



**ESTUDIO DEL PROCESO DE MOLDEO EN COQUILLA POR PRESION PARA LA  
FABRICACION DE PIEZAS DECORATIVAS EN LA EMPRESA FANTAXIAS LTDA.**

**FABIAN JESUS PORRAS RUIZ  
GERMAN RICARDO VERGARA GONZALEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA METALURGICA Y CIENCIA DE MATERIALES  
BUCARAMANGA**

**2010**



**ESTUDIO DEL PROCESO DE MOLDEO EN COQUILLA POR PRESION PARA LA  
FABRICACION DE PIEZAS DECORATIVAS EN LA EMPRESA FANTAXIAS LTDA.**

**FABIAN JESUS PORRAS RUIZ  
GERMAN RICARDO VERGARA GONZALEZ**

**Trabajo de grado para obtener el título de Ingeniero Metalúrgico**

**Director**

**ARNALDO ALONSO BAQUERO  
INGENIERO METALÚRGICO UIS  
ESPECIALISTA EN FUNDICIÓN E.S.F. FRANCIA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA METALURGICA Y CIENCIA DE MATERIALES  
GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN DESARROLLO Y TECNOLOGÍA DE NUEVOS  
MATERIALES  
BUCARAMANGA**

**2010**

## AGRADECIMIENTOS

Como autores de este proyecto presentamos nuestros más sinceros agradecimientos a:

Al profesor Arnaldo Alonso por su gran ayuda y dedicación, para conseguir los resultados que se presentan en este trabajo, además de todo el conocimiento aportado.

Al Ingeniero Eduardo Niño, Gerente de la empresa Fantaxias LTDA., por permitirnos desarrollar este proyecto en sus instalaciones y el apoyo que nos ha brindado.

A los trabajadores de la empresa Fantaxias LTDA., especialmente a los señores: Luis Cantillo, Ignacio Acuña, Pablo Acuña, por el tiempo que dedicaron para colaborarnos en lo que se necesitara y la disposición para ayudar.

A los amigos y compañeros que tuvieron que ver directa e indirectamente con el desarrollo de este proyecto.

## DEDICATORIA:

Como uno de los autores del proyecto dedico todo el esfuerzo, primero a Dios por todo lo que me ha permitido. A mis padres Efraín Vergara y Yannet González, que con esfuerzo y dedicación me brindado la oportunidad de alcanzar este logro fundamental en mi vida, a mis hermanos y a Pipe, que fueron un apoyo importante en este ciclo de aprendizaje. A mi familia en general por sus voces de solidaridad.

A una joven personita (mi bebe) que fue la que me dio el valor y las fuerzas para terminar con broche de oro esta etapa de mi vida y que ahora me da el ánimo de seguir luchando para hacerla feliz, a la mamá Paola Andrea Jaimes, por haber hecho parte de todo este proceso, por su apoyo en momentos de desaliento y de soledad.

A todos los amigos que estuvieron a nuestro lado durante estos años de universidad, principalmente a mi gran amigo Fabian Porras que siempre fue incondicional, y a otros como: Diego Vesga, Diego Sar, Edison, Nelson, Henry, Karito, Las Lauritas, a todos los estimo mucho y siempre viviré agradecido.

**German Ricardo Vergara González.**

## DEDICATORIA

Doy gracias a Dios por darme la oportunidad de haber podido estudiar lo que quería y en la universidad que quería, a mi madre María Edilia Ruiz por su templanza y capacidad de soportar tantos peldaños y poderme sacar adelante, a mi hermanita Elizabeth por enseñarme el valor de responsabilidad, a mi hermosa novia Jenifer Plata que nunca me abandono y siempre dio todo el cariño para que esto se consumara.

Agradezco a mi nona Evila por brindarme cariño y sus consejos, a mi tío Hernán Porrás por portarse como mi papá y su esposa Martha Vitalia por ese gran espíritu que me llenaba de fuerzas para seguir adelante, a mis tías Inés y Esperanza, por su virtud de familia.

