

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 El plástico**

Los plásticos son sustancias orgánicas formadas por largas cadenas macromoleculares cuya estructura contiene carbono e hidrógeno en su mayoría. Como materia prima más importante para su fabricación, se encuentra el petróleo, y en menor grado el algodón y la madera, de donde se obtiene celulosa. La reacción utilizada para sintetizar las moléculas relativamente sencillas (monómeros) de materia prima en una cadena de moléculas grandes se llama polimerización, y se lleva a cabo con un catalizador, con calor o luz. Según las propiedades y comportamiento en la transformación, los plásticos se pueden dividir en tres grupos: los termoplásticos, termofijos y elastómeros. (Blanco et al., 1996)

#### ***Termoplásticos***

Un termoplástico es un material sólido y muy elástico en temperatura ambiente, el cual se puede convertir a líquido viscoso en temperaturas elevadas. Consisten en cadenas de macromoléculas ramificadas o lineales, unidas por fuerzas intermoleculares. Existen dos tipos de termoplásticos; los amorfos se caracterizan por el desorden en que están ramificadas sus moléculas y los semicristalinos, cuya estructura molecular es ordenada. En la tabla 2.1, se muestran los grupos en los que se dividen los termoplásticos, así como algunos plásticos reconocidos.

Tabla 3.1 Clasificación de termoplásticos y ejemplos

<b>Clasificación</b>	<b>Ejemplos</b>
<b>Poliolefinas</b>	Polietileno (PE) Polipropileno (PP) Copolímero de Etileno y Acetato de Vinilo (EVA)
<b>Vinílicos</b>	Policloruro de vinilo (PVC) Policloruro de vinilo rígido (PVC-R) Policloruro de vinilo flexible (PVC-F)
<b>Estirénicos</b>	Poliestireno (PS) Estireno acrilonitrilo (SAN) Acrilonitrilo- Butadieno- Estireno (ABS)
<b>Acrílicos</b>	Polimetil Metacrilato (PMMA)
<b>Poliamidas</b>	Nylon
<b>Poliéster termoplástico</b>	Polietilén Tereftalato (PET) Polibutilén Tereftalato (PBT)
<b>Acetales</b>	Polióxido de metileno (POM)

Enciclopedia del plástico, 1996

### ***Termofijos***

Son materiales rígidos con una estructura molecular compleja, similar a una red cristalina. Debido a dicha estructura, no son plásticamente moldeables, no se pueden disolver ni hinchar, y resisten altas temperaturas.

Existen varios tipos de resinas termofijas enfocadas a la industria de adhesivos, pinturas y recubrimientos, entre ellos los sistemas formaldehído (resina fenólica, urea-formaldehído), los sistemas de poliéster insaturado, los sistemas epóxicos, los poliuretanos y los silicones.

### ***Elastómeros***

Son materiales elásticos que recuperan su forma original después de haber liberado una fuerza sobre ellos. Son insolubles, no se pueden reciclar y no se pueden fundir cuando

son sometidos a altas temperaturas. Por lo general, los elastómeros son masas viscosas y pegajosas.

### **3.1.1 Principales usos y consumo del plástico**

De acuerdo a la Sociedad de la Industria del Plástico (SPI), el envase y empaque es el sector más importante dentro del consumo del plástico. En la tabla 2.2 se encuentran las diferentes áreas de consumo comercial del plástico.

Tabla 3.2 Consumo de plásticos y ejemplos

<b>Giro comercial</b>	<b>Ejemplos</b>
<b>Envases y empaque</b>	Botellas, vasos, cubetas, barriles
<b>Adhesivos y recubrimientos</b>	Pinturas, esmaltes, adhesivos, tintas
<b>Construcción</b>	Tubos rígidos y flexibles, tanques, enrejados
<b>Muebles</b>	Sillas, cortinas, persianas, lámparas
<b>Industrial</b>	Engranajes, bujías, herramientas, partes de autos
<b>Eléctrico</b>	Recubrimiento de cable, cintas magnéticas

Enciclopedia del plástico, 1996

Este proyecto se enfocará a la rama industrial, ya que las piezas producidas son partes de los automóviles de la Empresa Automotriz.

### **3.1.2 Plásticos en el Proveedor Plástico**

Es importante conocer algunas características de los plásticos usados en la industria automotriz, así como los parámetros de maquinado más importantes. El Proveedor Plástico analizado en este proyecto trabaja con polipropileno (PP), acrilonitrilo- butadieno- estireno (ABS), polietileno (PE), nylon (NY), y polióxido de metileno (POM). En la enciclopedia del plástico, Blanco et al. (1996) exponen las características más importantes de dichos plásticos, así como sus propiedades y parámetros de maquinado, los cuales se exponen a continuación.

