	290	870	.46	1.4	5.5	8.3	16.6	1 $\frac{3}{4}$	1.19
ML100	416	1248	.66	2.0	7.9	11.9	23.8	1 $\frac{3}{4}$	1.47
ML110	756	2268	1.2	3.6	14.4	21.6	43.2	1 $\frac{3}{4}$	3.20
ML150	1197	3591	1.9	5.7	22.8	34.2	68.4	1 $\frac{3}{4}$	4.50
ML190	1512	4536	2.4	7.2	28.8	43.2	86.4	2 $\frac{1}{4}$	6.25
ML225	2268	6804	3.6	10.8	43.2	64.8	129.6	2 $\frac{1}{2}$	12.00

NOTE: Above H.P. capacities are for Buna-N rubber spider and service factor of one. When Hytrel spider is used multiply capacities by three.

Fuente: Catálogo de selección de acoples MartinSprocket

## 7.2 ANÁLISIS Y DESARROLLO DEL DISEÑO

Teniendo definidas las variables de entrada y el ciclo de inyección de la máquina, se diseñó el circuito hidráulico, que se ilustra en la figura 34. Éste es un diseño que se puede ver mejorado con la inclusión de nuevos sistemas de control, por lo que se deja su posterior revisión al proyecto encargado de la parte de control.

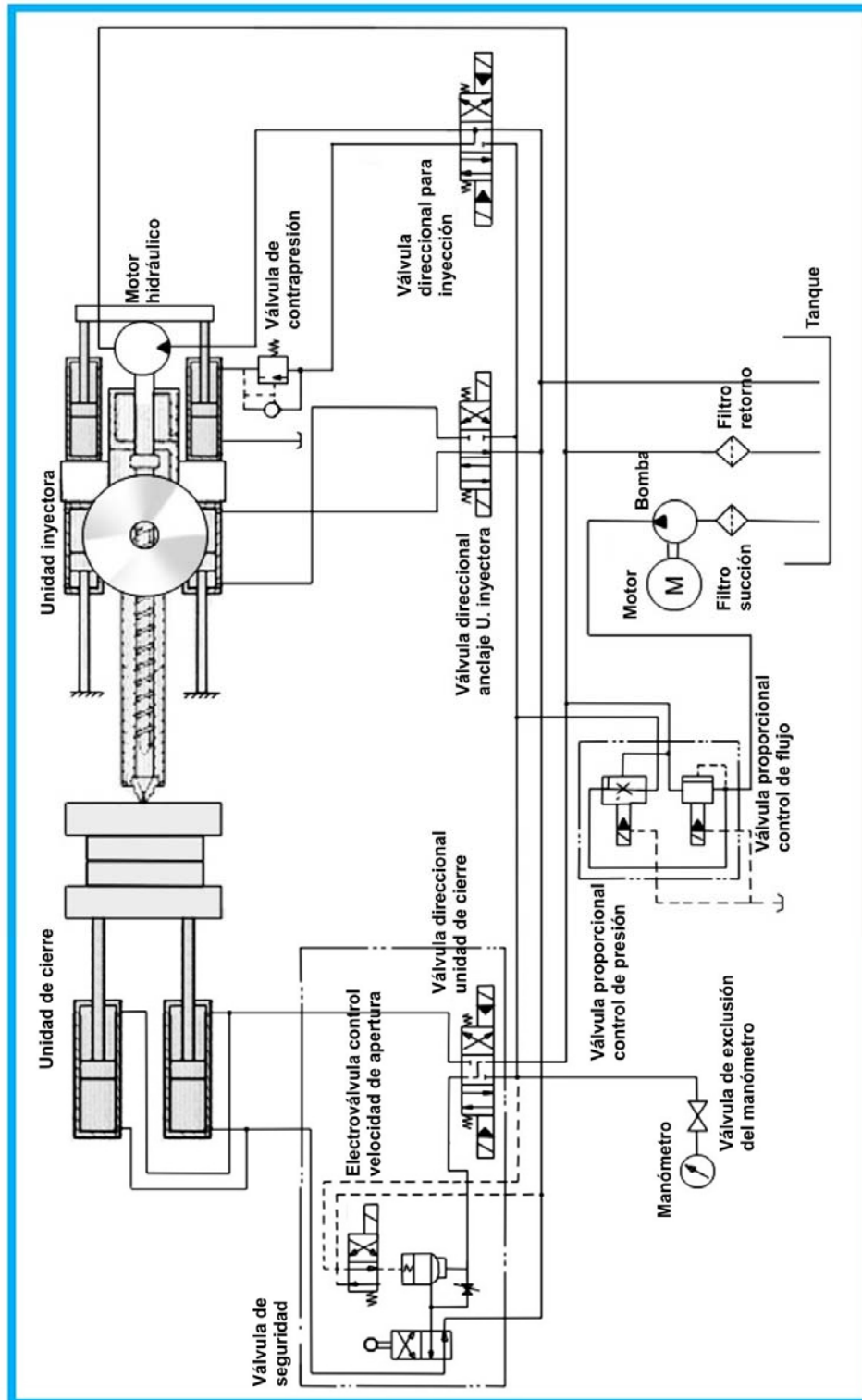
## 7.3 SELECCIÓN DE ELEMENTOS ASOCIADOS

En resumen, se seleccionaron:

Tabla 10. Elementos del circuito hidráulico

Cant.	Descripción	Detalles
1	Motor Hidráulico actuador del husillo	Motor Parker TF0240
2	Cilindros Hidráulicos de anclaje	Rexroth CDT3 MX2, Diámetro AL 40mm, vástago: 18mm, carrera: 212.5mm
2	Cilindros Hidráulicos de empuje del husillo	Rexroth CDT3 MX2, Diámetro AL 40mm, vástago de 18mm, carrera: 165.5mm
2	Cilindros Hidráulicos para cierre de Unidad de Cierre	Rexroth CDT3 ME6, Diámetro AL 200mm, vástago: 90mm, Carrera: 450mm.
1	Bomba variable de pistones	Parker, modelo PE075
1	Acople Motor-Bomba	Martinsprocket ML150 de Hytrel
3	Válvulas direccionales 4:2	(ver circuito)
2	Válvulas proporcionales (P y Q resp.)	(ver circuito)
1	Manómetro	(ver circuito)
1	Válvula de contrapresión	(ver circuito)
1	Motor Eléctrico	Siemens 1LG6 258-4AA13

Figura 34. Circuito Hidráulico de la Inyectora



## **8 FASE FINAL**

Hasta esta fase, ya se tienen los diferentes sistemas y elementos de la máquina diseñados por separado, sin perder de vista que éstos elementos y partes conformaban parte de un todo que debía cumplir con los requisitos determinados en las fases iniciales. En esta fase final se hizo la integración de los componentes, la comprobación de dicha integración y la elaboración de planos.

### **8.1 INTEGRACIÓN DE LOS COMPONENTES**

Después de diseñar las anteriores secciones de la máquina, se procedió a su integración en la herramienta CAD. Se dejó como parte inicial y fija la estructura. Seguidamente se hizo el montaje virtual de la unidad de inyección y de cierre. Con esto, se completó el diseño funcional de la máquina. A partir de éste, se empezaron a montar las protecciones, guías, cubiertas y otros accesorios para darle el aspecto y la configuración final y cumplir con los requisitos de estética y seguridad deseados.

### **8.2 VALIDACIÓN**

Se presentaron ciertas dificultades a la hora de validar completamente el diseño de la máquina, debido a que el archivo del montaje completo y su evaluación era demasiado grande para los computadores en los que fue realizado el diseño, por lo que hubo que realizar esta prueba en un equipo que soportara el procedimiento. Después de logrado este cometido, se pudo establecer que el montaje total también cumple con los requisitos de diseño deseados.

### 8.3 MONTAJE TOTAL

A continuación se presenta la máquina completa capturada con el complemento PhotoWorks de SolidWorks, que permite una visualización con calidad fotográfica del modelo construido en el CAD. También se presenta la tabla con las características técnicas de la máquina diseñada.

Figura 35. Fotografía virtual de la máquina diseñada.

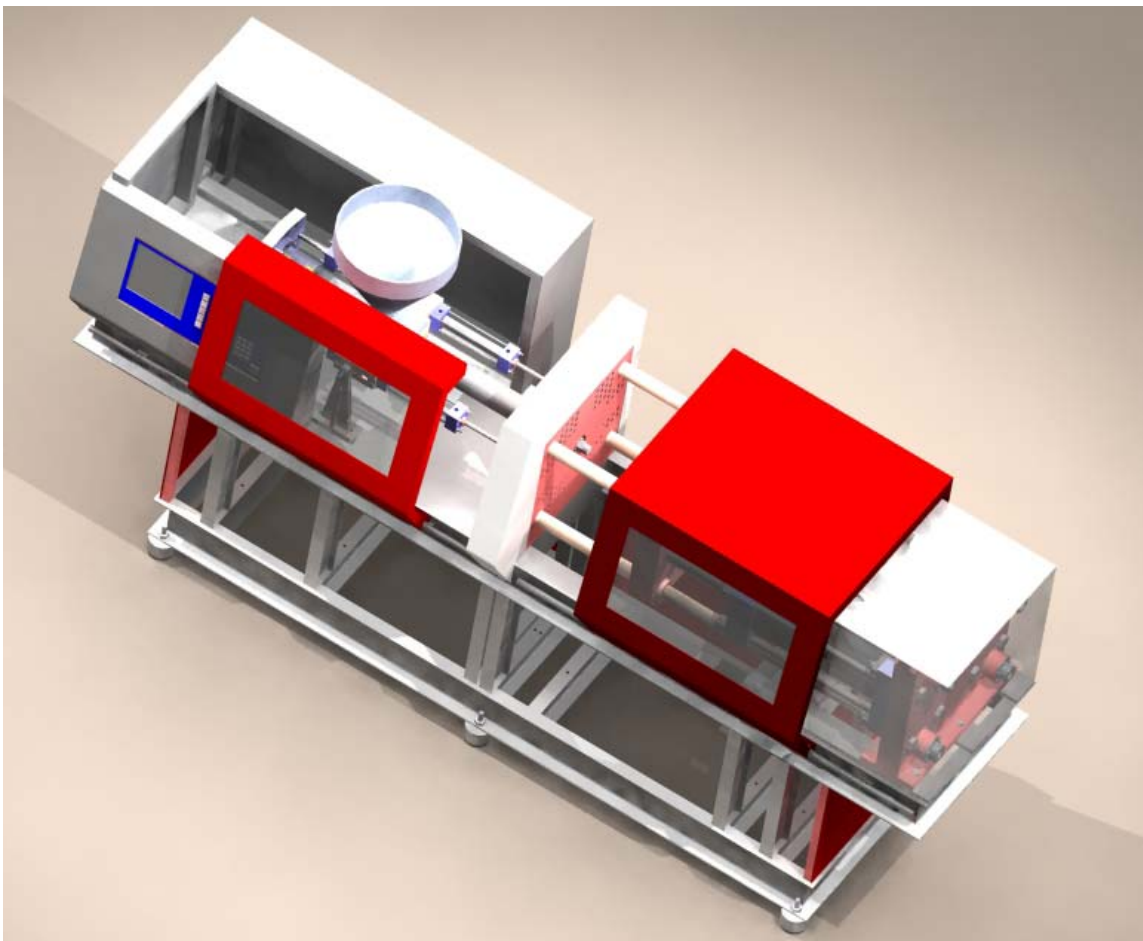


Tabla 11. Datos Técnicos de la Máquina

<b>Unidad De Inyección</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>
Diámetro del Husillo	mm	42
Relación L/D del Husillo		20
Volumen inyectado máx. (teórico)	Cm <sup>3</sup>	200
Peso inyectado máx	g	239
Fuerza de Inyección	KN	239
Presión de inyección máx	bar	1730
Carrera máx del husillo	mm	145
Fuerza de apoyo de la boquilla	KN	73.4
Par de giro del husillo	N-m	700
Revoluciones x minuto del husillo	RPM	10-400
Fuerza de retroceso del husillo	KN	53
Volumen de la tolva	l	39,646
<b>Unidad De Cierre</b>		
Fuerza de cierre del molde	KN	900
Luz entre guías (Alto x Ancho)	mm	490 x 420
Distancia máx entre placas	mm	720
Fuerza de apertura del molde	KN	65
<b>Generalidades</b>		
Presión del sistema hidráulico	bar	160
Capacidad del tanque de aceite	l	200
<b>Dimensiones y pesos</b>		
Dimensiones (Long x Amplitud x Altura)	Mm	3930 x 1212 x 2002
Peso Total	Kg	4900 aprox

#### **8.4 ELABORACIÓN DE PLANOS**

El proceso de elaboración de planos se ha simplificado ostensiblemente gracias a las nuevas opciones de las herramientas CAD. En este caso, a partir del modelo en 3-D creado en Solid Works, se puede generar cualquier cantidad de planos y vistas del mismo. Esto permite que la tarea del ingeniero y dibujante sea la de decidir qué elementos mostrar y cómo hacerlo, facilitando su labor al proporcionar más detalles y vistas del modelo, así como las diferentes anotaciones referentes al nombre de la pieza, material, tolerancias, etc.

Se elaboraron los planos con las tres vistas principales (frontal, lateral y superior) y la vista isométrica de la máquina completa, los tres sistemas principales (unidad de cierre, unidad de inyección y estructura), así como de las diferentes piezas diseñadas para la máquina.

Así mismo se proporcionan vistas en detalle de los diferentes ensambles que por su complejidad podrían representar alguna dificultad en su comprensión y en el montaje.

## CONCLUSIONES

- Se dio el primer paso en la investigación de procesos de manufactura de plástico en la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UIS.
- El presente proyecto contribuye al crecimiento y posicionamiento del Lab FMS como un importante centro de investigación al interior de la Universidad y de servicios para la industria local, regional y nacional.
- Se logró cumplir satisfactoriamente con los requisitos de diseño propuestos al inicio del trabajo de grado.
- A partir de las pruebas CAE realizadas a los elementos diseñados en el CAD, se puede asegurar que éstos cumplen con las condiciones de trabajo específicas para el rango propuesto.
- Al igual que el análisis de sus partes, el análisis del conjunto, es decir, la máquina propiamente dicha, da como resultado que ésta muestra un desempeño más que adecuado y un ciclo de vida óptimo.
- Se diseñó un sistema hidráulico sencillo y eficaz, capaz de realizar los ciclos presentes en el funcionamiento de la máquina de una manera segura y económica. Se seleccionaron sus partes y elementos componentes.
- Se pudo comprobar que las ayudas informáticas (CAD y CAE en este caso) facilitan la labor del diseñador y acortan los tiempos de trabajo.