Agradezco a mi compañero German Vergara “El Tigre”, por su paciencia y amistad sincera que siempre tuvo para conmigo, a mis amigos: Karito Vergel, Laura Ramírez, El Son Rincón, El propio Lucatoni Henry, y demás compañeros que hicieron parte de mi vida universitaria. De verdad muchas gracias.

**FABIAN JESUS PORRAS RUIZ**

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	17
1. OBJETIVOS	18
1.1 OBJETIVO GENERAL	18
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	18
2. MARCO TEORICO	19
2.1 PRINCIPIO DEL PROCESO DE COLADA EN COQUILLA POR PRESIÓN.	19
2.1.1 Velocidad del sistema de inyección.	22
2.1.2 Determinación de los parámetros del sistema de inyección.	22
2.1.3 Parámetros de llenado de la cavidad del molde	27
2.1.3.1 Teoría de llenado de la cavidad del molde.	28
2.1.3.2 Calculo de los parámetros de llenado de la cavidad del molde.	28
2.1.3.3 Calculo de las dimensiones del sistema de alimentación	35
2.1.3.4 Dependencia reciproca entre los parámetros de llenado del molde.	38
3. MAQUINAS DE MOLDEO POR PRESIÓN.	41
3.1 SISTEMA CONSTRUCTIVO DE LA MÁQUINA DE FUNDICIÓN POR PRESIÓN.	42
3.1.1 Sistema generador de energía hidráulica.	42
3.1.2 Sistema de aprovechamiento de la energía.	43
3.2 CARACTERÍSTICAS OPERATIVAS DE LA MÁQUINA DE FUNDICIÓN A PRESIÓN.	49
3.3 MOLDES EN COQUILLA PARA FUNDICION A PRESION	51
3.3.1 Características de selección del material para la fabricacion del molde.	53
3.4 UNTOS DE LA CAVIDAD DEL MOLDE	55
3.4.1 Untos desmoldantes en emulsion.	55
4.0 HORNOS PARA FUSION DE ALEACIONES DE ALUMINIO	58
4.1 TIPOS DE HORNOS PARA FUSION DE ALUMINIO.	58
4.1.1 Crisoles usados en la fusion de aluminio.	60
4.1.2 Herramientas para fusion.	63

4.2	PROBLEMAS RELACIONADOS CON LA FUSION DE ALUMINIO	63
4.2.1	Absorcion de gas por el baño metalico de aluminio.	64
4.2.1.1	Metodos usados para desgacificar baños de aluminio.	65
4.2.2	Fundentes utilizados en fundición de aluminio.	67
4.3	DEFECTOLOGIA DE LAS PIEZAS PRODUCIDAS, POR FUNDICIÓN A PRESIÓN.	68
5.	ANÁLISIS DEL PROCESO DE FUNDICIÓN A PRESIÓN, APLICADO AL PROYECTO DE INYECCIÓN DE ALUMINIO EN LA EMPRESA FANTAXIAS LTDA.	71
5.1	ANÁLISIS DE LAS ALEACIONES QUE MEJOR SE ADAPTAN AL PROCESO DE INYECCIÓN.	71
5.1.1	Análisis comparativo entre las aleaciones de aluminio y zinc.	72
5.1.2	Análisis de las aleaciones de aluminio.	77
5.1.2.1	Las principales aleaciones de aluminio.	77
5.1.2.2	Efecto de los elementos de aleación, sobre la aleación Al-Si.	81
5.1	SELECCIÓN DE LAS ALEACIONES DE AL-SI, PARA SER USADAS EN EL PROCESO DE COLADA POR INYECCION.	83
6.	ANÁLISIS DEL PROCESO DE INYECCIÓN Y CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DE COLADA.	86
6.1	CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DE INYECCIÓN DE LAS ALEACIONES AL-SI.	86
6.2	PARÁMETROS IMPORTANTES A TENER EN CUENTA PARA CONSEGUIR PIEZAS DE ALEACIONES BASE ALUMINIO CON BUEN ACABADO	89
6.2.1	Llenado del contenedor.	89
6.2.2	Aspectos importantes del llenado del molde con aleaciones Al-Si.	89
6.2.3	Aspectos importantes para el diseño de ataques de colada de las aleaciones Al-Si.	90
7.	CALCULO DE LOS PARÁMETROS DE INYECCIÓN DE UNA PIEZA PARA USO DECORATIVO EN LA MÁQUINA ZITAI 1100 TP, PROPIEDAD DE FANTAXIAS LTDA.	92
7.1	CALCULO TEÓRICO DE LOS PARÁMETROS DE INYECCIÓN	92
7.2	CALCULO DEL PARÁMETRO DE INYECCIÓN EN FORMA GRAFICA.	96
8.	ANÁLISIS DEL PROCESO DE FUSIÓN POR COLADA A PRESIÓN EN LA EMPRESA FANTAXIAS LTDA.	99
9.	OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES	102
	BIBLIOGRAFIA	104