### 3.1.2.1 Polipropileno (PP)

Es un termoplástico que pertenece a la familia de las poliolefinas y se obtiene por la polimerización del propileno, el cual se obtiene mediante la refinación del petróleo o gas natural. En la industria automotriz, se usa el Polipropileno Copolímero Impacto, el cual se obtiene a través de una reacción de propileno con etileno y un catalizador. Para incrementar su resistencia al impacto y a la tensión se adiciona EPDM (Hule de etileno- propileno- dieno), formando una mezcla llamada Poliolefinas Termoplásticas (TPO). Cuando se adiciona de 30% a 50% de hule, se obtiene un material con alta resistencia al impacto conocido como SHIPP (Polipropileno de super alto impacto).

#### ***Propiedades***

Tiene una densidad baja, de 0.89 a 0.91 g/cm<sup>3</sup>, por lo tanto su rendimiento en producción será mayor comparado con otro material con una densidad mayor. Al no absorber humedad, el polipropileno evita un proceso de secado antes de ser procesado. Su rango de contracción va del 1 al 2%, por eso se debe considerar dicha contracción al diseñar el molde.

Con una carga de 18 kg/cm<sup>2</sup>, soporta hasta una temperatura de 55°C. Se puede reforzar con fibra de vidrio, talco o carbonato de calcio, para que aumente la resistencia de deformación hasta 150°C. El polipropileno cuenta con excelente resistencia a ácidos y bases, con excepción del ácido nítrico, el cual puede atacarlo concentrado al 80%. A temperatura ambiente, no presenta cambios si hay contacto con acetona, ácido sulfúrico (30%), y cloruro férrico (30%) entre otros. Puede ser afectado por la presencia del cobre o aleaciones.

### ***Proceso de Inyección***

**Husillo.** Es recomendable usar un husillo con una relación de  $L/D = 16:1$  a  $24:1$ .

**Temperaturas.** Se utilizan comúnmente temperaturas que van de  $190$  a  $230^{\circ}\text{C}$ .

**Presión de inyección.** Se sugiere usar la presión mínima que permita llenar el molde, combinando con altas velocidades de inyección. La presión de inyección debe ir de  $1200$  a  $1800 \text{ kg/cm}^2$ .

**Velocidad de inyección.** Se recomienda aplicar una velocidad alta, para minimizar distorsión y esfuerzos internos.

**Velocidad del husillo.** El husillo debe girar entre  $50$  y  $150 \text{ RPM}$  para obtener suficiente fricción y fundir el material sin dañarlo.

**Coladas.** Se utilizan comúnmente balanceadas y redondas, de  $4$  a  $7 \text{ mm}$  de diámetro.

**Enfriamiento.** Controla la pérdida de calor de la pieza. Si las piezas inyectadas son muy grandes, se recomienda tener varios puntos de inyección para evitar distorsiones. Los canales de enfriamiento deben ser de un diámetro de  $11.1$  a  $14.3 \text{ mm}$ , distancia a la superficie de dos veces su diámetro y la distancia entre canales o *pitch*, debe ser de tres a cinco veces su diámetro.

#### **3.1.2.2 Acrilonitrilo- Butadieno- Estireno (ABS)**

Es un copolímero de la familia de los polímeros de estireno, el cual ofrece propiedades importantes para la industria automotriz como el brillo, la resistencia al impacto y estabilidad térmica. Está compuesto por estireno, monómero en mayor porcentaje; butadieno, gas incoloro, aromático y de fácil polimerización; y acrilonitrilo, líquido incoloro y soluble en disolventes orgánicos.

El ABS tiene una gran importancia comercial, especialmente en la industria automotriz, ya que se emplea en tableros, perfiles decorativos, piezas cromadas, consolas centrales, piezas de carrocería, apoya brazos, spoilers y fascias entre otras.

### ***Propiedades***

El ABS cuenta con propiedades mecánicas sobresalientes, haciendo a este material uno de los más usados en la industria. Este termoplástico tiene una densidad aproximada a la del agua, de 1.04 a 1.06 g/cm<sup>3</sup>. Presenta resistencia mecánica a temperaturas bajas, -45 a 0°C y ofrece una estabilidad a temperaturas que van de -45 a 85°C. En algunos casos especiales alcanzan los 100°C. Este termoplástico resiste agua, soluciones salinas, ácidos y bases diluidas, así como aceites minerales, hidrocarburos saturados y grasas animales.

### ***Proceso de Inyección***

**Secado.** El ABS es higroscópico, con humedad de 0.3 a 0.4% a 23°C. Por norma, la humedad para ser procesado debe ser igual o menor al 0.2%, por lo que se recomienda secar el material antes de pasar al proceso de transformación. En el caso de inyección, se recomienda una humedad del 0.1% cuando es inyección de uso general, 0.05% cuando es inyección cromable y de 0.05 a 0.01% cuando es inyección retardante a la flama. La temperatura adecuada de secado va de 80 a 90°C durante 1 o 2 horas.

**Husillo.** Se recomienda usar un husillo con 50% en la zona de alimentación, 30% en la de compresión y 20% en la de dosificación, conformando una longitud total de 16 a 20D.