## RECOMENDACIONES

- Se invita a la Escuela y a todos sus estudiantes a continuar con la labor formadora de ésta, por medio de proyectos que ayuden a mejorar la situación social, laboral, intelectual, cultural y económica de la región, ya que ésta es la razón de ser de la Universidad y por tanto, de la Escuela de Ingeniería Mecánica.
- Dado el primer paso en la investigación de los procesos de manufactura del plástico, se recomienda continuar con esta tarea, ya que de esta forma se reforzarán los conocimientos de los futuros ingenieros de la Escuela, quienes colaborarán al buen nombre y prestigio de la misma.
- La parte del trabajo aquí contenida no es más que el principio de un proyecto ambicioso, que debe ser completado y mejorado. A partir del diseño aquí presentado, se recomienda su finalización mediante la inclusión y el diseño del sistema automático y electrónico de la máquina.
- Como todo diseño mecánico, el presentado en este trabajo es susceptible a ser mejorado, por lo que se recomienda su posterior revisión y mejora en cualquiera de los aspectos que lo comprenden (mecánico, térmico, hidráulico, etc.)
- Después de completado el proyecto global (Diseño de la Máquina y del Automatismo), se recomienda su culminación mediante la fabricación y puesta en funcionamiento de la máquina.
- Para los elementos seleccionados, se sugiere que se soliciten los recomendados en este trabajo, por llevar tras de sí un proceso cuidadoso de investigación de fuentes y de selección. Éstos se pueden encontrar en los documentos dejados en el Lab FMS.

## BIBLIOGRAFÍA

- ASCAMM, Centre Tecnològic, Transformación de Plásticos por Inyección nivel 1. Centre Tecnològic ASCAMM. 2000.
- BERNHARDT, Ernest, Processing of Thermoplastic Materials, Reinhold Publishing Corporation. 1967.
- BODINI, Gianni y CACCHI, Franco. Moldes y Máquinas de Inyección para la Transformación de Plásticos, Tomos I y II. McGraw Hill. 1993.
- KÜHNE, Günther, Envases y Embalajes de Plástico, Gustavo Gili, S.A. 1976.
- MILLS, Anthony F. Transferencia de Calor, Edt. IRWIN. Madrid 1994.
- MINK, Walter y otros. El Plástico en la Industria, Tratado Práctico, Inyección de Plásticos 2ª Edición, Tomos I y II. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1991.
- PENN, W. S., PVC Technology 3ª Edición, Wiley Interscience, 1967.
- ROJAS Hernán, Diseño de Máquinas II Módulo 1. División Editorial y de Publicaciones UIS. Bucaramanga.
- BATTENFELD, Catálogo CD Plus, Battenfeld Austria.

- VÁSQUEZ, Leonidas. Diseño de Máquinas I, Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga 2005.

## **ANEXOS**

## Anexo A. BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS PLÁSTICOS

Los materiales plásticos o polímeros abarcan hoy en día un amplio sector de la industria manufacturera. El caucho, el algodón y la seda (considerados materiales polímeros) han servido a la humanidad desde tiempos remotos y aún lo hacen. Pero con la aparición de los polímeros sintéticos se abrió una serie de áreas de aplicación mucho más amplia, que comprenden desde el sector industrial, doméstico y médico, hasta la electrónica, pasando por muchos otros. Estos polímeros presentan un conjunto de características que los hacen más atractivos, en algunas aplicaciones, que los materiales metálicos o cerámicos; estas características son:

- ◆ **Ligereza:** Las densidades de los materiales plásticos varían entre 0.8 y 2.2 g/cm<sup>3</sup>, estando la mayoría en el rango comprendido entre 0.9 y 1.6 g/cm<sup>3</sup>, con lo que se logran construcciones muy ligeras en industrias como la automotriz y la aeronáutica. Añadiendo agentes espumantes se pueden lograr densidades tan bajas como 0.01 g/cm<sup>3</sup>.
- ◆ **Flexibilidad:** Los módulos de elasticidad de los materiales plásticos llegan a ser hasta 10 o 15 veces inferiores a los de los metales, ofreciendo mayor elasticidad, que, sumada a un buen diseño, pueden ofrecer resistencias mecánicas cercanas a las del acero.
- ◆ **Transformación rápida y económica:** Mientras los metales se transforman a temperaturas entre 800 y 1300° C, el polímero que más alta temperatura necesita se trabajará a 400° C; los más comunes están entre 150 y 300° C. Además los procesos de conformado de plásticos son altamente rápidos, permitiendo grandes volúmenes de producción en cortos tiempos y, en la mayoría de los casos, no se necesita un proceso posterior de acabado o de otro tipo para su utilización final.

- ◆ **Capacidad aislante:** La conductividad térmica es hasta 1000 veces menor que la de los metales, convirtiéndolos en aislantes térmicos excelentes, por lo menos en los rangos inferiores a su temperatura de reblandecimiento. En cuanto a la conductividad eléctrica, el metal menos conductor es 1000 trillones de veces más conductor que cualquier plástico, lo que los convierte en aislantes perfectos, imprescindibles en las instalaciones eléctricas.
- ◆ **Transparencia:** Los plásticos transparentes pueden llegar a ser más transmisores de luz que los cristales minerales corrientes, superándolos también en cuestiones de peso y resistencia a la rotura, aunque son superados en resistencia superficial y resistencia a altas temperaturas.
- ◆ **Estabilidad química:** Los plásticos tienen poca tendencia a la corrosión. Además son resistentes a los ácidos y las bases minerales. Pueden disolverse en determinados disolventes orgánicos, lo que en algunas ocasiones puede convertirse en una ventaja, por ejemplo al usarse como ligantes para pinturas.
- ◆ **Reciclabilidad:** Una vez terminada su vida útil, los artículos de plástico se pueden reciclar de muchas maneras. Aún industrialmente, en procesos como la inyección, el material sobrante de la producción puede ser triturado y añadido al material virgen, suponiendo un mayor aprovechamiento de la materia prima.
- ◆ **Ingeniería ambiental:** Las fábricas de materiales plásticos se encuentran entre las menos contaminantes, y en su transformación se utilizan menos cantidades de agua y energía que en otros procesos.

## Anexo B. INYECCIÓN DE PLÁSTICOS

Existen varios procesos para la manufactura de plásticos como pueden ser la extrusión (tubos y perfiles), el calandrado (bolsas), perfilado (perfiles y láminas). En los materiales termoplásticos el proceso más utilizado es el moldeo por inyección, que data de la década de 1920, siendo el más antiguo de los procesos que se utilizan en la actualidad para el conformado de plásticos.

### PROCEDIMIENTO DE INYECCIÓN

- ◆ **Fundamentos del proceso:** El procedimiento de inyección se basa en la plastificación, a través de un cilindro caliente, de una masa de moldeo consistente en polvo o granulado, que al derretirse se inyecta a continuación por medio de un elemento opresor (pistón o husillo de movimiento axial) a través de una boquilla, a un molde cerrado, en donde se enfría rápidamente para ser desmoldada. Para los termoplastos la temperatura del cilindro caliente debe estar por encima de la de reblandecimiento del material para lograr una completa fluidez. Para los duroplastos esta temperatura no debe alcanzar la del endurecimiento, debido a reacciones químicas que alterarían sus propiedades. En los moldes para termoplastos la temperatura “fría” (entre 100°C y 140°C), debe ser menor que la de endurecimiento, contrario a los moldes para duroplastos, en los que la temperatura debe estar por encima de la de la masa que entra para evitar que la reacción irreversible de endurecimiento ocurra antes de entrar completamente en el molde.
- ◆ **El ciclo de inyección:** Debido a su relativamente reciente aparición como proceso de manufactura, a las complejas matemáticas que rigen la transferencia de calor y el flujo del material en el proceso y la delicada interrelación entre las diferentes variables que lo componen, el moldeo por inyección se ha desarrollado de manera empírica; se ha recopilado una

serie de datos para cada tipo y volumen de material que los fabricantes y usuarios comparten de manera abierta entre sí para ayudar en el desarrollo de la técnica del moldeo por inyección. Esta información es publicada en reportes técnicos, manuales, revistas, libros y más recientemente en Internet, lo que ha permitido una modelación bastante aproximada del proceso. Es así que ahora las diferentes variables se monitorean y controlan mediante PLC's, tarjetas electrónicas y otros sistemas de control.

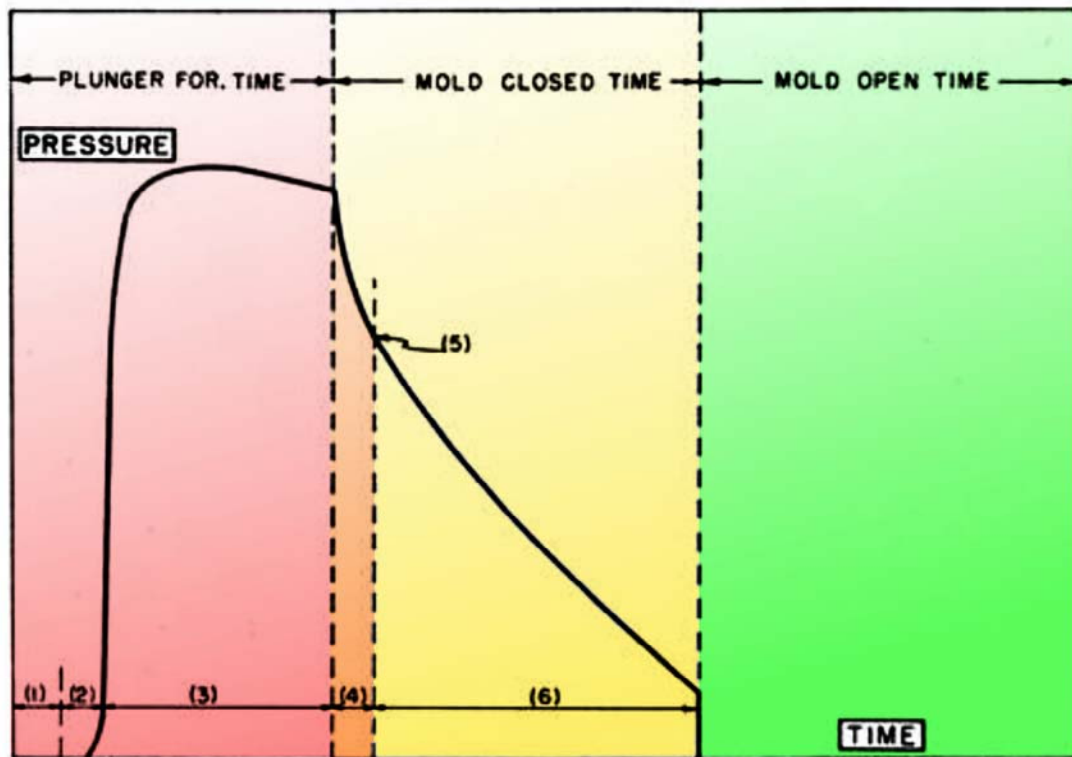
Un moldeo de calidad es aquel que está libre de torceduras, hundimientos, burbujas, rebabas, grietas, etc. Esto se logra si se inyecta la cantidad apropiada de plástico a la presión y temperatura adecuadas, definiendo de esta forma los dos ciclos de los que se compone el ciclo de inyección: Un ciclo de temperatura y otro de presiones, que se dan simultáneamente.

◆ **El ciclo de temperatura** del plástico se desarrolla de la siguiente manera: el plástico que está frente al pistón o entre el husillo de inyección y el cilindro que lo contiene, está a temperatura ambiente; al avanzar el pistón o el husillo, según sea el caso, empuja el plástico a la zona de calentamiento, que está llena de plástico a alta temperatura de “tiros” anteriores. La temperatura del plástico aumenta súbitamente, pero después su tasa de cambio baja al avanzar en el cilindro. A la salida, en la boquilla, la temperatura es muy similar a la de la pared interior del cilindro, pero no se conserva debido al poco tiempo que permanece el plástico allí. Al entrar al molde, inmediatamente empieza una etapa de enfriamiento, aún mientras se llena la cavidad. El enfriamiento continúa hasta que el plástico se solidifica de manera que pueda ser eyectado sin que se deforme. Al salir, se enfría hasta la temperatura ambiente completando el ciclo.

◆ **El ciclo de presión** se describe en la figura 36, en la que se grafica la presión del plástico contra el tiempo. El tiempo muerto (1) es el tiempo antes de que el plástico se someta a la acción del pistón para entrar al molde. En el periodo (2), el plástico está llenando la cavidad, que al llenarse, provoca

un aumento rápido en la presión, produciendo el empackado o “packing” (3). Durante esta etapa el plástico entra al molde a una tasa muy baja. Al enfriarse un poco el plástico se contrae permitiendo la entrada de más plástico. Debido a las diferencias de presión, ocurre una descarga o flujo de reversa. Al enfriarse más, se sella la cavidad (5), lo que no permite la entrada ni la salida del plástico. La presión existente en el molde cae durante el enfriamiento de sellado (6) hasta que se abre el molde, completando el ciclo de presión.

Figura 36. El Ciclo de Presión en el Moldeo

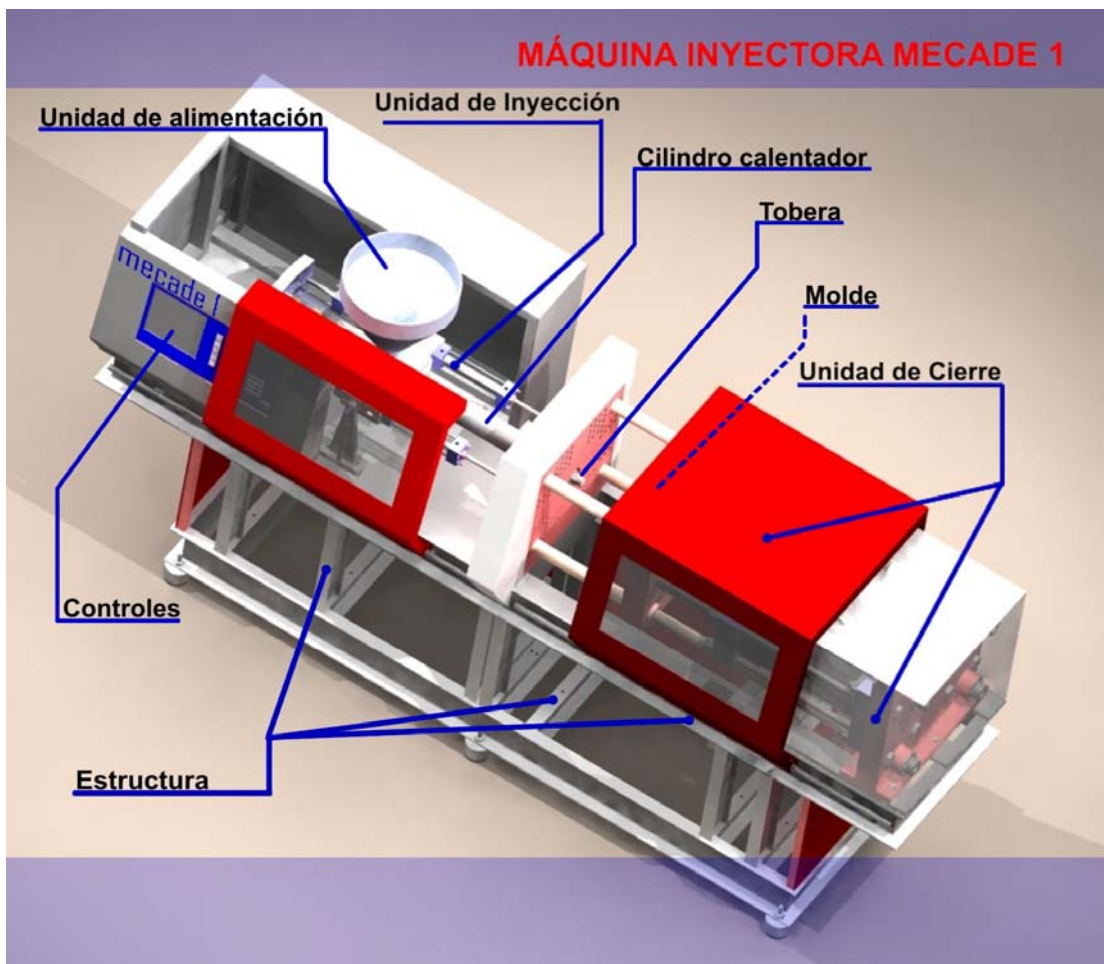


Fuente: Processing of Thermoplastic Materials (Editada por los autores)

## Anexo C. LA MÁQUINA DE INYECCIÓN

En la figura 37 se puede observar la configuración más común de la máquina de inyección y sus partes. La máquina para el proceso de inyección consta de 8 partes o sistemas principales.