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Principio de inyección con acumulador de presión y multiplicador	20
Figura 2: Variación de presión y velocidad en la trayectoria del pistón de inyección.	21
Figura 3: Diagrama $P/Q^2$ para la primera y segunda fase de inyección.	22
Figura 4: Grado de llenado del contenedor.	23
Figura 5: Determinación de presión final sobre el metal.	27
Figura 6. Teorías de llenado según Brant y Frommer.	28
Figura 7: Tiempo de llenado de la cavidad del molde según S.D.C.E.	30
Figura 8: Cálculo del caudal de llenado de la cavidad del molde.	32
Figura 9: Presión requerida para acelerar la velocidad de la aleación de aluminio.	35
Figura 10: Sistema de alimentación del molde.	36
Figura 11: Forma y dimensiones del canal de colada	37
Figura 12: Interrelación de los parámetros de llenado del molde	40
Figura 13: Tipos de maquinas de colada por presión, a) Cámara fría, b) Cámara caliente.	41
Figura 14: Válvulas de doble pasó.	43
Figura 15: Perfil del grupo prensa.	44
Figura 16: Fuerza producidas sobre grupo prensa.	45
Figura 17: Sistema expulsor del molde.	46
Figura 18: Esquema sistema de pistón flotante y convencional	47
Figura 19: Contenedor y el pistón de inyección.	49

Figura 20: Defectos causados por el ajuste inadecuado de los parámetros de inyección. a) flujo de metal deficiente en la cavidad. b) flujo irregular debido a incoherente movimiento del pistón (turbulencia). c) presión muy alta en la cavidad.	50
Figura 21: Esquema un molde en coquilla.	51
Figura 22: Caracterización de una pieza fundida.	53
Figura 23: Composición esquemática de la mezcla.	56
Figura 24. Esquema mecanismo de rociado del lubricante.	57
Figura 25: Tipos de horno de crisol.	60
Figura 26: solubilidad del hidrogeno en función de la temperatura en diferentes metales.	64
Figura 27: Comportamiento en el precio de aluminio de 2005 a 2010.	75
Figura 28: comportamiento en el precio de zinc de 2005 a 2010.	76
Figura 29: Diagrama de equilibrio Al-Cu.	78
Figura 30: Diagrama de equilibrio Aluminio-Silicio.	80
Figura 31: Microestructura de una aleación de Al-Si a) sin modificación, b) modificado.	81
Figura 32: Ventana de control del proceso de Die Casting para aleaciones aluminio.	88
Figura 33: Nomograma para inyección de metales ligeros según E. Brunhuber.	97
Figura34: A) Esquema horno de crisol. B) Esquema horno de reverbero.	100