**Velocidad de inyección.** Se recomienda una velocidad de llenado alta, para obtener una superficie terminada brillante y lustrosa.

**Temperaturas.** Se recomienda establecer una temperatura de 175°C en la zona de alimentación del cilindro, 185°C en la zona de compresión y 195°C en la zona de dosificación, aproximadamente.

**Presión de inyección.** Se recomienda una presión entre los 100 y 120 kg/cm<sup>2</sup>. En caso de presión sostenida, se sugiere 70 kg/cm<sup>2</sup> aproximadamente.

**Temperatura del molde.** El control de la temperatura del molde es decisivo para obtener una pieza de calidad, siendo 70 a 85°C lo más recomendable.

### 3.1.2.3 Polietileno (PE)

Perteneciente al grupo de los polímeros de las poliolefinas, el polietileno proviene de hidrocarburos simples, cuyos átomos están compuestos por carbono e hidrógeno. Se clasifica según su densidad, contenido molecular y contenido de monómeros. En la industria automotriz, es común el uso del polietileno de alta densidad (HDPE), para la producción de piezas como recipientes de aceite o gasolina, mangueras y tanques de agua entre otros.

#### ***Propiedades***

El HDPE tiene una densidad que va de 0.941 a 0.965 g/cm<sup>3</sup>. Muestra un punto de fusión entre 120 y 136°C. La rigidez, dureza y resistencia a la tensión se incrementan a la par de la densidad. No es atacado por soluciones acuosas, salinas o ácidas. No tiene resistencia contra agentes fuertes oxidantes como el ácido nítrico o al ácido sulfúrico.

#### ***Proceso de inyección***

**Secado.** El HDPE no requiere secado, ya que su absorción es menor al 0.1%.

**Husillo.** Se recomienda un husillo con relación L/D de 18:1 a 20:1.

**Temperatura.** Se recomienda mantener una temperatura de 50 a 80°C en la tolva, de 170 a 180°C en el proceso de alimentación, de 180 a 240°C en la boquilla y de 10 a 60°C en el molde.

**Presión de inyección.** Se recomienda una inyección de 1500 kg/cm<sup>2</sup>.

**Velocidad de inyección.** Debe ser alta, para obtener una apariencia superficial aceptable.

**Velocidad del husillo.** Se recomienda girar el husillo a 200 RPM, para obtener una velocidad aproximada de 0.8 m/s.

**Coladas.** Se sugiere un tamaño de 4 a 7 mm si el molde es de colada fría. Si es colada caliente se usan coladas de 0.73 a 0.8 mm.

#### 3.1.2.4 Nylon (NY)

El nylon es una poliamida obtenida por hexametilendiamina y ácido adípico. Se clasifican según su estructura química, su contenido de monómeros y de acuerdo a su modificación con cargas y aditivos. En la industria automotriz se utiliza la Poliamida 6 (PA 6), poliamida monovalente obtenida de un compuesto en forma de copos sólidos llamado caprolactama. Con este plástico se producen abrazaderas, tapones, bases de espejos, guías y filtros entre otros.

#### ***Propiedades***

La Poliamida 6 se caracteriza por su excelente tenacidad y alta resistencia a la abrasión. Tiene una densidad aproximada de 1.12 a 1.3 g/cm<sup>3</sup>, y su temperatura de fusión va de 217 a 220 °C. Su resistencia al impacto y al desgaste, amortiguación al ruido y vibraciones, y se

estabilidad a la deformación térmica son sobresalientes comparadas con otros plásticos. Presenta resistencia a solventes aromáticos y a hidrocarburos en general.

### ***Proceso de inyección***

**Secado.** Debido a la absorción de humedad del nylon (1 a 1.9%), es necesario secar el material antes de ser procesado. Los mejores métodos son: secado con aire recirculado, secadores de tolvas y secado en hornos al vacío.

**Husillo.** Se sugiere un husillo con relación L/D de 16 a 20:1. Se recomienda una válvula antirretorno (o válvula check) en la boquilla.

**Temperatura.** Se recomienda mantener el material a 243°C durante la alimentación, a 227°C en la boquilla y durante la dosificación. El molde debe estar entre 38 y 93 °C.

**Presión de inyección.** Se recomienda una inyección de 350 a 1400 kg/cm<sup>2</sup>, dependiendo del espesor de la pieza.

**Velocidad del husillo.** Debe ser baja o moderada, y depende del tiempo de retracción.

### **3.1.2.5 Polióxido de metileno (POM)**

Es un acetal, cuyas materia primas principales son el formaldehído, el trioxano y el óxido de etileno. Se clasifican según su estructura química en homopolímeros y copolímeros. Ambos acetales son utilizados en la industria automotriz, pero en el caso del proveedor plástico, el acetal copolímero es el de mayor uso. Con este se producen clips para vestiduras, válvulas de control de calor y rejillas para bocinas entre otros.