Figura 37. Máquina de Inyección



## SISTEMAS DE LA MÁQUINA DE INYECCIÓN

- ◆ **Unidad de alimentación:** Se encuentra conformada por la tolva de alimentación y la primera sección del husillo. Suministra una cantidad constante de material por ciclo.
- ◆ **Pistón o elemento de inyección:** Activado por presión hidráulica, empuja el plástico a través del cilindro calentador y la tobera hacia el molde. En las máquinas modernas (y en nuestro caso) este pistón ha sido reemplazado por un husillo (tornillo), que gira transportando el material haciendo más uniforme el calentamiento, y que se desplaza axialmente para inyectar el material.
- ◆ **Cilindro calentador:** Suaviza uniformemente el plástico y proporciona un pasaje para la inyección de este hacia el molde. Posee unas zonas de calentamiento (de dos a seis zonas), controladas para mantener las temperaturas apropiadas en cada región del cilindro.
- ◆ **Tobera:** Es el pasaje que conecta el cilindro de inyección con el molde. La superficie de contacto entre estos debe ser pequeña para evitar la transferencia de calor excesiva desde el cilindro hacia el molde que debe permanecer “frío” (100° – 140°C).
- ◆ **Molde:** Contiene las cavidades que darán forma a la pieza, llenándose de material. El material entra al molde a través de la tobera y de unos pasajes llamados “sprues”, “gates” y “runners”, hasta la cavidad principal. El material que queda en dichos pasajes se considera como sobrante y en muchos casos se alimenta de nuevo a la tolva.
- ◆ **Unidad de cierre:** Es la “prensa” del proceso, que mantiene el molde cerrado para formar la pieza y evitar escapes de material. Dependiendo de la fuerza de cierre de esta unidad se hace la clasificación de las máquinas inyectoras, desde las más pequeñas de 50kN hasta las más grandes de

40000kN. Para la aplicación de la fuerza, se conocen dos métodos principales:

El primero es el arrastre de forma, (figura 38 A, B y C) en el que se aplica una fuerza hidráulica o electromecánica a un mecanismo de barras, que empujará la parte móvil del molde, produciendo la presión necesaria. Cabe anotar que esta configuración presenta el inconveniente de contar con varias parte móviles, lo que reduce su exactitud y rigidez. En su diseño se debe tratar de incorporar la menor cantidad de barras al mecanismo. Adicionalmente, por la existencia de elementos móviles en contacto, se hace necesario un sistema de lubricación efectivo para evitar el recalentamiento y desgaste excesivo. La ventaja radica en que, dependiendo del diseño, la fuerza a aplicar se reduce notablemente.

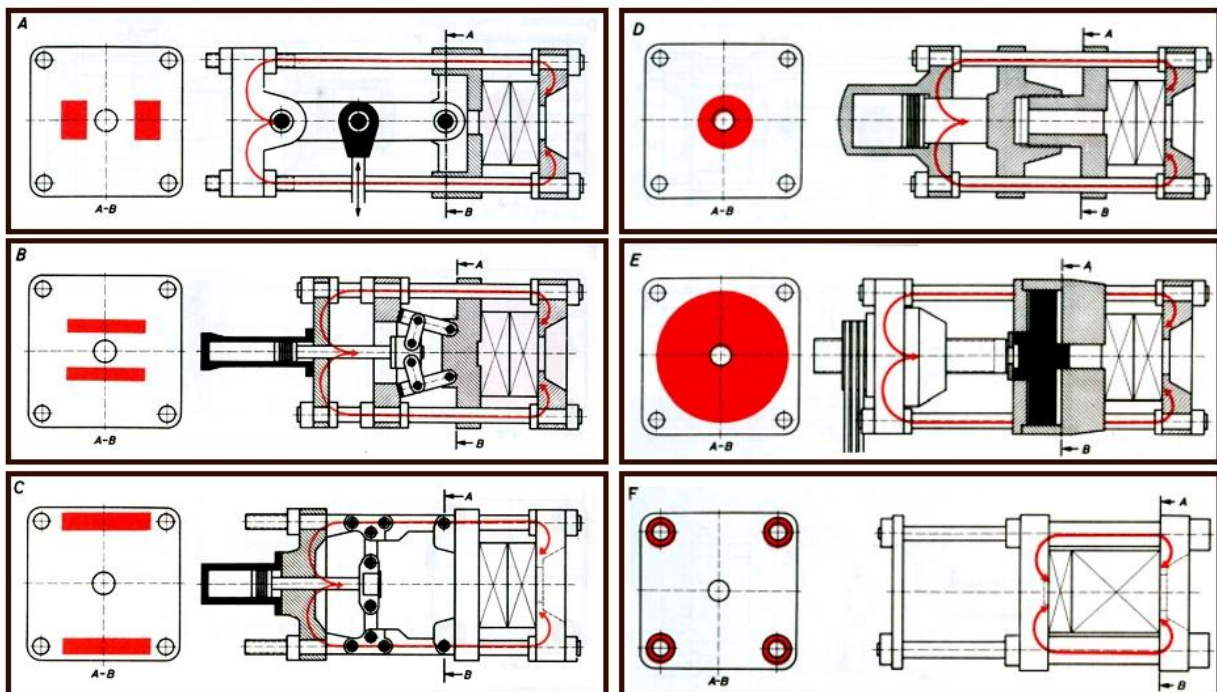
En el arrastre de fuerza (figura 38 D, E y F), la fuerza de uno o varios cilindros hidráulicos se aplica directamente a la parte posterior del portamoldes, reduciendo el número de piezas móviles a uno, evitando de esta forma las inexactitudes de un mecanismo de barras. De esta forma, el bloqueo es más rígido. La principal desventaja radica en que la fuerza se tiene que aplicar directamente, por lo que se debe contar con un cilindro capaz de generarla, o varios cilindros pequeños.

Existe un tercer método que es la combinación de los métodos anteriores, con todas sus ventajas y desventajas.

- ◆ **Sistema hidráulico:** Provee la fuerza para mover el motor del husillo, y empujarlo, así como a la unidad de cierre. Consiste de bombas, motores, líneas de alta presión, válvulas y temporizadores.
- ◆ **Controles:** Se monitorean nueve variables principales y de ahí en adelante las que se quieran añadir. Estas son: 1) Cantidad de plástico introducido en el cilindro, 2) La presión aplicada al husillo, 3) La velocidad del husillo, 4) La(s) temperatura(s) del cilindro calentador, 5) La temperatura

del molde, 6) El tiempo de vuelta del husillo, 7) El tiempo de cerrado del molde, 8) La fuerza de cierre, 9) El tiempo de apertura del molde o de enfriamiento de la pieza. Los controles de estas variables pueden ser electrónicos, eléctricos, mecánicos o hidráulicos, dependiendo del diseño del fabricante. En las máquinas modernas, estos se miden por medio de sensores y se controlan con PLC's o tarjetas programadas y programables, ofreciendo varias configuraciones de ciclos dependiendo del material y los volúmenes de producción.

Figura 38. Unidades de Cierre



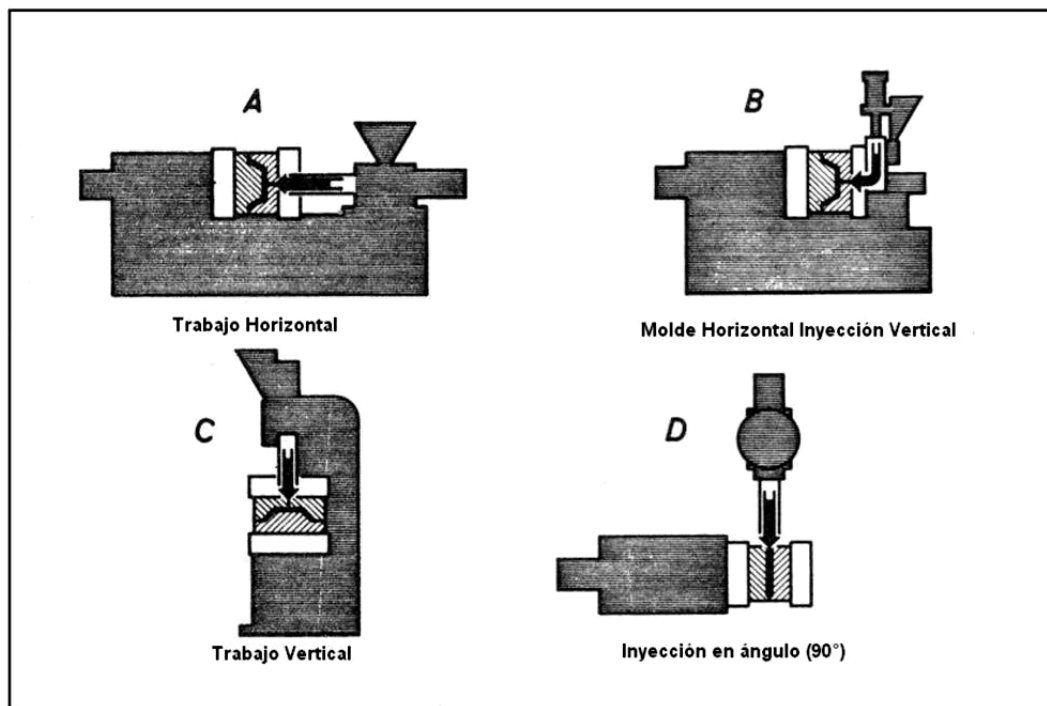
Fuente: El Plástico en la Industria

**CLASIFICACIÓN DE MÁQUINAS INYECTORAS:** Las máquinas inyectoras se clasifican de acuerdo a varios criterios:

- ◆ **Geometría:** Como se puede ver en la figura 39, se fabrican máquinas en diferentes disposiciones, como la de trabajo horizontal, que es la más

ampliamente utilizada; existen configuraciones de husillo vertical y unidad de cierre horizontal, de trabajo completamente vertical, necesario para trabajos en los que haya que insertar elementos metálicos o similares (por ejemplo destornilladores y otros tipos de herramientas) de uso no muy común. Las disposiciones en ángulo, aún menos comunes que las anteriores, se utilizan para resolver determinadas finalidades de producción.

Figura 39. Clases de inyectoras según la geometría.

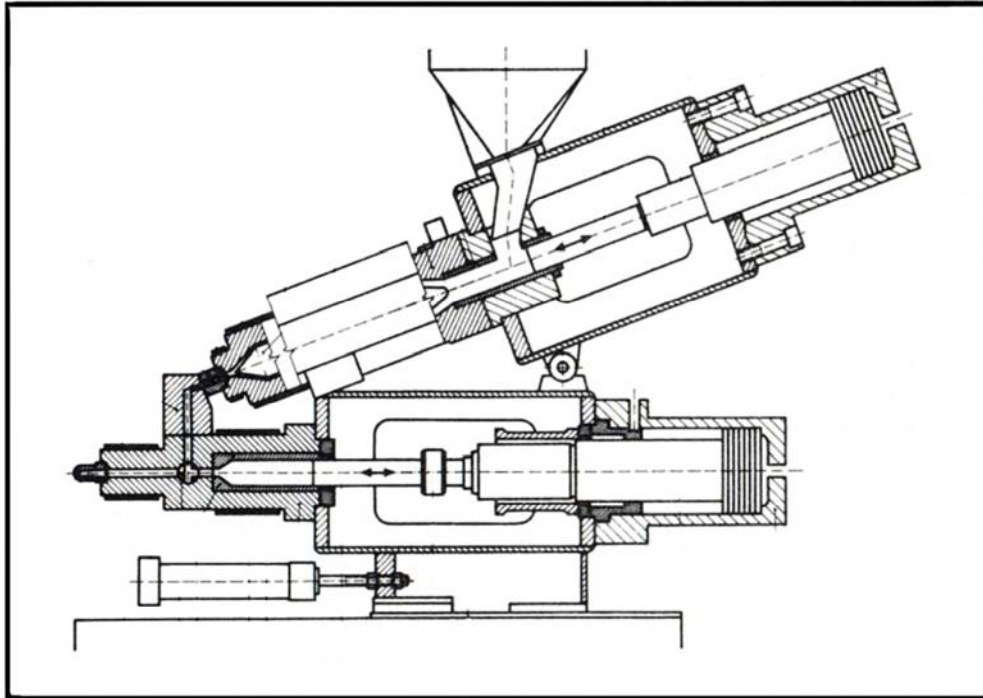


Fuente: El Plástico en la Industria

- ◆ **Tipo de elemento de inyección:** Según el tipo de elemento de inyección se clasifican en Plastificación por émbolo, que fueron las primeras en aparecer, Plastificación por husillo, en la que el material derretido se inyecta por medio de un tornillo o husillo que gira y Plastificación por émbolo-husillo, la más reciente y difundida (además el tipo que se eligió para este proyecto), en la que el material es inyectado por un husillo que gira y al

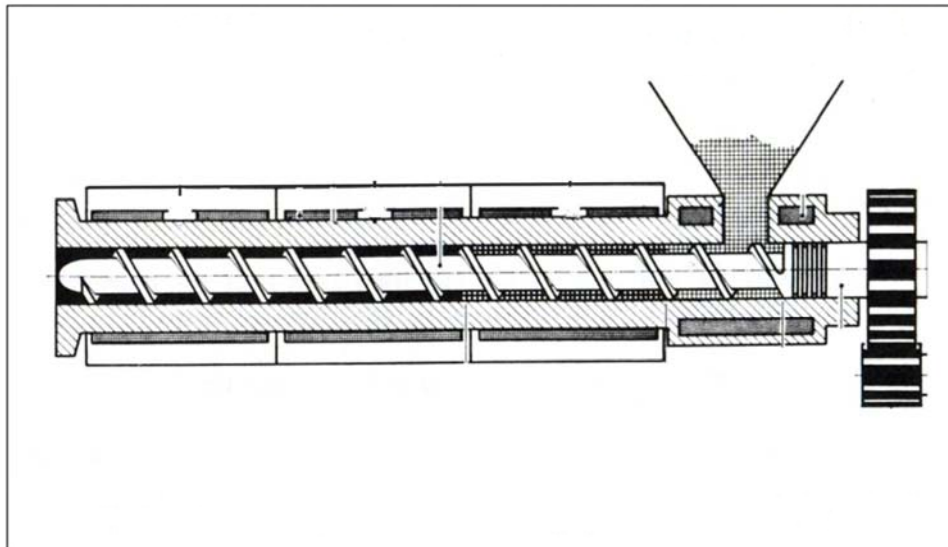
mismo tiempo se desplaza axialmente por medio de un émbolo. Éstas se pueden observar en las figuras 40, 41 y 42.