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1: Tiempo de llenado de la cavidad del molde según Benet.	30
Tabla 2. Formulas para el cálculo de parámetros de colada.	34
Tabla 3: Selección de espesores del ataque según las exigencias de la pieza.	39
Tabla 4: Composición química porcentaje en peso del acero utilizado para la construcción de moldes metálicos.	54
Tabla 5: Emulsificantes.	55
Tabla 6: Aditivos para la emulsión	56
Tabla 7: Valores de la solubilidad del hidrogeno en el aluminio puro para diferentes temperaturas, según Ransley y Neufelld.	65
Tabla 8: composición de mezclas utilizadas como fundentes desgasificadores y limpiadores en la fusión de aleaciones ligeras(base cloruro de zinc).	66
Tabla 9: Problemas en las piezas en fundición por presión, causados por funcionamiento irregular del mecanismo de la máquina:	70
Tabla 10: Paralelo de las propiedades termofísicas y termodinámicas del aluminio y el zinc.	72
Tabla 11: Propiedades físicas y mecánicas de las aleaciones de Zinc y Aluminio.	74
Tabla 12: Especificaciones aleación base aluminio AISi8Cu3.	84
Tabla 13: Especificaciones aleación base aluminio AISi12Cu.	84
Tabla 14: Especificaciones aleación base aluminio AISi12Cu2.	84
Tabla 15: especificaciones aleación base aluminio AISi9CuMg0.3.	85
Tabla 16: Condiciones necesarias en las fases de inyección.	87

## RESUMEN.

**TITULO:** ESTUDIO DEL PROCESO DE MOLDEO EN COQUILLA POR PRESION PARA LA FABRICACION DE PIEZAS DECORATIVAS EN LA EMPRESA FANTAXIAS LTDA.\*

**AUTORES:** PORRAS RUIZ, Fabian Jesús. VERGARA GONZALEZ, Germán Ricardo.\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Inyección, aleaciones de aluminio, presión, fundición.

### DESCRIPCION:

Las tendencias mundiales en la industria de la fabricación de piezas decorativas se encaminan hacia el uso de materiales alternativos, que favorezcan el desarrollo de las empresas.

El presente trabajo hace parte de un macroproyecto de la empresa FANTAXIAS LTDA, en el cual se establecen los parámetros del proceso de inyección, en la fabricación piezas decorativas en aleaciones de aluminio por fundición a presión.

El proceso de inyección a presión, surge para la fabricación de piezas de espesores muy delgados, favoreciendo la producción en serie. Es por esto que la empresa, debido al tipo de piezas que fabrica, trabaja en la actualidad dicho proceso con aleaciones de zinc, estas aleaciones presentan buenas propiedades, sin embargo, se han hecho a un lado por parte de la industria debido a su alta densidad, ya que en el momento de exportación, el costo de aumenta por su elevado peso. Es así que por competitividad y crecimiento de la empresa ha decidido innovar con un metal diferente como lo es el aluminio.

Las aleaciones de aluminio seleccionadas para poner en marcha el proceso, son las aleaciones Al-Si, las cuales presentan excelentes propiedades como su baja densidad y elevada resistencia. Esta selección se hizo por medio de un estudio detallado de aleaciones base aluminio, además teniendo en cuenta la norma ASTM B85/B85M-09 "Standard Specification for Aluminum-Alloy Die Castings".

\* Trabajo de Grado.

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica. Director: Amaldo Alonso Baquero.

## ABSTRACT

**TITLE:** STUDY OF PRESSURE DIECASTING FOR DECORATIVE PARTS MANUFACTURING IN THE COMPANY FANTAXIAS LTDA.\*

**AUTHORS:** PORRAS RUIZ, Fabián Jesús. VERGARA GONZALEZ, Germán Ricardo. \*\*

**KEY WORDS:** Injection, aluminum alloy, pressure, casting.

### DESCRIPTION:

Global trends in the manufacturing industry of decorative pieces are routed to the use of alternative materials, which promote enterprise development.

This work is part of a larger project in the company FANTAXIAS LTD, where injection process parameters are set for manufacturing decorative aluminum alloys die casting.

The pressure injection process comes up for manufacturing very thin thickness elements, favoring mass production. That is why the company, due to the type of parts manufactured, is currently working the process with zinc alloys. These alloys have good properties, however, the Industry have pushed them aside due to its high density, since at the time of export, the cost increases due to the high weight. Thus, for competitiveness and growth of the company, they have decided to innovate with a different metal as it is aluminum.

Aluminum alloys selected to start the process, are Al-Si alloys, which have excellent properties such as low density and high strength. This selection was made through a detailed study of aluminum-based alloys, also taking into account the B85/B85M-09 ASTM "Standard Specification for Aluminum-Alloy Die Castings."