### ***Propiedades***

El acetal es el material más cristalino que se maquina en la industria, su densidad va de 1.4 a 1.44 g/cm<sup>3</sup>. Tienen alta resistencia al impacto y rigidez y tenacidad sobresalientes. Cuentan con una excelente resistencia a altas y bajas temperaturas intermitentes. Presentan resistencia a detergentes, aceites minerales y gasolinas. El POM presenta problemas al ser expuesto a ácidos fuertes. Las ventajas del acetal copolímeros sobre el homopolímero son la mayor facilidad de procesamiento y mayor resistencia a la luz ultravioleta.

### ***Proceso de inyección***

**Secado.** La absorción de humedad del POM es mínima, por lo que rara vez requiere secado antes de ser procesado. En caso de ser necesario, se sugiere un secado en tolva.

**Husillo.** Se recomienda un husillo con relación L/D de 20:1.

**Temperatura.** Se recomienda mantener el material de 60 a 90°C a su entrada a la tolva, de 165 a 210 °C durante la alimentación, de 170 a 215°C en la boquilla y se sugiere que el molde este entre los 40 y los 120°C.

**Presión de inyección.** En las etapas de inyección, se sugiere alcanzar 1670 kg/cm<sup>2</sup>.

**Velocidad del husillo.** Se sugiere una velocidad que vaya de 0.1 a 0.3 m/s, la cual se obtiene con un husillo que gira a 200 RPM, con un diámetro de aproximadamente 46mm.

**Coladas.** Las más comunes son la redonda y la trapezoidal y van de 3 a 6 mm de diámetro. Deben lograr el mínimo recorrido del material y lograr un flujo con una mínima pérdida de presión y calor.

### **3.2 Proceso de formado**

El proceso de inyección de plástico consiste en calentar los “*pellets*” de material termoplástico para transformarlos en una masa plástica a través de un cilindro de plastificación, por el cual pasa el material hacia la cavidad de un molde, el cual le dará la forma final. Cuando el plástico está en el molde, se enfría por medio de cavidades donde fluye agua y finalmente, se abre el molde para obtener una pieza sólida.

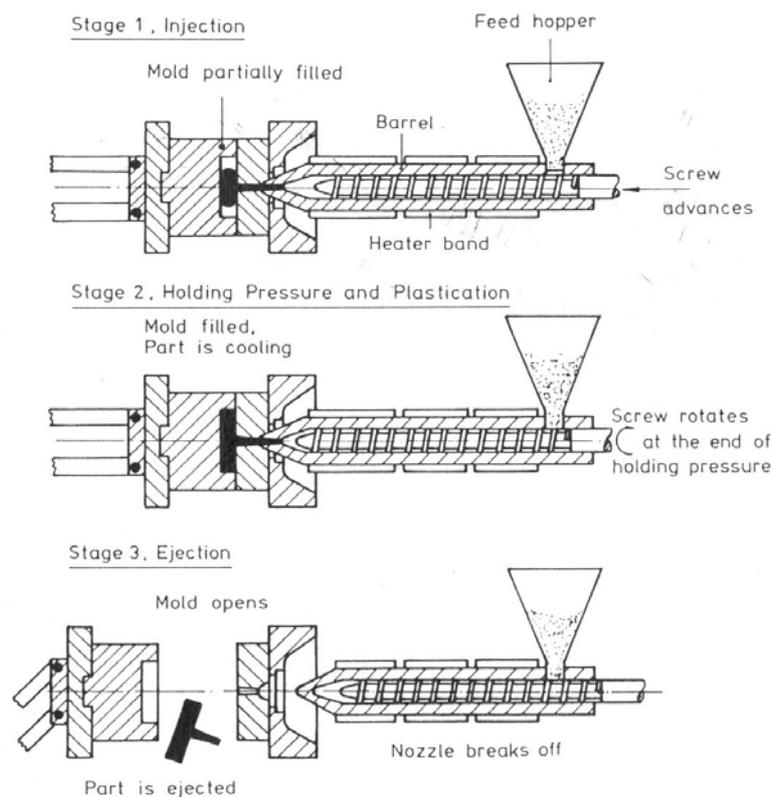
Los componentes principales de una máquina de inyección son el sistema de inyección y el sistema de cierre. También es muy importante el papel que juega el molde, ya que este da la forma final a la pieza. Las máquinas de inyección tienen sistemas hidráulicos, los cuales controlan el movimiento de los sistemas de inyección y cierre, y sistemas eléctricos, que controlan las temperaturas, flujo de agua, aceite, etc. (Johannaber, 1994)

#### **3.2.1 Proceso de Inyección**

Rosato (1995), divide al proceso de inyección de plástico en tres etapas: la inyección, la plastificación y la expulsión. Durante la etapa de la inyección, se deposita el material virgen en la tolva, ya sea manualmente o por un sistema automatizado. Por medio de gravedad, el material fluye por la tolva y cae al cañón caliente donde se encuentra el husillo, el cual gira mandando el material a la punta de este. El material se funde con la rotación del husillo y con la temperatura del cañón. Cuando el material pasa al frente del cañón, ejerce una presión sobre el husillo empujándolo hacia atrás del cañón. Cuando el material fundido es suficiente, el husillo deja de girar y al mismo tiempo el molde queda prensado gracias al sistema de cierre.