Figura 40. Plastificación por émbolo



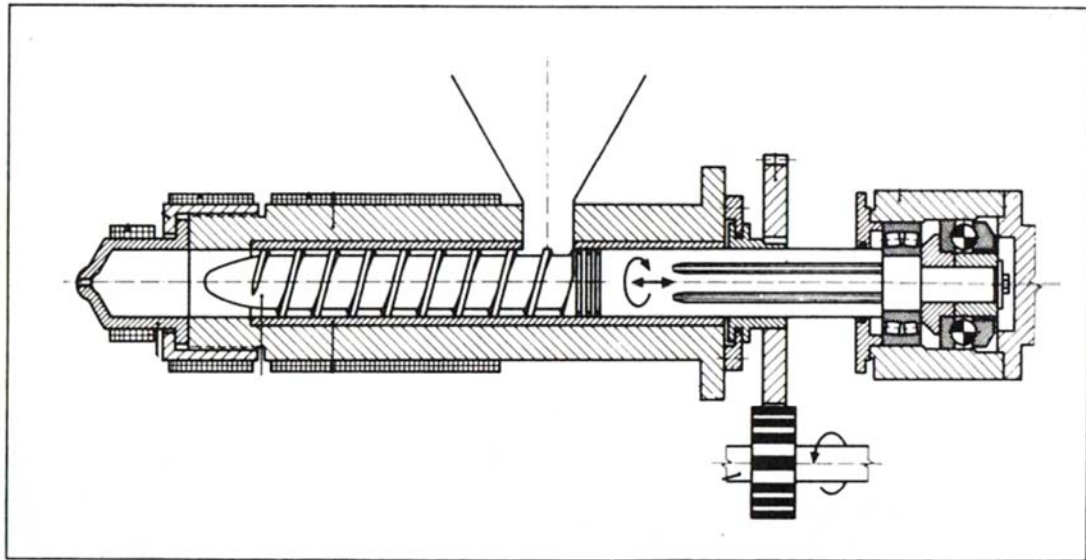
Fuente: El Plástico en la Industria

Figura 41. Plastificación por husillo



Fuente: El Plástico en la Industria

Figura 42. Plastificación por husillo-émbolo



Fuente: El Plástico en la Industria

- ◆ **Fuerza de cierre y unidad inyectora:** Esta es la clasificación comercial para la denominación de inyectoras. Define la capacidad de la máquina, dividiendo la clasificación en cuatro rangos principales. Baja capacidad, con unidades de cierre desde 100 kN hasta 800 kN, y unidades inyectoras desde 15 hasta 350 de denominación Euromap. El rango medio, de mayor uso, comprende las máquinas con fuerzas de cierre entre 800 kN y 1500 kN y unidades de inyección desde 350 hasta 1000. De ahí en adelante se sitúan las inyectoras de plástico de rango alto hasta 4500, siendo extra-grandes las máquinas con fuerzas de cierre mayores a ésta, usadas sólo en casos muy especiales.

Tabla 12. Combinaciones de unidades de cierre y de inyección para máquinas inyectoras de plástico.

Clamp unit kN	Injection unit										
	60	130	210	350	525	750	1000	1330	1900	2800	4500
250	•	•									
400	•	•	•								
600		•	•	•							
800		•	•	•	•						
1000			•	•	•	•					
1300				•	•	•	•				
1600				•	•	•	•				
2100							•	•			
2700								•	•	•	
3500								•	•	•	
4500									•	•	•

Fuente: Catálogos Virtuales Battenfeld (Alemania)

## Anexo D. MATERIAS PRIMAS

Con el moldeo por inyección se pueden manufacturar una gran cantidad de los plásticos existentes actualmente. El poliestireno normal, antichoque y polietileno (LD-PE como también HD-PE) se encuentran en primer lugar; siguen el polipropileno, acetato de celulosa, ABS y algunos otros termoplastos. El PVC rígido es muy poco utilizado y el PVC blando, al igual que en el moldeo por soplado, casi nunca se utiliza. Los duroplastos constituyen un grupo aparte además de los elastómeros, utilizados actualmente.

### TERMOPLASTOS

◆ **Poliestireno normal:** El poliestireno normal es el más antiguo de los termoplastos totalmente sintéticos y se elabora por inyección desde hace unos 90 años. Se caracteriza por una elevada rigidez, muy buena transparencia, facilidad de elaboración, baja densidad (1,05 g/cm<sup>3</sup>) y bajo precio. Como desventajas están su fragilidad, la tendencia a formación de grietas capilares por influencias de muchas sustancias, entre ellas grasas, ácidos de fruta y aceites etéricos, y a veces también sus valores de hermeticidad al gas y vapor de agua no demasiado buenos. El poliestireno normal es sobre todo un material de inyección; los otros procesos de fabricación, por ejemplo soplado y termo-conformación, así como el ancho campo de la elaboración con películas, no tienen un papel importante para el poliestireno normal.

◆ **Copolímeros de estireno:** Mediante copolimerización de estireno con otros monómeros se consigue eliminar de un modo total o parcial las relativas desventajas antes citadas del poliestireno normal. Existen

numerosas posibilidades, de las que citaremos a continuación las más importantes:

- a.** Por modificación con algún porcentaje de caucho butadieno se origina el llamado *poliestireno anti-choque*, cuyos diversos tipos representan una fragilidad media o baja, es decir una resistencia al choque media o elevada. Los valores de permeabilidad para gases, vapor de agua y aromas son de la misma magnitud que los del poliestireno normal; la resistencia a grasas y aceites es limitada por el hinchamiento del contenido en caucho. Sobre todo, el poliestireno anti-choque no es transparente, sino que tiene casi siempre una coloración blanquecina más o menos marcada. Esto excluye su aplicación en productos transparentes; sin embargo no tiene importancia cuando estos han de ser blancos o de coloración opaca. El poliestireno normal y el anti-choque son compatibles entre sí y se elaboran muchas veces en mezcla; de este modo puede obtenerse cualquier etapa intermedia en resistencia al choque y transparencia. El poliestireno anti-choque se elabora tanto por inyección como por termo-conformado y en concreto, para los vasos, ambos procedimientos se encuentran en fuerte y continua competencia para la elaboración de este material.
  
- b.** La copolimerización de estireno con acrílico-nitrilo proporciona los llamados tipos *SAN*, que presentan igual rigidez y transparencia que el poliestireno normal, pero son algo más tenaces y sobre todo tienden a formar grietas capilares en contacto con ácidos de fruta, grasas, etc. También éste es un material propiamente de inyección, que se emplea sobre todo para artículos domésticos y piezas técnicas y también en contadas ocasiones para piezas que hayan de soportar elevados esfuerzos.

- c. Mediante los tres componentes acrílico-nitrilo, butadieno y estireno se originan los plásticos *ABS*, que no son transparentes, pero sí muy resistentes al choque y presentan además una buena estabilidad al aceite y grasa.
  
  - d. Si en el *ABS* se sustituye el acrílico-nitrilo por metilmetacrilato se originan los tipos *MBS*, que, aunque no alcanzan la resistencia al choque del *ABS*, son transparentes. Su aplicación para embalajes es todavía reducida, prescindiendo de la adición al *PVC* rígido como modificación para proporcionarle resistencia al choque, pero que apenas se utiliza en masas para inyección.
  
  - e. Si en el *ABS* se sustituye el componente butadieno por éster tenaz del ácido acrílico, se obtienen los tipos *ASA*, que son resistentes al choque, no transparentes, pero que, contrariamente al poliestireno anti-choque y al *ABS*, son muy resistentes a la luz y a la intemperie. Tanto el poliestireno normal como todas las modificaciones citadas se suministran en gran cantidad y diversidad de tipos, que se distinguen entre sí por su capacidad de elaboración (fluidez para inyección), resistencia al choque, resistencia a la temperatura, etc. En todos los casos se ha conseguido mantener tan reducido el contenido en monómeros, en particular de estireno, que pueden cumplirse por completo las exigencias de las disposiciones legales para plásticos, como embalajes de alimentos, disposiciones que varían en cada país.
- 
- ◆ **Polietileno:** Todos los tipos de polietileno, es decir, tanto el polietileno de alta presión (*LD-PE*) como el de baja presión o polietileno lineal (*HD-PE*) son materiales de inyección de gran importancia. La principal significación

del LD-PE en el sector del embalaje se encuentra en las películas, pero no debemos dejar de lado su empleo en inyección. Las principales ventajas del polietileno son su fácil elaborabilidad, baja densidad (LD-PE 0,916 a 0,935 g/cm<sup>3</sup>, HD-PE 0,94 a 0,96 g/cm<sup>3</sup>), excelente hermeticidad, frente a vapor de agua, muy buena resistencia al frío, elevada resistencia al choque, gran selección de tipos con valores de rigidez que pueden ajustarse a voluntad, desde el LD-PE muy blando hasta el rígido HD-PE de densidad 0,96 g/cm<sup>3</sup>, por medio de mezclas en el campo intermedio. La principal desventaja es la permeabilidad a gases, aromas y similares presente en todas las poliolefinas, que desciende al aumentar la densidad, pero que resulta todavía considerable en el HD-PE. El polietileno se elabora por inyección para convertirlo en latas, bandejas, vasos y embalajes similares. Otro amplio sector es el de embalajes para transporte (cubas de transporte, cajones para botellas y similares), en los que apenas se recurre a otro material que polietileno, particularmente HD-PE. Los suministradores de polietileno ofrecen gran cantidad de tipos, que se distinguen por su densidad, peso molecular, distribución de pesos moleculares (importante para la facilidad de elaboración), etc.

- ◆ **Polipropileno:** El polipropileno puede considerarse perfectamente esterilizable, con un intervalo de reblandecimiento de alrededor de 160°C. Sus propiedades son en gran parte muy similares a las del HD-PE; la rigidez es algo mayor, la transparencia mucho mejor, en especial para espesores pequeños, que permiten un rápido enfriamiento. Una ventaja es el buen brillo superficial, asociado a una dureza superficial muy alta (el PP no puede rayarse con la uña). Por esto se emplea el polipropileno para envases y tapones que precisan cierta rigidez sin ser quebradizos, cuando se exige buena resistencia al calor, pero no se precisa una excelente hermeticidad al gas y aroma. Para los embalajes a almacenar en frío no es apropiado el

polipropileno, dada su fragilidad alrededor del punto de congelación. Si bien pueden obtenerse tipos de polipropileno resistentes al choque en frío por copolimerización, éstos no son ya transparentes y se asemejan todavía más en la mayor parte de las propiedades al H D-PE.

Figura 43. Pellets de polipropileno



Fuente: Fotografía tomada por los autores

- ◆ **PVC:** El PVC blando se elabora bien por inyección, aunque su precio por volumen es superior al del LD-PE, casi igualmente blando. Por otra parte, el contenido en plastificantes líquidos limita su aplicación tanto en contacto con muchas mercancías técnicas como de modo especial en productos alimenticios. El PVC rígido se transforma por inyección, por ejemplo para piezas técnicas, como válvulas para tubos. Estos problemas no se han resuelto todavía por completo para piezas con paredes muy finas (unos 0,5

mm) en el caso de PVC rígido, a diferencia de lo que ocurre con el poliestireno.

## **OTROS TERMOPLASTOS**

Entre las poliolefinas hay que citar el polimetilpenteno, interesante por su combinación de buena rigidez, gran estabilidad de forma al calor y muy buena transparencia, pero que no ha adquirido todavía una gran importancia. Los ésteres celulósicos, sobre todo el acetato de celulosa, reúnen buena transparencia, gran tenacidad y facilidad de transformación. Las resinas acrílicas, por ejemplo el polimetil metacrilato, son perfectamente transparentes y poseen un agradable tacto y brillo superficial. Se utilizan en especial para envases de productos cosméticos de precio elevado. El empleo de otros termoplastos transformables también por inyección, como poliamidas o poli acetales, se limita a casos especiales; como ejemplo típico se citan las válvulas para latas de spray.

## **DUROPLASTOS**

Las masas de moldeo de resina fenólica representaron hace tiempo un papel de cierta importancia para latas, cajas y tapones en el sector del embalaje. Su coloración marrón y la falta de transparencia han dejado para éstos tan sólo el terreno de las caperuzas roscadas normalizadas, imponiéndose en los otros terrenos citados los termoplastos, en especial el poliestireno, respecto a los duroplastos. La posibilidad existente desde hace algunos años de inyectar también duroplastos hace pensar que las resinas fenólicas puedan recuperar una parte de su perdida importancia, al menos para las piezas en las que el aspecto estético carece de importancia. Las resinas de urea y melamina proporcionan masas de moldeo de cualquier tonalidad.

Figura 44. Piezas fabricadas con Duroplastos



Fuente: Catálogo Boy

## ELASTÓMEROS

En los últimos tiempos la inyección de materiales elastómeros ha ganado gran importancia, con la aparición de nuevas unidades de inyección especiales. Se utilizan en la fabricación de sellos, tapas, accesorios para tuberías, etc.