\* Degree work.

\*\* Physical / Chemical Engineering Faculty. School of Metallurgical. Director: Amaldo Alonso Baquero.

## INTRODUCCION.

La empresa **FANTAXIAS LTDA** es una empresa ubicada en la ciudad de Bucaramanga en la calle 28 # 6 -56, Barrio Girardot, con 20 años de experiencia en la elaboración de hebillas, herrajes, regalos institucionales y artículos de ferretería; elaborados en el proceso de fundición a presión y troquelados para la decoración utilizando como materia prima aleaciones en base zinc (ZAMAC). Proceso que han logrado mejorar a lo largo de años de experiencia posicionándose como una de las mejores empresas en esta rama a nivel nacional; logrando así en el año 2003 la certificación de la norma ISO 9001 otorgada por la SGS y en vía de implantar la norma ISO 14000 e ISO 18000, debido a su constante desarrollo y mejoramiento de su calidad.

Debido a que **FANTAXIAS LTDA** quiere expandir su portafolio de servicios, para el cual ha emprendido un plan para fabricar piezas en aleaciones de aluminio, mediante el proceso de moldeo en coquilla a presión, ha optado como primera medida dentro del proceso de fabricación, y con el convenio de la **ESCUELA DE INGENIERIA METALURGICA Y CIENCIA DE MATERIALES (UIS)**, implementar la documentación necesaria y suficiente en lo concerniente a las variables que afectan el proceso.

## **1. OBJETIVOS.**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL.**

Realizar un estudio sobre los principios que rigen el proceso de moldeo en coquilla por inyección con el fin de establecer parámetros para la fabricación de piezas en aluminio.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.**

- Analizar los diferentes parámetros que intervienen en el desarrollo del proceso (variables operacionales de la máquina de inyección, sistema de llenado, untos refractarios, lubricación de la máquina y el molde).
- Seleccionar las aleaciones de aluminio que mejor se adapte al proceso de colada por inyección.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 PRINCIPIO DEL PROCESO DE COLADA EN COQUILLA POR PRESIÓN

El proceso de colada en coquilla a presión, se basa en introducir un metal o su aleación en estado líquido dentro de un molde a alta velocidad, la cual es producida por un pistón que es empujado por un sistema hidráulico [1].

Para realizar este procedimiento la máquina de inyección está dotada de un sistema de bombas de flujo y válvulas hidráulicas, que son las encargadas de producir y regular el flujo del líquido hidráulico, para generar el movimiento que lleve al metal al interior de la cavidad del molde.

La característica principal de este proceso, son los espesores de la pieza que se pueden conseguir, pues en el proceso de colada tradicional en arena, conseguir espesores de 0,157 a 0,192 pulgadas es casi imposible, mientras que en el moldeo bajo presión, fácilmente se consiguen [2].

Para comprender mejor el funcionamiento del sistema de inyección se debe entender el mecanismo, por medio del cual se introduce el metal en la cavidad del molde, esto ocurre en tres etapas diferentes según el movimiento del pistón:

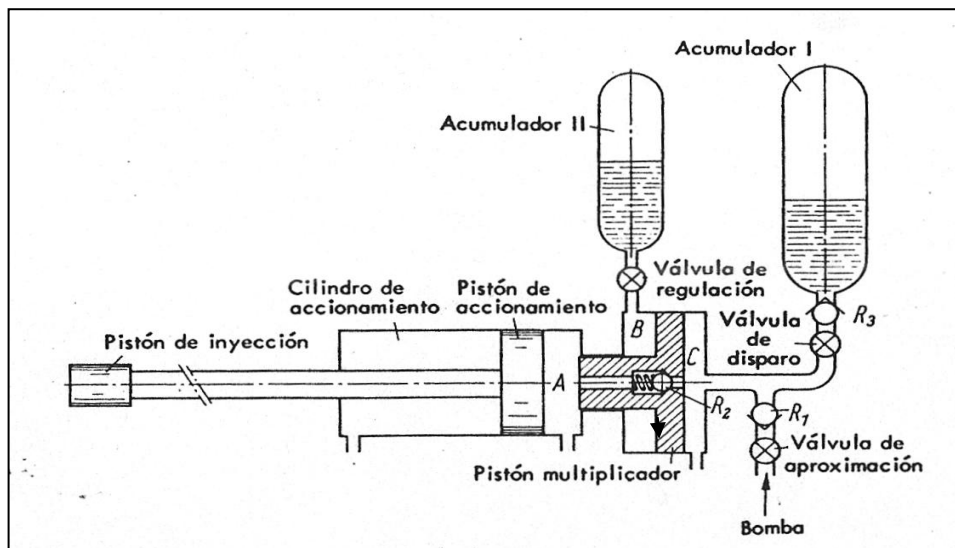
**1ª fase: Prellenado del molde:** el metal es empujado a baja velocidad, para eliminar el aire que se encuentra en la cámara de llenado (contenedor) de la máquina, y evitar que entre en la cavidad del molde.