A continuación, el husillo es empujado hidráulicamente hacia delante, inyectando todo el material fundido a la cavidad del molde. El material recorre la cavidad (o las cavidades) del molde hasta llenarlo, y después de unos segundos este se enfría y se solidifica. En este instante se lleva a cabo la plastificación.

Por último, cuando la pieza ya está solidificada, el molde se abre y expulsa la pieza gracias a pernos que salen del molde hidráulicamente. A continuación, se pueden apreciar las etapas del proceso de inyección. En la figura 2.1 se muestran las etapas del proceso de inyección.



**Figura 2.1** Etapas del proceso de inyección  
Johannaber (1994)

### ***3.2.2 Sistemas en el proceso***

Como ya se ha mencionado, los sistemas fundamentales del proceso de inyección son el sistema de inyección y el sistema de cierre, de los cuales basándonos en Bodini (1992), se exponen sus características más importantes a continuación.

#### **3.2.2.1 Sistema de inyección**

El sistema de inyección se encarga de alimentar al molde con material y de plastificar el mismo. Existen tres partes fundamentales en el sistema para alimentar la máquina, las cuales son el cilindro de plastificación o cañón, en el cual se encuentra el husillo, la boquilla y las resistencias eléctricas que se encargan de calentar el material. En esta sección se encuentran también los termopares, que se encargan de controlar la temperatura del cilindro enviando las señales a los termorreguladores; puede haber válvulas que controlen la salida de material y que no permitan el regreso del mismo al cañón.

La segunda sección la compone la cabeza de inyección, la cual une al cilindro de plastificación con la tercera sección, el cilindro de inyección. Esta última sección, controla la fase de inyección de la cámara de inyección a la cavidad del molde por medio de un pistón.

#### **3.2.2.2 Sistema de cierre**

El sistema de cierre se encarga de abrir y cerrar el molde en el proceso de inyección. Este sistema genera la fuerza necesaria (tonelaje) para sostener dicho molde en plena inyección. Existen varios tipos de sistemas de cierre, de los cuales el sistema de cierre por rodillera doble es el más utilizado, ya que ofrece una mayor rapidez en la apertura y cierre

de molde, y generalmente es usado en máquinas de 1000 toneladas o más. Algunos tipos de sistemas de cierre son:

- Sistema de cierre por rodillera simple
- Sistema de cierre por pistón (cierre directo)
- Sistema de cierre hidromecánico o pistón bloqueado

### **3.2.3 Moldes**

Un molde es un arreglo ensamblado que consta de una o más cavidades con la forma de una pieza deseada (Rees, 1995). El espacio en el molde esta formado por una parte hueca llamada platina portamoldes y otra que la complementa, llamada platina móvil. Las máquinas más modernas tardan de uno a tres segundos para abrir y cerrar el molde.

En el molde ocurren ciertas operaciones requeridas para producir las piezas deseadas. Rees (1995) explica que primero se debe tomar en cuenta el tiempo de apertura, el cual debe ser rápido y preferentemente, se debe llevar a cabo la expulsión al mismo tiempo. Posteriormente, se cierra el molde de manera rápida, aunque baja su velocidad antes de cerrar completamente, ya que en el cierre definitivo la fuerza en toneladas actúa sobre el molde. Una vez cerrado el molde, se activa la protección, la cual revisa si no hay suciedad, material solidificado o productos defectuosos atorados en el molde que puedan dañar la siguiente inyección.

Después, el material fundido se inyecta al molde y se debe considerar el tiempo de inyección, la presión de inyección, la cual es aplicada al plástico para que adquiera

volumen y evite el encogimiento; y por último el tiempo de enfriamiento. A la suma de estos tiempos se le llama tiempo de molde cerrado. Por último, se considera el tiempo de expulsión, el cual debe ser rápido y como ya se ha mencionado, debe ser al mismo tiempo que el molde se abre nuevamente.

Para sacar la pieza terminada del molde, se requiere que ésta este completamente solidificada, y para esto existen unos canales dentro del molde en los que fluye agua a temperaturas bajas, con el objetivo de enfriar la pieza después de cada inyección. Hay dos tipos de moldes usados en la actualidad: el molde de colada fría y el de colada caliente.

#### 3.2.3.1 Molde de colada fría

Los moldes de colada fría son generalmente utilizados para inyectar piezas de tamaño pequeño o mediano en dos o más cavidades; el material corre a través de canales que lo conducen hacia las cavidades a llenar. Estos moldes no necesitan resistencias eléctricas, termocontroles, o sensores.