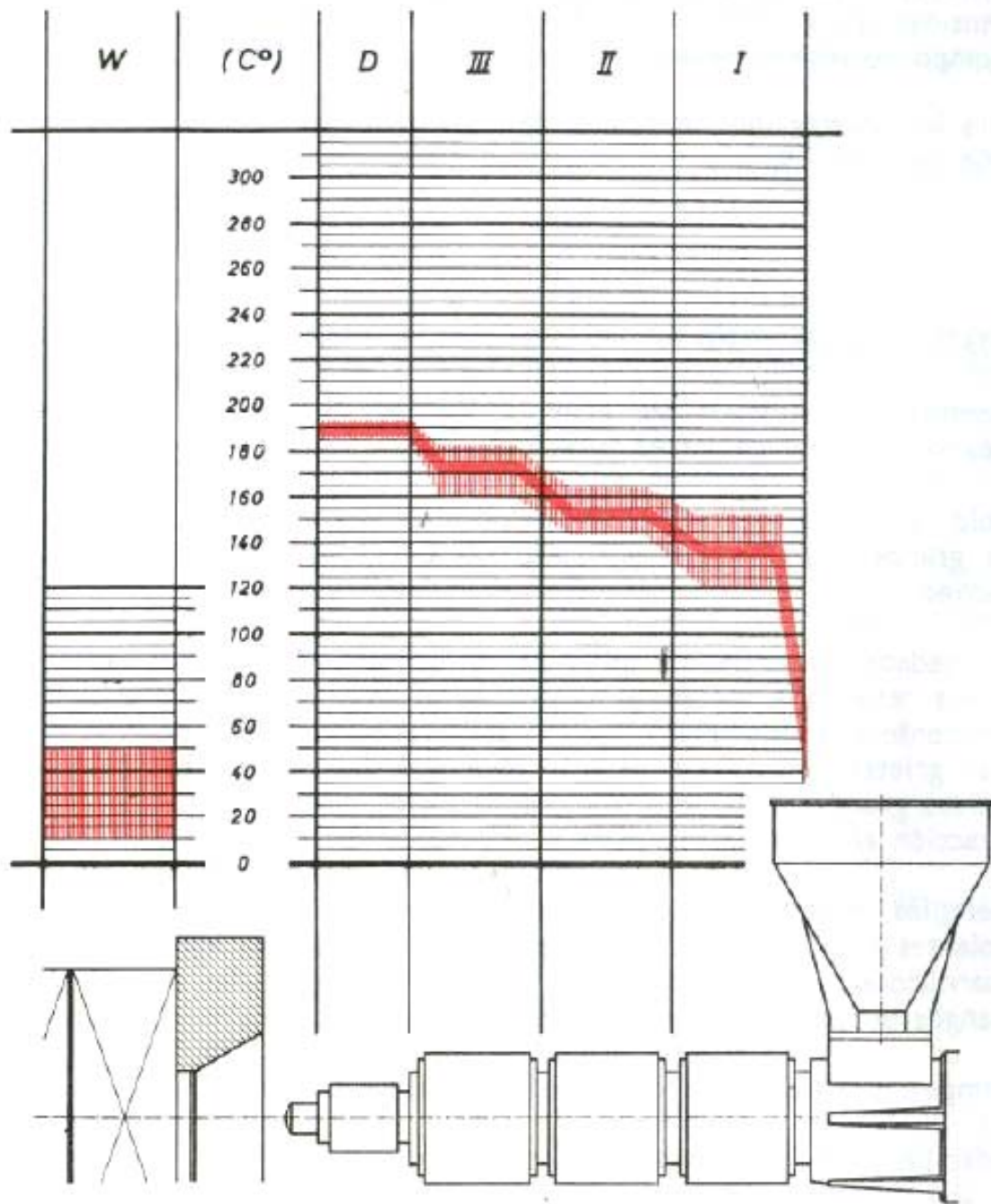
Figura 45. Piezas elaboradas con materiales elastómeros.



Fuente: Catálogo Boy

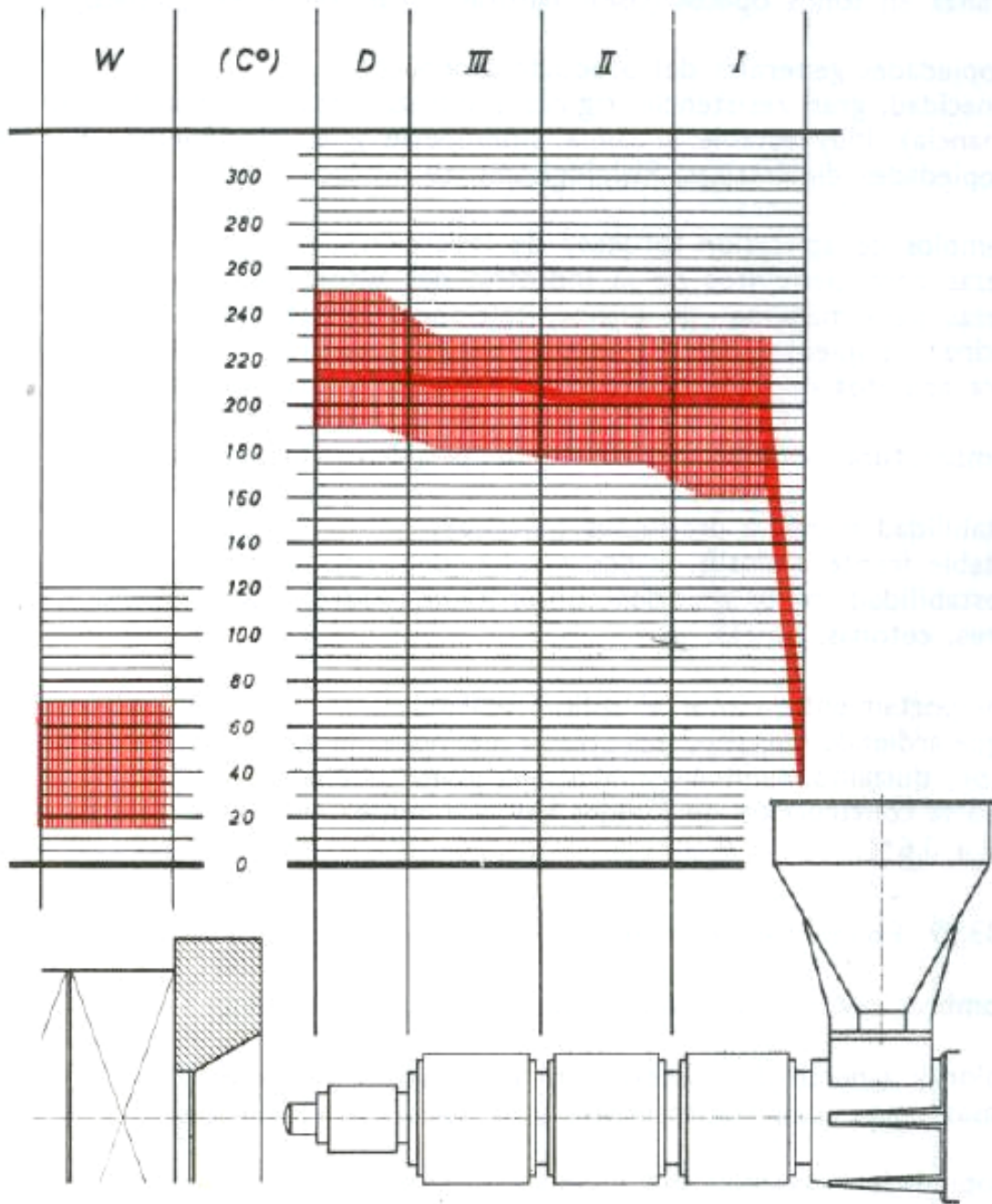
## Anexo E. GRÁFICAS DE TEMPERATURA EN EL HUSILLO PARA MATERIALES DE INYECCIÓN