**2ª fase: Llenado de la cavidad:** la velocidad de avance del pistón aumenta para que el tiempo de llenado sea mínimo; permitiendo llenar la cavidad antes que el metal solidifique.

**3ª fase: Presión sobre el metal en fase de solidificación:** el pistón de inyección ejerce presión sobre el metal que está en la cavidad, introduciendo la cantidad de aleación necesaria para contrarrestar la contracción del metal durante su solidificación.

Por medio de la figura 1, se realiza una explicación de cómo funciona el sistema hidráulico de la máquina, para producir las condiciones del movimiento, requeridas en cada etapa de inyección.

**Figura 1. Principio de inyección con acumulador de presión y multiplicador**



Fuente: Brunhuber, 1968

El funcionamiento del sistema empieza, cuando es accionada la válvula de aproximación (R1), y el fluido entra en la cavidad C, pasando luego a través de la válvula del pistón multiplicador (R2) a la cavidad A, en donde ejerce una baja presión sobre el pistón de accionamiento produciendo un desplazamiento lento durante la primera fase de inyección.

Luego en la segunda fase, se cierra la válvula (R1) y se abre la válvula de disparo (R3), el fluido recorre el mismo trayecto que en la primera fase, hasta llegar a la cavidad A. El aumento de presión en esta fase, es debido a que el Acumulador I; acumula y mantiene

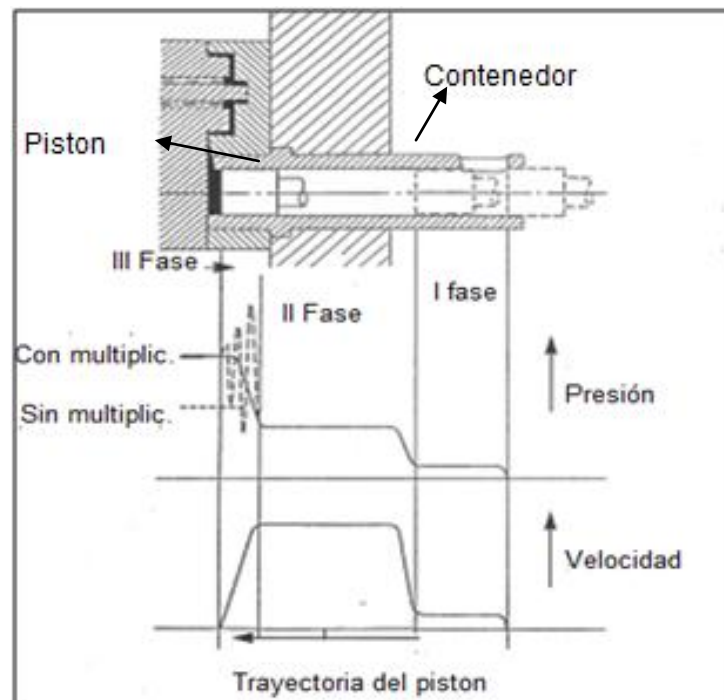
una presión en su interior la cual es liberada para acelerar el pistón en segunda fase, caracterizada por una alta velocidad del pistón.