#### 3.2.3.2 Molde de colada caliente

Los moldes de colada caliente se utilizan para inyectar todo tipo de piezas. A diferencia de los moldes de colada fría, en estos moldes todo el material que se inyecte se convierte en producto. Existen moldes que contienen 2 o 96 cavidades para llenar. Estos moldes contienen resistencias eléctricas que se encargan de calentar los canales donde fluye el plástico, tienen termocontroles y sensores que protegen al molde si algún material solidificado queda atorado.

La desventaja sobre los moldes de colada fría es que estos moldes necesitan de un tiempo de precalentamiento, el cual va de 15 a 25 minutos. Este tiempo se puede evitar al exponer al molde a un sistema de precalentado, el cual consiste en calentar los canales con los que cuenta el molde a diferentes temperaturas por medio de resistencias eléctricas, antes de ser colocados en la máquina de inyección.

### ***3.2.4 Especificaciones de máquina***

En el proceso de inyección, dependiendo del material que se inyecte, debemos tomar en cuenta ciertas características técnicas de las máquinas, expuestas por Bodini (1992) y Rosato (1995). Las más importantes son las siguientes:

#### **Sistema de inyección**

- **Diámetro del husillo (mm).** Diámetro externo del husillo que plastifica e inyecta el plástico.
- **Relación L/D del husillo.** Es la relación entre la longitud del husillo (L) y el diámetro del mismo (D).
- **Máxima presión de inyección (kgf/cm<sup>2</sup>).** Presión que se aplica sobre el material al ser inyectado.
- **Volumen teórico de inyección (cm<sup>3</sup>).** Volumen generado por el husillo que se inyecta.
- **Velocidad de inyección (cm<sup>3</sup>/s).** Velocidad con el que se inyecta el material al molde.

- **Velocidad de rotación del husillo (rpm).** Velocidad de rotación que alcanza el husillo en la etapa de plastificación.
- **Potencia del motor hidráulico (HP).** Es la potencia disponible para hacer girar el husillo.

### **Sistema de cierre**

- **Fuerza de cierre (Ton.).** Fuerza máxima con la que puede cerrarse el molde.
- **Distancia entre columnas (mm).** Máxima distancia entre las columnas de deslizamiento de la platina móvil.
- **Carrera de la platina móvil (mm).** Carrera máxima de la apertura del molde.

### **Especificaciones generales**

- **Potencia máxima instalada (HP).** Potencia del motor eléctrico que activa el sistema hidráulico.
- **Ciclos en vacío (ciclos/min).** Número de ciclos que la máquina realiza en un minuto, sin realizar fase de inyección y plastificación.

### **3.3 Métodos de cálculo**

Para desarrollar este proyecto se estudiarán técnicas y algoritmos relacionados con sistemas de producción e investigación de operaciones, los cuales se exponen a continuación.

### **3.3.1 Diagrama de Ishikawa**

El diagrama de Ishikawa, o diagrama Causa – Efecto, es una manera de clasificar y ordenar las causas de un problema (Portal de estudiantes de R.H., 2000). Con este diagrama, es fácil analizar todas las causas que afectan a un proceso, las cuales contribuyen a la formación de un efecto. Se debe tomar en cuenta que el desarrollo de estos diagramas está basado en teorías.

### **3.3.2 Diagrama de Pareto**

El diagrama de Pareto, detecta los problemas más importantes mediante la aplicación del principio de Pareto, el cual dice que pueden existir un mayor número de problemas sin importancia contra pocos problemas de mayor relevancia. Generalmente, el 80% de los resultados totales se originan en el 20% de los elementos (Sales et al., 2000).

Según Sales et al. (2000), este diagrama puede ser utilizado en los siguientes casos:

- Identificar un servicio o producto para hacerle mejoras de calidad
- Identificando oportunidades de mejora
- Para buscar causas principales de los problemas y establecer prioridades a las soluciones
- Para evaluar los resultados aplicados a un proceso (antes/después)

### **3.3.3 Programación lineal**

La programación lineal, según Saigal (1995) es el problema de minimizar o maximizar una función lineal sujeta a igualdades o desigualdades lineales. La

programación lineal comenzó en el año de 1939, cuando se resolvía un problema de organización y planeación de producción, el cual fue solucionado por L. V. Kantorovich. A partir de este método, surgieron otros que fueron mejorando con el paso de los años, como el método Simplex, desarrollado por George Dantzig, en el año de 1949.

Según Hillier et al. (2001), el propósito de la programación lineal es la asignación de recursos limitados entre actividades competitivas de la mejor forma posible (solución óptima), es decir, se debe elegir el nivel de ciertas actividades que compiten por recursos necesarios para llevarlas a cabo, donde estos recursos son limitados.