Figura 46. Acetato de Celulosa



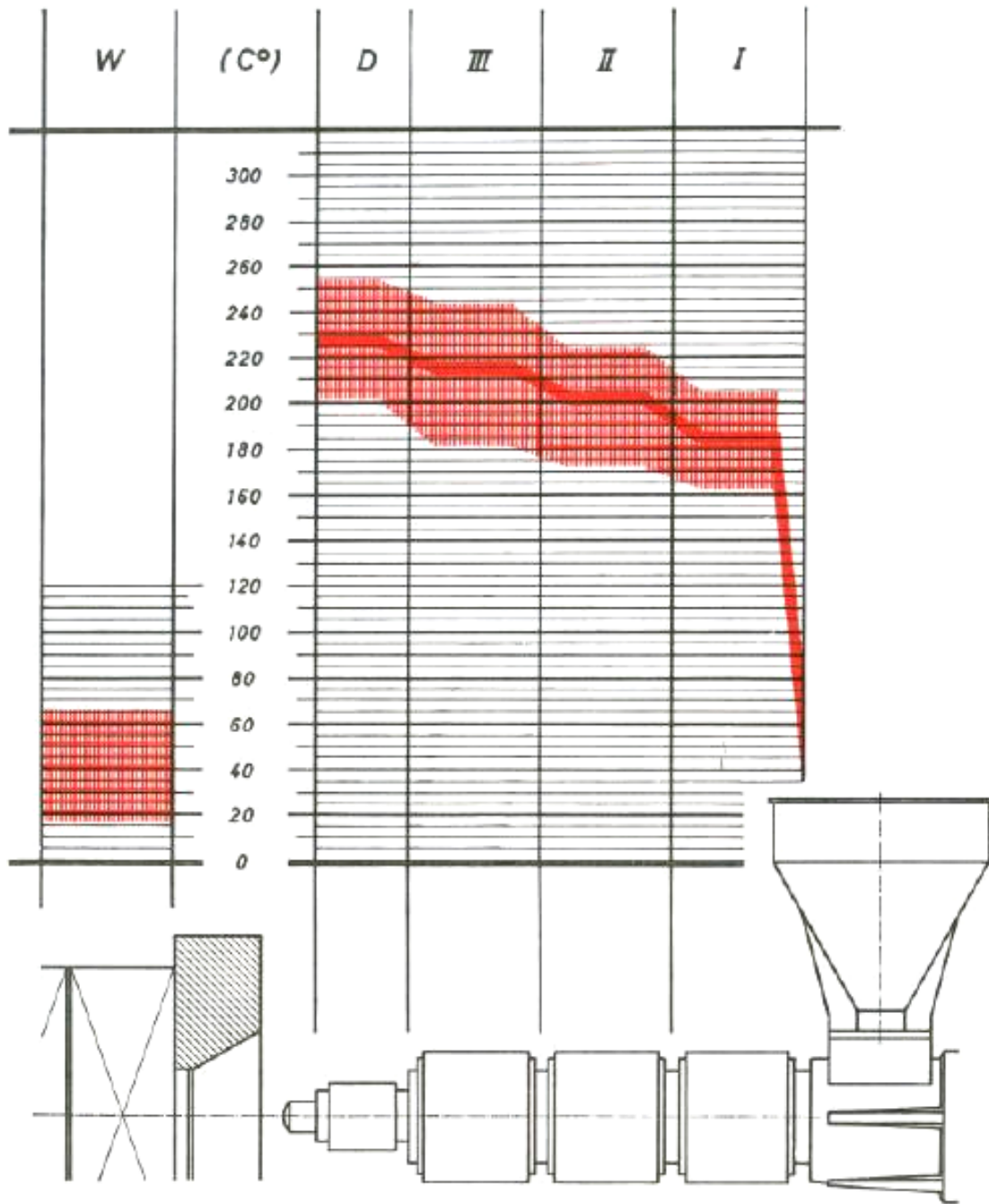
Fuente: El Plástico en la Industria

Figura 47. Acrilonitrilo – Butadieno - Estireno



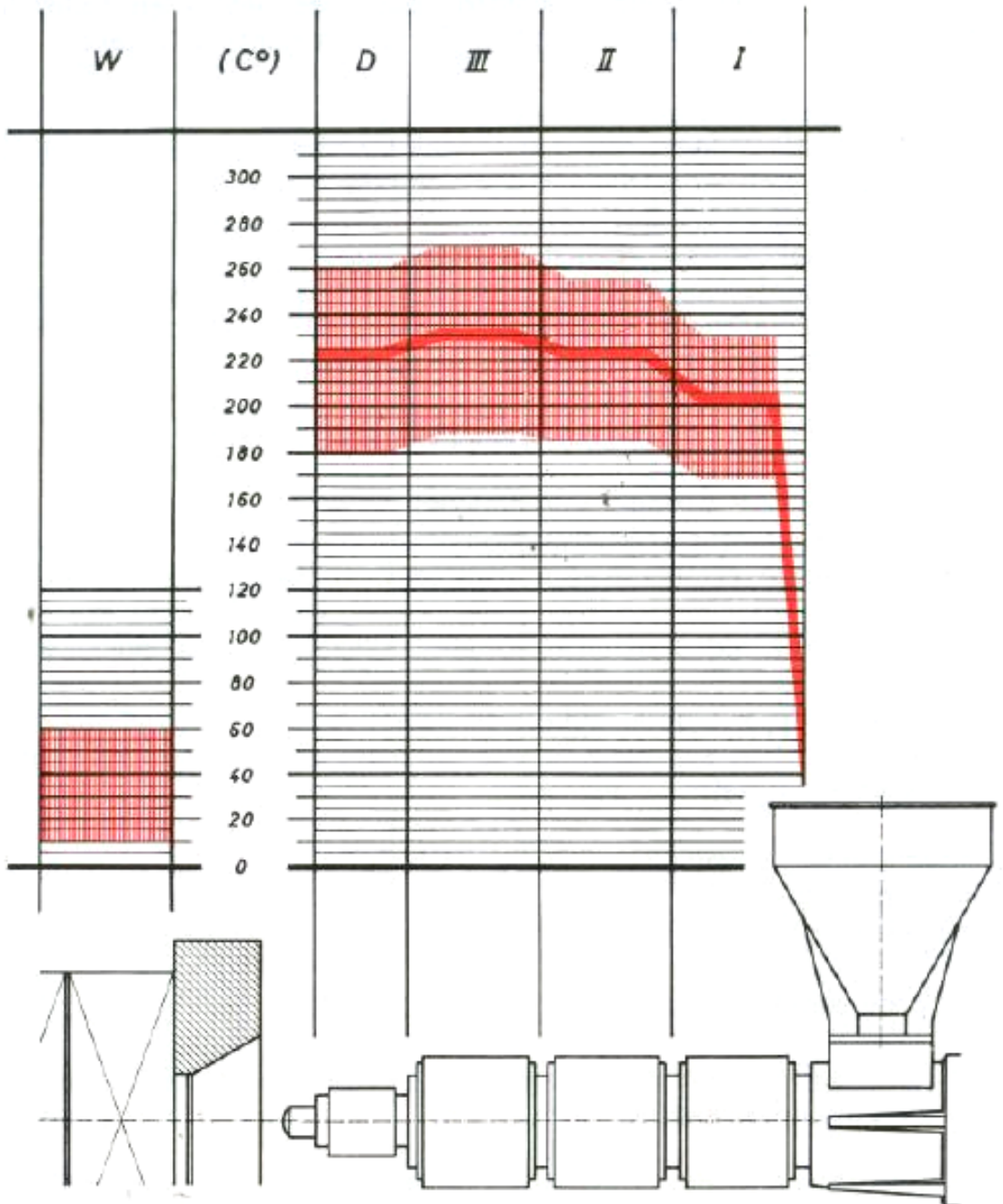
Fuente: El Plástico en la Industria

Figura 48. Copolímero Estireno Acrilonitrilo



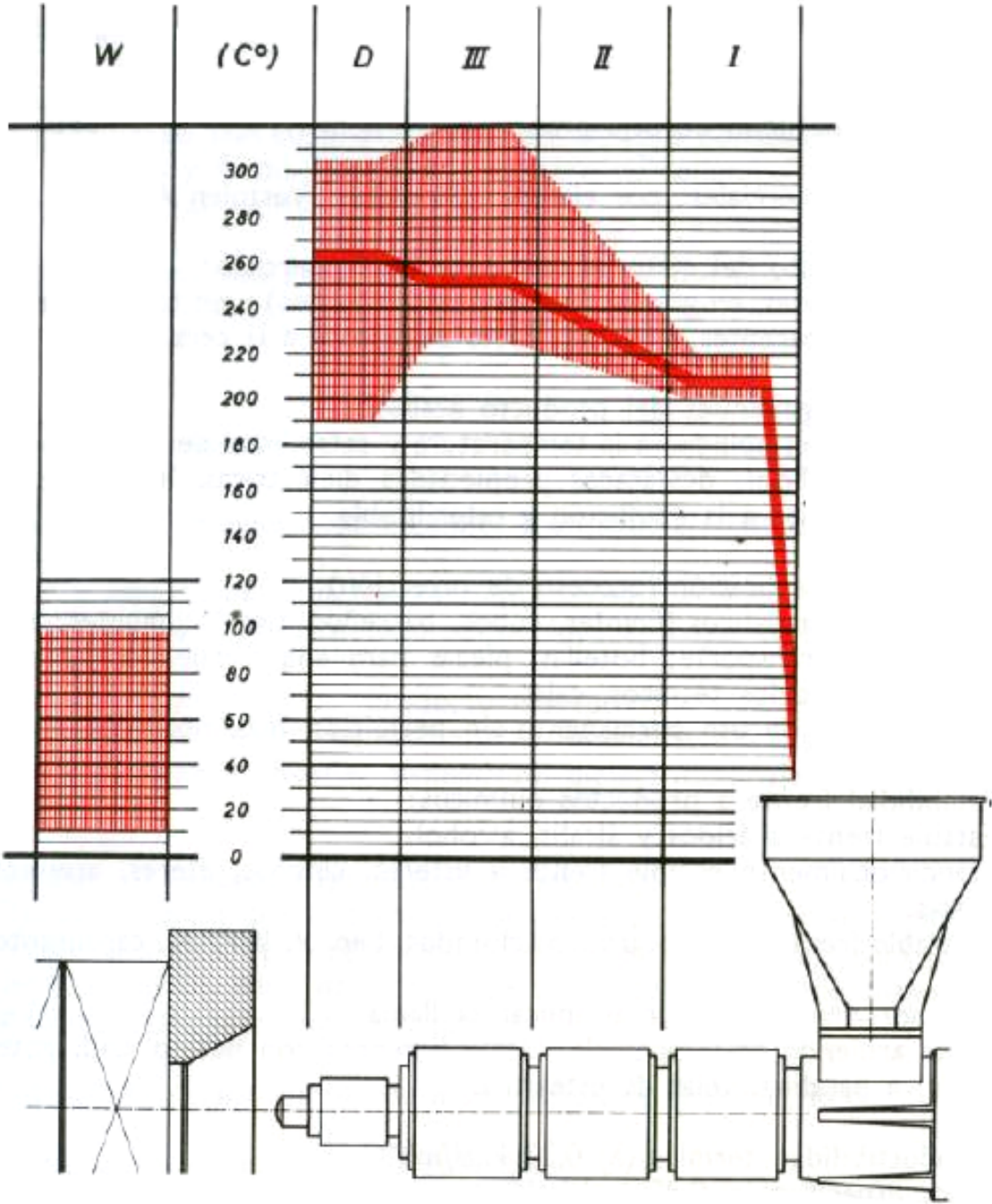
Fuente: El Plástico en la Industria

Figura 49. Polietileno de Alta Presión



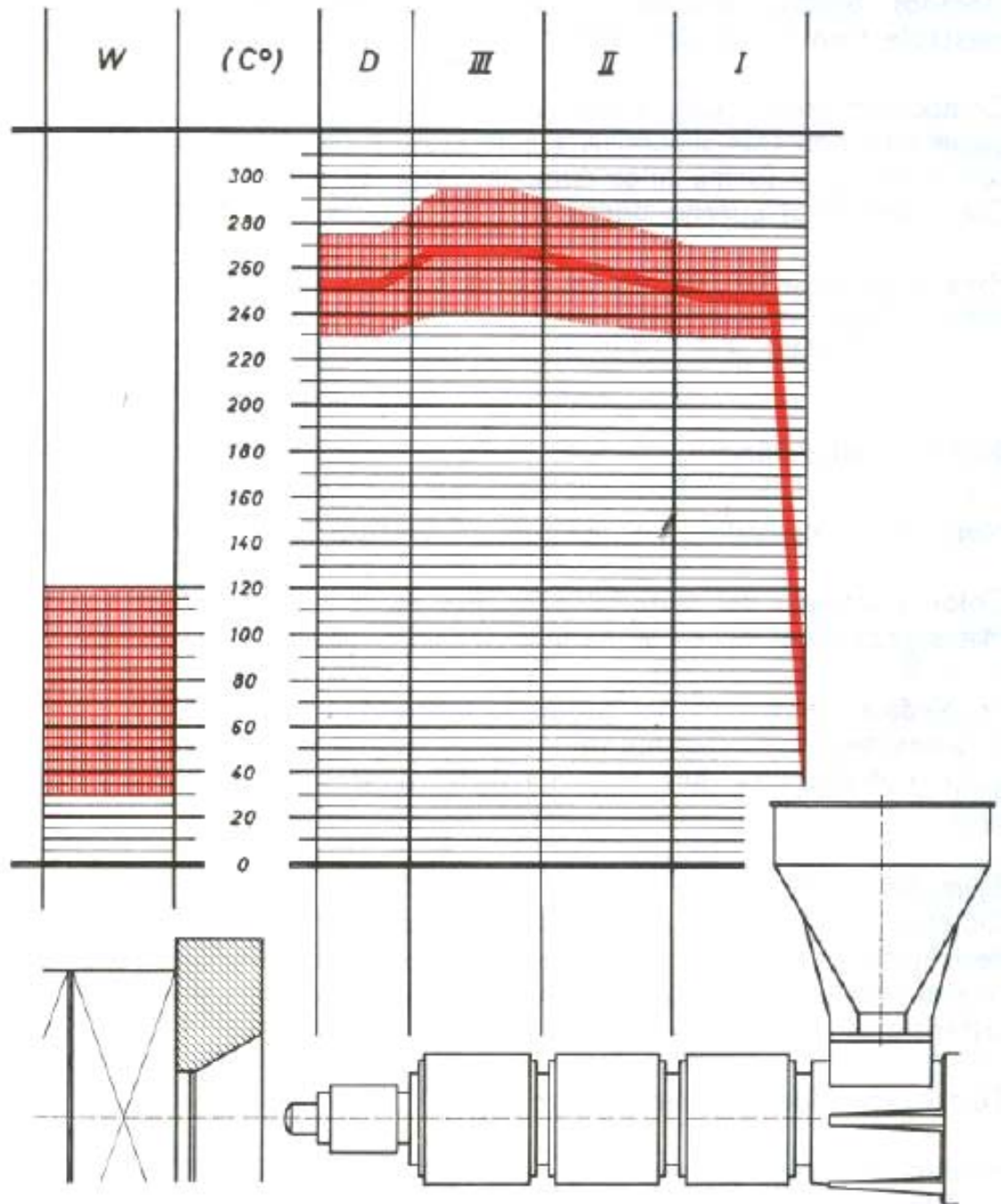
Fuente: El Plástico en la Industria

Figura 50. Polietileno de Baja Presión



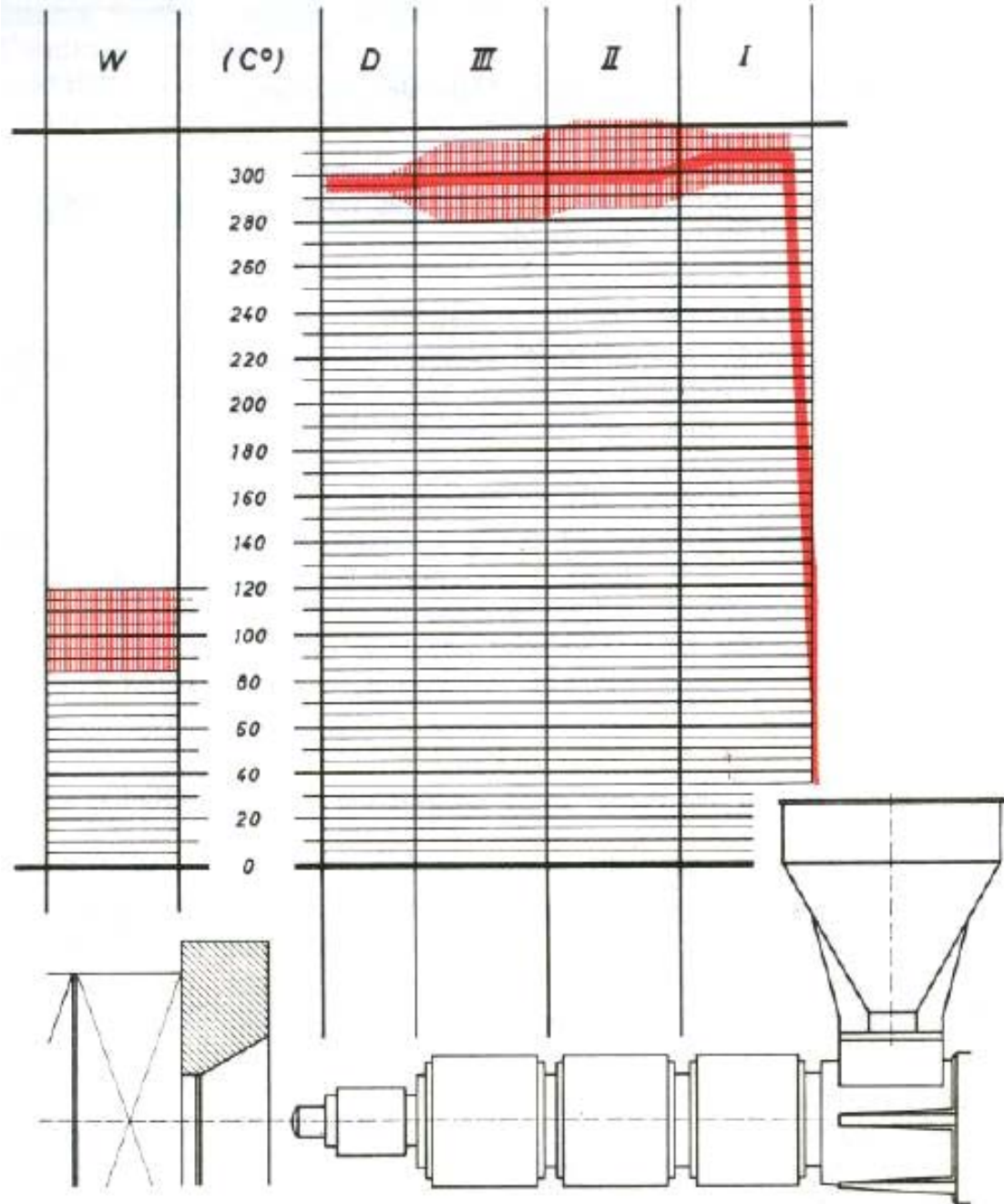
Fuente: El Plástico en la Industria

Figura 51. Poliamida (PA)