#### ***3.3.4 Algoritmo “Tiempo de flujo – Fecha de entrega”***

El principal objetivo de este algoritmo es la planeación de producción de un cierto número de órdenes de trabajo, tomando en cuenta el volumen de trabajo y su fecha límite de entrega. Para poder aplicar este algoritmo, es necesario conocer algunos conceptos básicos, los cuales se explican en Askin et al. (1993), mencionando que la secuenciación es el proceso de definir el orden en que los trabajos en una máquina serán procesados, mientras que la planeación es un proceso en el que se añade un tiempo de inicio y final a la orden de trabajo dictada por la secuencia.

Este algoritmo tiene como objetivo la minimización del tiempo de flujo (Flow Time, F) que es lo equivalente a minimizar el promedio de tiempo en proceso (WIP), y nos llevará a una secuenciación SPT (Shortest Processing Time), la cual desafortunadamente ignora los tiempos límite de entrega. Para eliminar dicho problema, se implementará la planeación con EDD (Earliest Due Date), el cual se encarga de minimizar la tardanza máxima de cada

trabajo. Así, al aplicar el SPT con el EDD al mismo tiempo, los trabajos con mayor tiempo de producción se harán al final teniendo en cuenta la fecha de entrega de cada uno, basándose en el Askin et al. (1993).

### **3.4 Estudio de capacidad**

Conociendo los problemas más comunes e importantes del Proveedor Plástico, observados en el capítulo dos, es necesario como primer paso en la metodología, encontrar cuales máquinas son las que más atrasos causan en la producción. Para hacer esto, se hace un estudio de capacidad, el cual consiste en una actividad que se lleva a cabo en el departamento de Desarrollo de Proveedores de la Empresa Automotriz, basada en el análisis de máquinas que desempeñan diferentes procesos de producción (en este caso, inyección de plástico), tomando en cuenta factores como el tiempo total de producción, el personal, los tiempos muertos y el desperdicio de piezas, por nombrar algunos. Este sistema permite prever complicaciones que puedan surgir en la producción de alguna máquina. En este proyecto se utilizará un programa desarrollado en Excel, el cual fue desarrollado por especialistas de la Empresa Automotriz.

La demanda interna de la Empresa Automotriz, es el primer conjunto de datos necesarios para comenzar el estudio, y se obtiene mediante un pronóstico de capacidades. Para estudiar si un proveedor tiene la capacidad de producir, el departamento de Desarrollo de Proveedores debe hacer un pronóstico de requerimientos en un tiempo establecido, es decir, debe calcular la demanda interna de piezas que necesitará en una semana en particular. Para

obtener la demanda de una pieza en particular, se deben tomar en cuenta los siguientes factores:

$$DB = fi + it + rx + co + scrap$$

**Figura 3.2** Fórmula de la Demanda bruta

Donde:

$DB$  = Demanda bruta (piezas)

$fi$  = Número de piezas que son necesarias a partir de una fecha de inicio en particular

$it$  = Número de piezas con cierta información técnica

$rx$  = Número de piezas para refacciones y exportaciones

$co$  = Número de piezas con determinado color

$scrap$  = Número de piezas que aproximen una posible cantidad dañada

Al combinar estos aspectos se obtiene una lista de requerimientos y de esta forma se obtiene una tabla de datos, que se llamará Demanda Bruta. Para poder calcular la Demanda Bruta correctamente, se debe verificar si ya existe la pieza requerida en caso que esta sea para refacción o para exportación; si dicha pieza está en existencia, en la fórmula se sustituirá:  $rx = 0$ . Al tener la tabla de datos con la demanda interna, ya es posible hacer el estudio de capacidad, ya sea con los datos de la Demanda Bruta o con incrementos de piezas, los cuales consisten en sumar un número de piezas a la demanda previamente calculada. A continuación, se llevan a cabo los cálculos en el formato de Excel, llenando desde la información del proveedor hasta los tiempos muertos en producción. La primera sección de esta hoja de cálculo contiene información relacionada con el nombre del

proveedor, las características de la pieza y el proceso. En la tabla 2.3 se muestra la información requerida en esta primera sección.

Tabla 3.3 Información requerida en el primer bloque de la hoja de cálculo

<b>Bloque</b>	<b>Información requerida</b>
<b><i>Datos del proveedor</i></b>	Nombre de la persona que elaboró
	Fecha de elaboración
	Nombre de proveedor
<b><i>Datos de la pieza</i></b>	Número de parte (Proveedor Plástico)
	Número de parte (Empresa Automotriz)
	Requerimiento piezas por día (Proveedor Plástico)
	Requerimiento piezas por semana (Empresa Automotriz)
<b><i>Proceso</i></b>	Proceso
	Componente u operación
	Descripción de la familia
	Días de labor por semana
	Turnos por día
	Minutos que se laboran al día
	Comida/Pausas (minutos/día)

Elaboración propia

En el segundo bloque, el cual corresponde al registro de los datos de la pieza, la hoja de cálculo cuenta con una macro que actualiza la lista de requerimientos de todas las piezas registradas en la hoja. Estos requerimientos vienen de la base de datos que contienen la demanda bruta obtenida por el pronóstico previamente hecho.