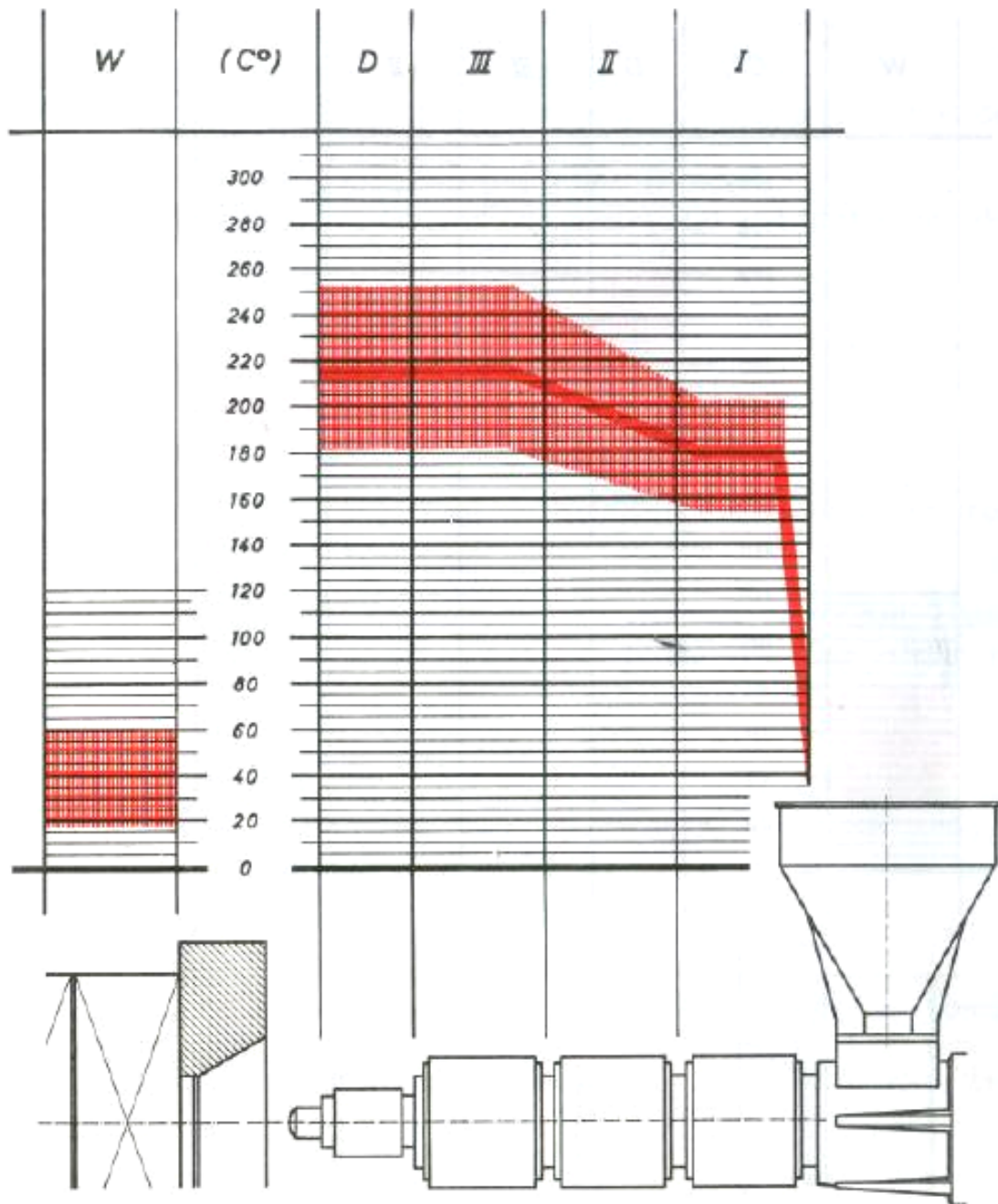
Fuente: El Plástico en la Industria

Figura 52. Policarbonato



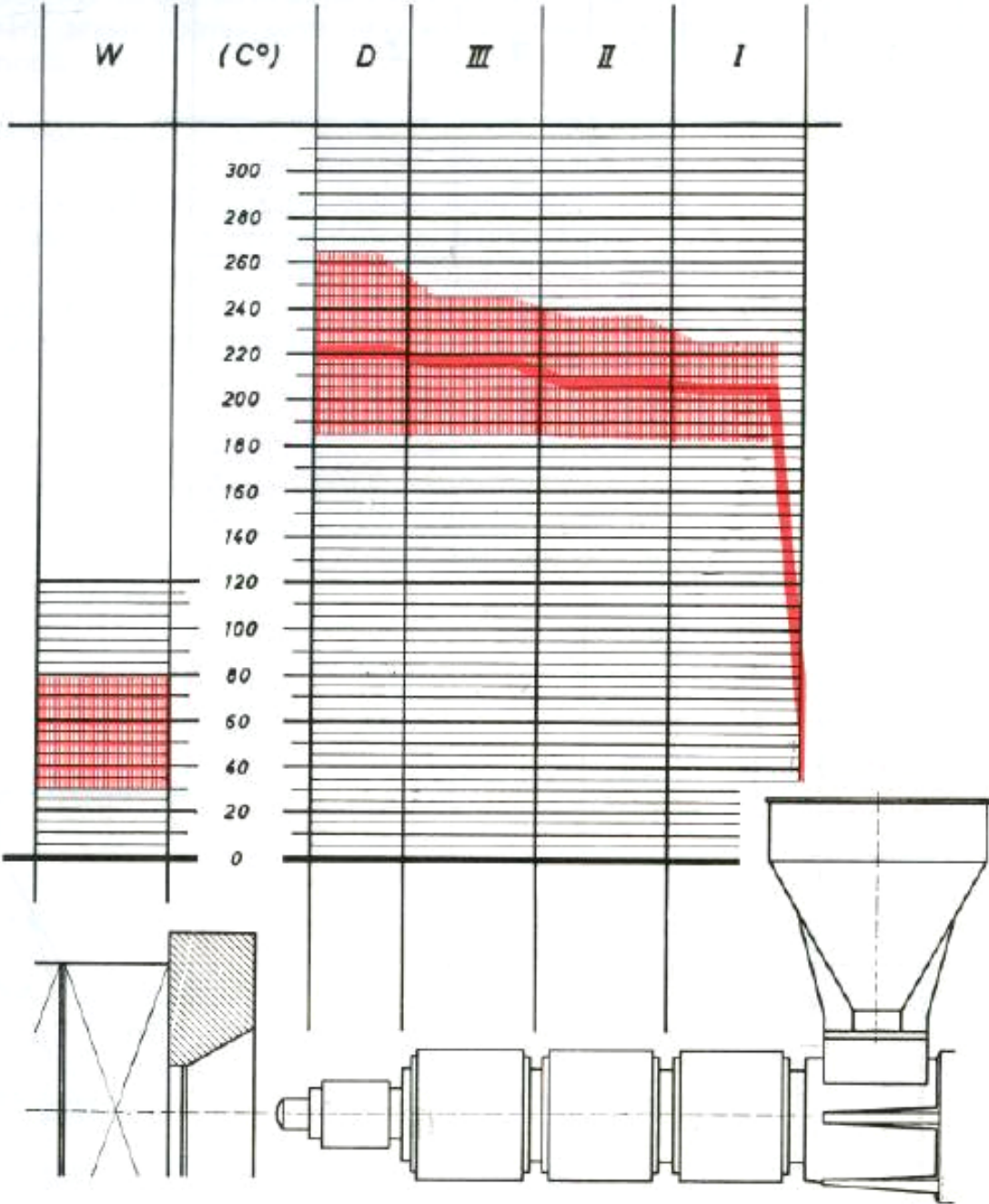
Fuente: El Plástico en la Industria

Figura 53. Poliestireno Anticalórico



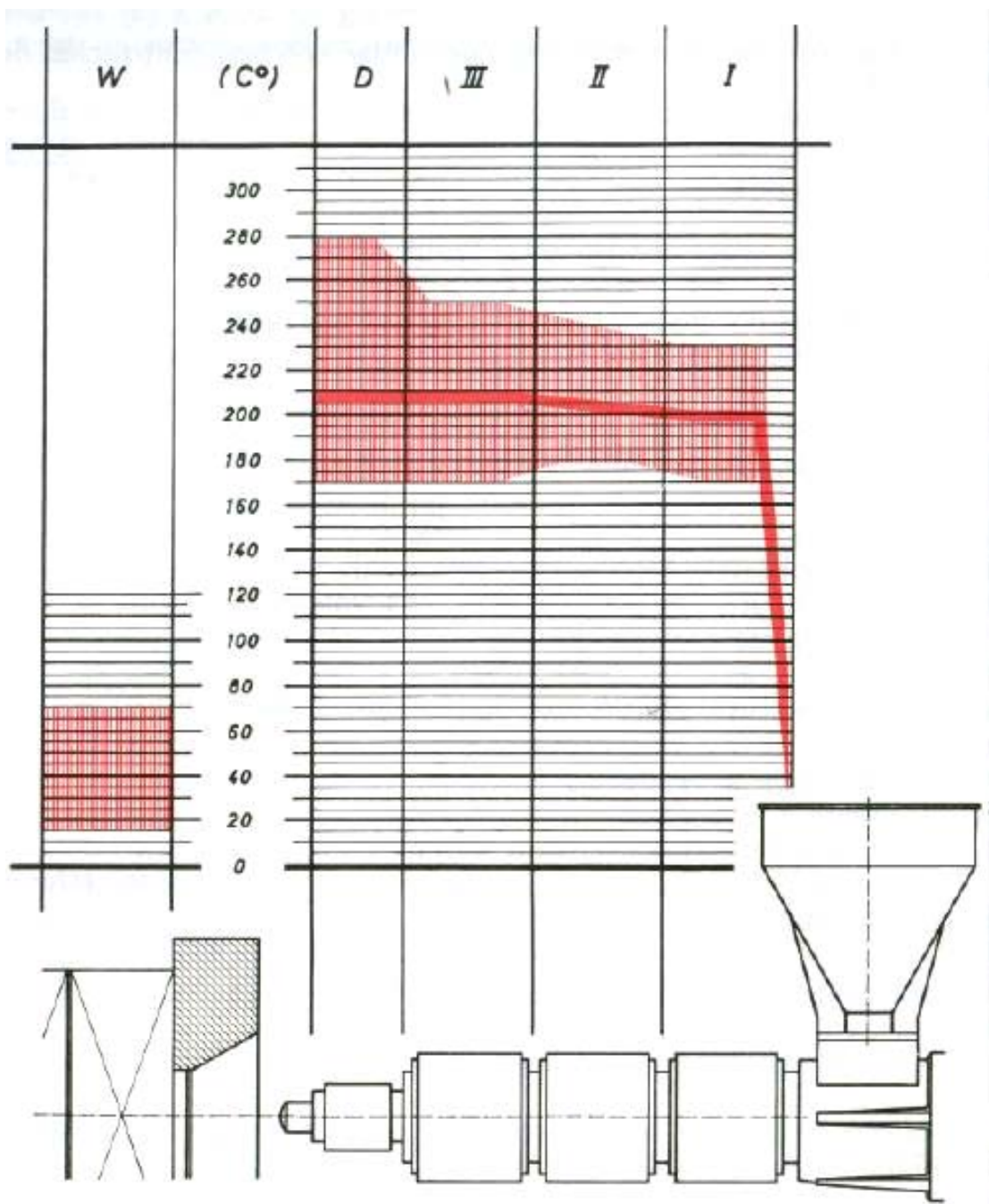
Fuente: El Plástico en la Industria

Figura 54. Poliestireno Antichoque



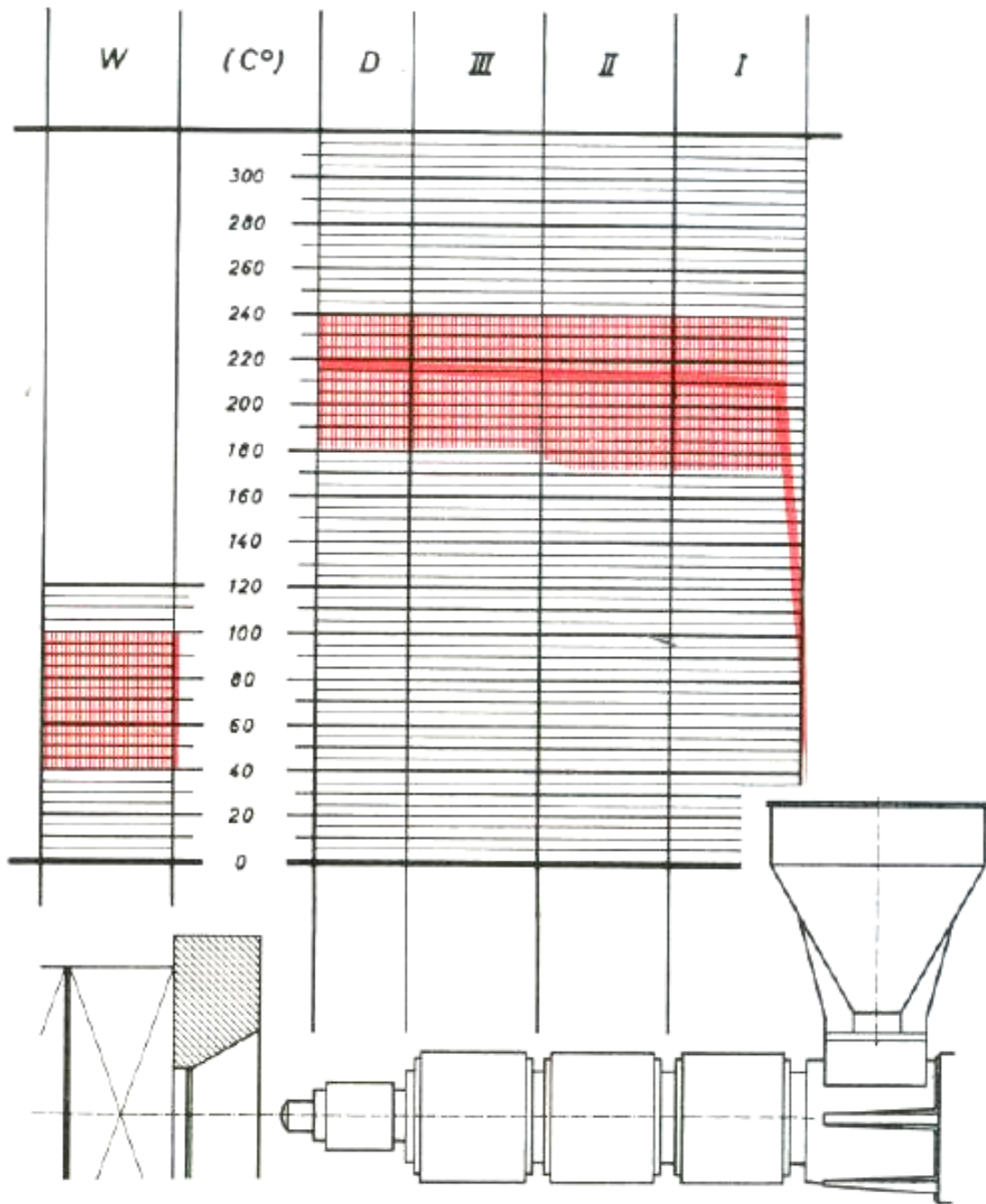
Fuente: El Plástico en la Industria

Figura 55. Poliestireno Normal



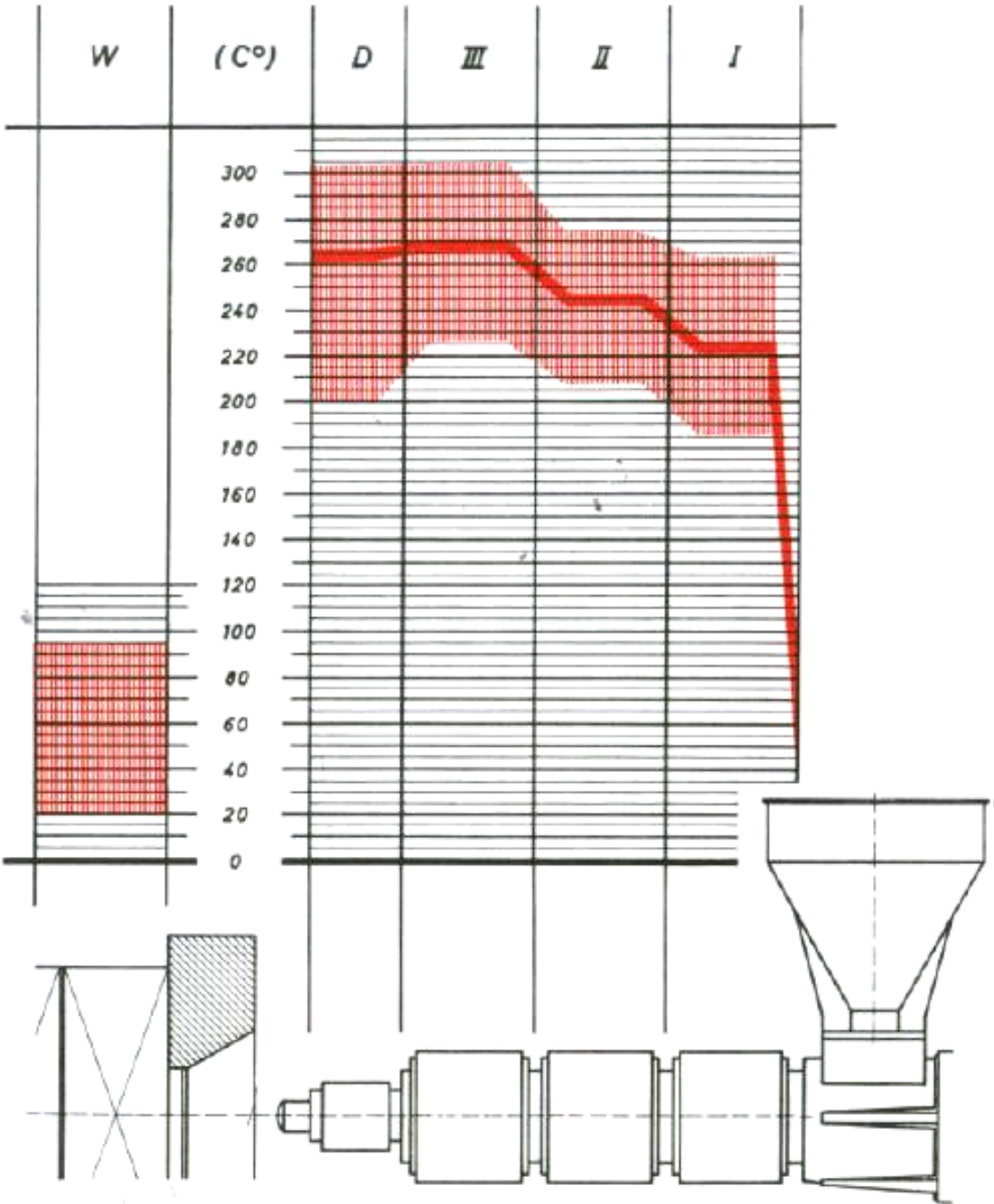
Fuente: El Plástico en la Industria

Figura 56. Polimetil Metacrilato



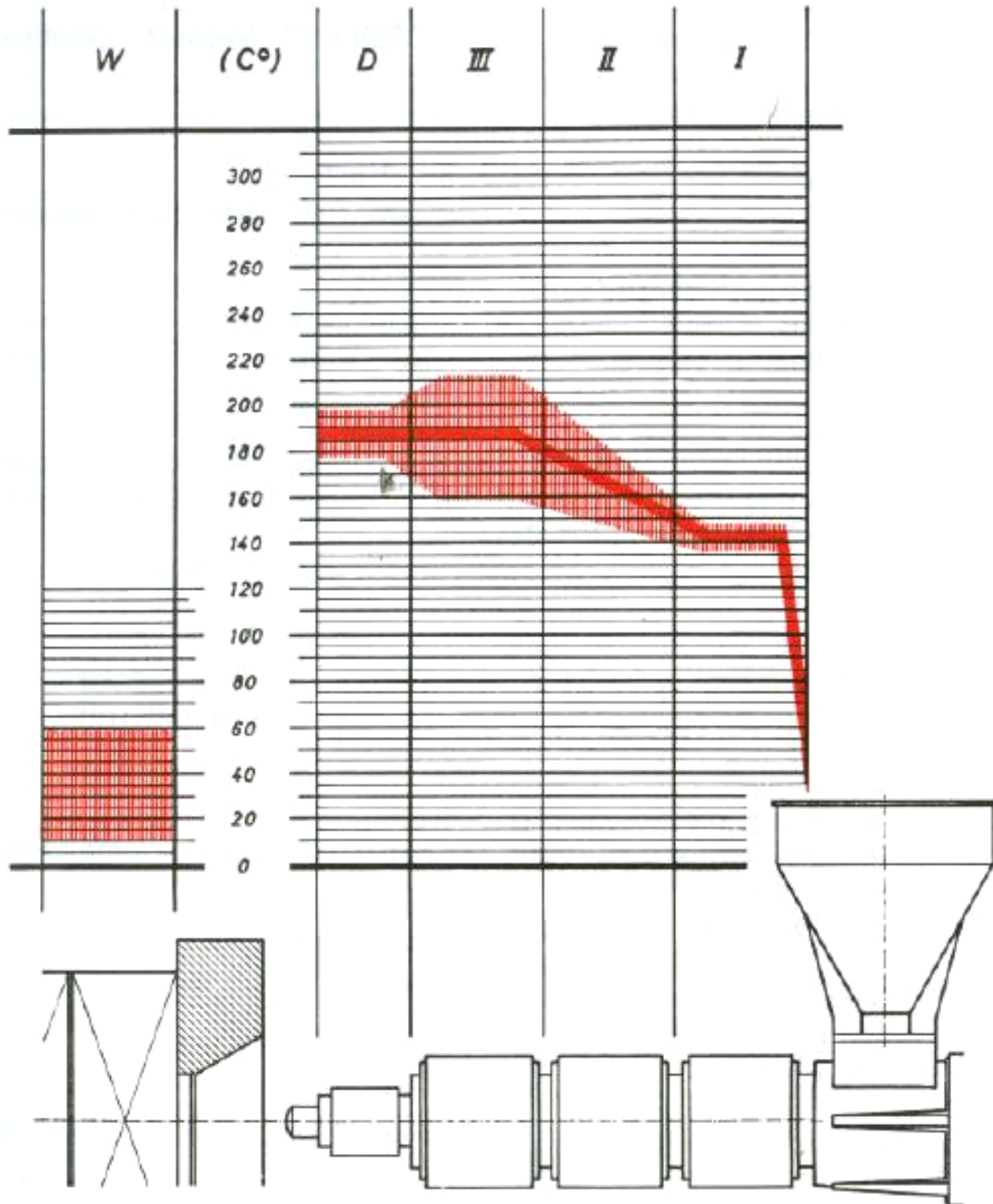
Fuente: El Plástico en la Industria

Figura 57. Polipropileno



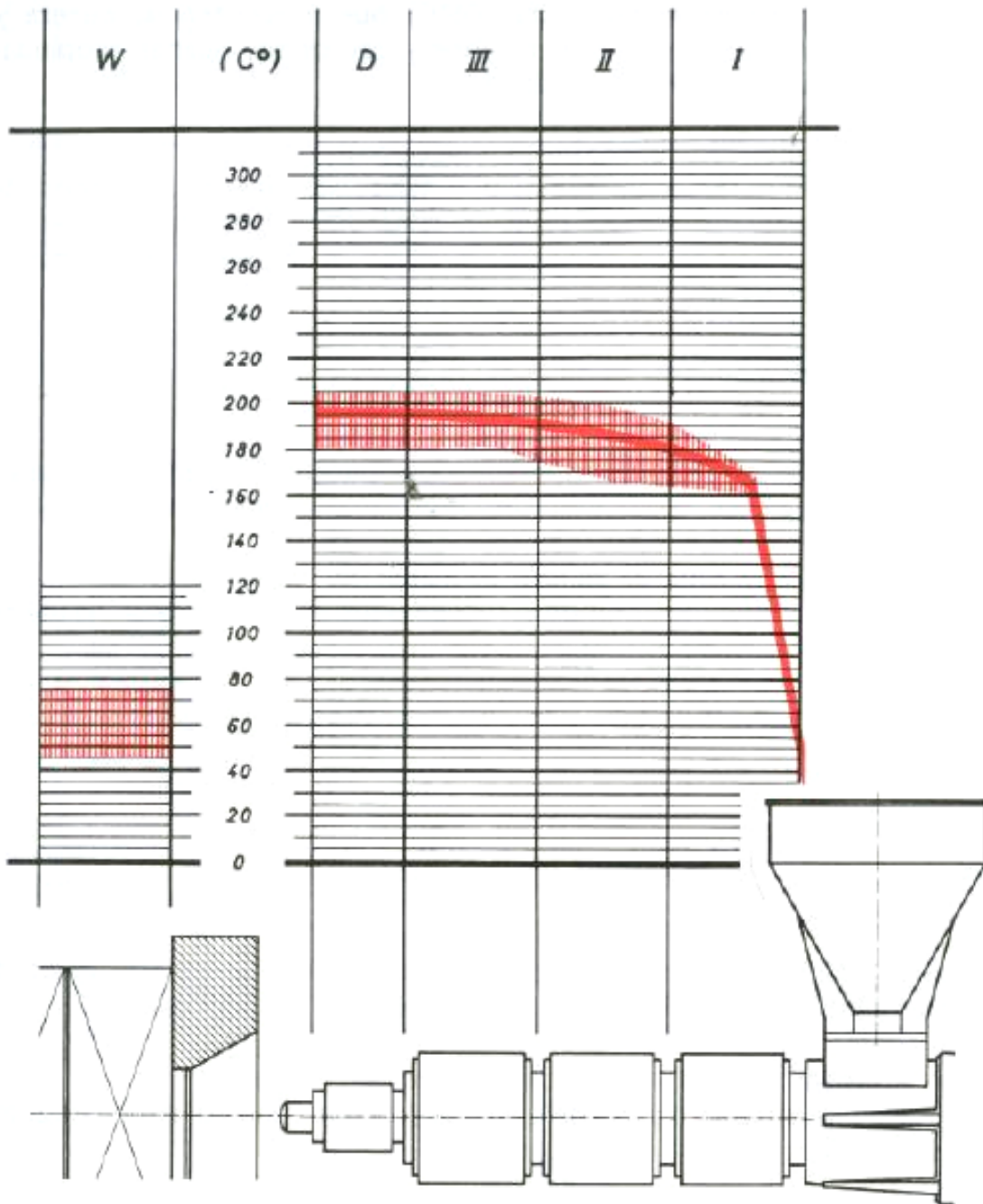
Fuente: El Plástico en la Industria

Figura 58. PVC



Fuente: El Plástico en la Industria

Figura 59. PVCc



Fuente: El Plástico en la Industria

## Anexo F. TABLAS DE PROPIEDADES DE LOS TORNILLOS USADOS EN LA MÁQUINA

Tabla 13. Propiedades mecánicas de los tornillos

Propiedades	clases de resistencia	3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8		10.9	12.9
								d ≤ M16*	d ≥ M16*		
Resistencia a la tracción ** R <sub>m</sub> en N/mm <sup>2</sup>	valor nominal	300	400		500			800		1.000	1.200
	mínimo	330	400	420	500	520	600	800	830	1.040	1.220
Límite de fluencia ** R <sub>el</sub> en N/mm <sup>2</sup>	valor nominal	180	240	320	300	400	480	-	-	-	-
	mínimo	190	240	340	300	420	480	-	-	-	-
Límite de alargamiento (tensión en un límite fijo permanente) ** de 0,2 % R <sub>p0,2</sub> en N/mm <sup>2</sup>	valor nominal							640	640	900	1.080
	mínimo							640	660	940	1.100
Tensión y fuerza de ensayo S <sub>p</sub>	$\frac{S_p}{R_{el}}$ ó $\frac{S_p}{R_{p0,2}}$	0,94	0,94	0,91	0,93	0,90	0,92	0,91		0,88	0,88
	N/mm <sup>2</sup>	180	225	310	280	380	440	580	600	830	970
Límite de fluencia inferior R <sub>el</sub> o	+ 100° C	-	-	-	270	-	-	590		875	1.090
Límite de alargamiento de 0,2 % R <sub>p0,2</sub>	+ 200° C	-	-	-	230	-	-	540		790	925
a temperaturas altas en N/mm <sup>2</sup>	+ 250° C	-	-	-	215	-	-	510		745	875
(ISO 898-1, Cuadro 16)	+ 300° C	-	-	-	195	-	-	480		705	825
Alargamiento de rotura A <sub>5</sub> en %**	mínimo	25	22	14	20	10	8	12		9	8
Dureza Vickers HV (F ≤ 98 N)**	HV mín-máx	95-250	120-250	130-250	155-250	160-250	190-250	250-320	255-335	320-380	385-425
Dureza Brinell (F = 30 D <sup>2</sup> )**	HB mín-máx	90-238	114-238	124-238	147-238	152-238	181-238	238-304	242-318	304-361	366-414
Dureza Rockwell **	HRB mín-máx	52-99,5	67-99,5	71-99,5	79-99,5	82-99,5	89-99,5	-	-	-	-
	HRC mín-máx	-	-	-	-	-	-	22-32	23-34	32-39	39-44

\* El límite para tornillos de construcciones metálicas es de M 12

\*\* Valores en vigor a temperatura ambiente de unos + 20° C

Fuente: Catálogo Rosmil (www.rosmil.com)

Tabla 14. Tabla de los valores de pretensión y par de apriete de los tornillos.

Cuadro 1: Roscas regulares, coeficiente de fricción  $\mu = 0,14$

Dimensiones		Sección de tensión	Fuerza de pretensión (cifras de precarga) $F_v (N) = 0,7 \times R_{p0,2} \times A_s$					Par de apriete $M_A$ (Nm)				
Diámetro	P	$A_s/mm^2$	4.6	5.6	8.8	10.9	12.9	4.6	5.6	8.8	10.9	12.9
M 4	0,7	8,78	1.280	1.710	3.900	5.700	6.700	1,02	1,37	3,0	4,4	5,1
M 5	0,8	14,2	2.100	2.790	6.400	9.300	10.900	2,0	2,7	5,9	8,7	10
M 6	1,0	20,1	2.960	3.940	9.000	13.200	15.400	3,5	4,6	10	15	18
M 8	1,25	36,6	5.420	7.230	16.500	24.200	28.500	8,4	11	25	36	43
M 10	1,5	58,0	8.640	11.500	26.000	38.500	45.000	17	22	49	72	84
M 12	1,75	84,3	12.600	16.800	38.500	56.000	66.000	29	39	85	125	145
M 14	2,0	115	17.300	23.100	53.000	77.000	90.000	46	62	135	200	235
M 16	2,0	157	23.800	31.700	72.000	106.000	124.000	71	95	210	310	365
M 18	2,5	193	28.900	38.600	91.000	129.000	151.000	97	130	300	430	500
M 20	2,5	245	37.200	49.600	117.000	166.000	194.000	138	184	425	610	710
M 22	2,5	303	46.500	62.000	146.000	208.000	243.000	186	250	580	830	970
M 24	3,0	353	53.600	71.400	168.000	239.000	280.000	235	315	730	1.050	1.220
M 27	3,0	459	70.600	94.100	221.000	315.000	370.000	350	470	1.100	1.550	1.800
M 30	3,5	561	85.700	114.500	270.000	385.000	450.000	475	635	1.450	2.100	2.450
M 33	3,5	694	107.000	142.500	335.000	480.000	560.000	645	865	2.000	2.800	3.400
M 36	4,0	817	125.500	167.500	395.000	560.000	660.000	1.080	1.440	2.600	3.700	4.300
M 39	4,0	976	151.000	201.000	475.000	670.000	790.000	1.330	1.780	3.400	4.800	5.600

Fuente: Catálogo Rosmil ([www.rosmil.com](http://www.rosmil.com))

## Anexo G. PLANOS