### ***3.4.1 Pérdidas y ocupaciones***

Sabiendo cuál es el tiempo de ciclo y con cuánto tiempo se cuenta, es necesario calcular la capacidad promedio por día. Los datos fueron proporcionados mediante tablas y bases de datos históricas del proveedor, facilitadas por el gerente de producción del Proveedor Plástico. En primer lugar, se calcula la capacidad teórica instalada por día, la cual determina el número de piezas producidas en un día basándose en un tiempo de ciclo

teórico. Es difícil encontrar una empresa que trabaje con un tiempo de ciclo teórico, por eso la capacidad total diaria se debe calcular teniendo en cuenta las diferentes pérdidas de tiempo que puedan surgir en la producción.

**Pérdidas técnicas.** Es el tiempo que se ocupa para hacer algún cambio o ajuste de herramental en la máquina. También se consume tiempo cuando se hace alguna medición (pieza, molde) previa al proceso de producción. Teniendo estos datos, se puede calcular la capacidad técnica disponible diaria, restando los minutos consumidos en ajustes a los disponibles de producción.

$$CTd = \left( \frac{t_d - t_c - p_t}{t_c} \right) * n_m$$

**Figura 3.3** Fórmula Cap. Técnica disponible

donde:

$CTd$  = Cap. Técnica disponible (pzas./día)

$t_d$  = Tiempo disponible (mins.)

$t_c$  = Tiempo de comidas y descansos (mins.)

$p_t$  = Pérdidas técnicas (mins.)

$t_c$  = Tiempo de ciclo (mins.)

$n_m$  = Número de máquinas (o piezas inyectadas)

**Pérdidas logísticas.** Es el tiempo que se pierde por falta de materia prima y fallos técnicos como problemas con maquinaria o de electricidad. También pueden haber pérdidas por

tiempo que se ocupe para programar y organizar procesos. Con estos datos, se debe calcular la capacidad utilizable diaria, volviendo a restar los minutos perdidos al tiempo disponible.

$$Cu = \left( \frac{t_d - t_c - p_t - p_l}{t_c} \right) * n_m$$

**Figura 3.4** Fórmula Capacidad utilizable

Donde:

$Cu$  = Capacidad utilizable (pzas./día)

$p_l$  = Pérdidas logísticas (mins.)

**Pérdidas de calidad.** Es el porcentaje de pérdidas ocasionado por scrap, por piezas que necesitan retrabajo y por mermas organizativas, es decir, porcentaje de piezas no producidas por paros de línea no planeados o huelgas. Por último se calcula una capacidad promedio de la siguiente manera:

$$Cp = Cu - scrap(\%) - retrabajo(\%) - m.o.(%)$$

**Figura 3.5** Fórmula Capacidad promedio

donde:

$Cp$  = Capacidad promedio (pzas./día)

$m.o.$  = Mermas organizativas (%)

Una vez obtenida la capacidad promedio diaria, se calcula un nuevo tiempo de ciclo influido por las pérdidas, dividiendo el tiempo disponible entre las piezas obtenidas en la capacidad promedio, considerando el número de máquinas o inyecciones. Con este nuevo

tiempo de ciclo, se pueden calcular diferentes porcentajes de utilización que ayudarán a determinar la utilización total de la máquina seleccionada.

En la última sección de la hoja de cálculo desarrollada por la Empresa Automotriz, se generan datos guía, como la utilización máxima proporcional de la máquina o las capacidades máximas de producción, las cuales muestran el número de piezas mezcladas producidas diaria y semanalmente para la Empresa Automotriz y para otros clientes. Los datos registrados en la primera sección de la hoja de cálculo se muestran en las tablas contenidas en el anexo 2, así como los resultados que arrojaron dichos datos.

### ***3.4.2 Análisis de utilización***

Son los porcentajes de tiempo que la Empresa Automotriz y otros clientes del Proveedor Plástico necesitan para producir uno o más tipos de piezas en una máquina. Para llevar a cabo el análisis de utilización se deben considerar los siguientes puntos:

- La utilización de la máquina está determinada por la producción, tanto de la Empresa Automotriz como de otros clientes del proveedor.
- Dicha utilización no debe exceder el 85% de tiempo de producción (TRS), ya que se ha establecido como norma el dejar un 15% de flexibilidad a la máquina para diferentes actividades (mantenimiento, producción urgente, etc.)
- La utilización de la máquina se determina por día de producción.
- Se considera al proveedor como “crítico” cuando una de las máquinas analizadas rebasa el 85% de utilización. Si es el caso, se deben tomar acciones inmediatas, es decir, se

deben implementar soluciones y planes de acción (reducción del tiempo de ciclo, balanceo de líneas, etc.)

La sección de utilización muestra las utilidades de la Empresa Automotriz y de otros clientes del proveedor, la suma de las utilidades, los días y turnos que labora el proveedor y si la máquina analizada cumple con la condición de mantener su producción debajo del 85%.