Para conseguir la presión que comprime el metal en la cavidad del molde, se debe recurrir a un multiplicador de presión, el cual es accionado en el momento en que la cavidad A tiene la presión del fluido de primera y segunda fase, de tal manera que se bloquea la válvula de paso (R2), y hace que la presión remanente en el Acumulador I, empuje al multiplicador aumentando drásticamente la presión del pistón sobre el metal.

El Acumulador II, produce una contrapresión sobre el multiplicador para evitar que este se mueva durante las dos primeras fases y regula el movimiento del multiplicador en la tercera fase de inyección.

En la grafica 2, se observa los cambios de presión y velocidad, que ocurren durante el desplazamiento del pistón, a través de cada una de las tres fases de inyección del metal.

**Figura 2: Variación de presión y velocidad en la trayectoria del pistón de inyección.**



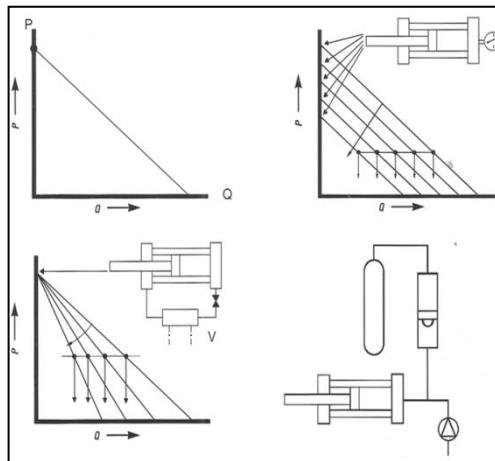
*Fuente: Promesano, 1993.*

### 2.1.1 Velocidad del sistema de inyección

La velocidad de cada fase de inyección es proporcional al caudal de fluido y al volumen del pistón. Esta velocidad de cada una de las fase puede ser calculada de la relación presión/ caudal de la bomba, controlada por la válvula de flujo. El caudal del sistema hidráulico esta caracterizado por el diagrama  $P/Q^2$ , como se observa en la figura 3.

Estos diagramas, son característicos para cada máquina de inyección, y para la presión del liquido en cada fase, por lo que estos diagramas deben ser establecidos por el constructor de la maquina.

**Figura 3: Diagrama  $P/Q^2$  para la primera y segunda fase de inyección.**



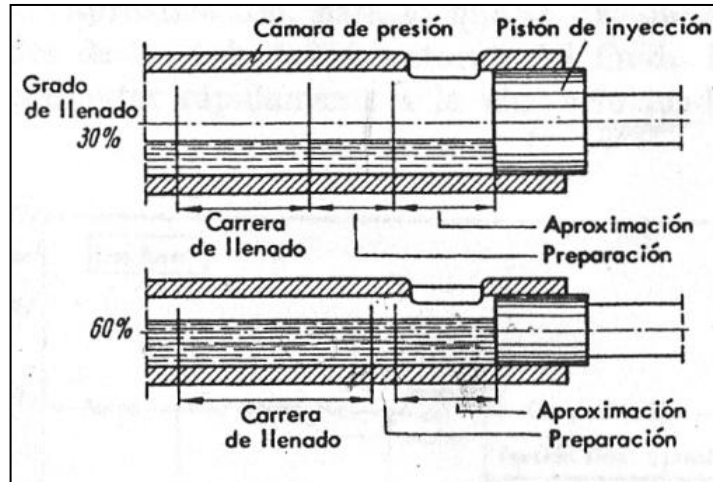
Fuente: Promesano, 1993.

### 2.1.2 Determinación de los parámetros del sistema de inyección

En el procedimiento de inyección a presión de cámara fría, la calidad de las piezas viene determinada por una multitud de parámetros de funcionamiento. A continuación se habla de ellos y la forma en que pueden ser calculados.

Uno de los más parámetros importantes es el grado de llenado o nivel de metal dentro del contenedor, como se ve en la figura 4. Este debe ser del orden de 60 a 80% para evitar trastornos en los puntos de aplicación de cada una de las tres fases.

**Figura 4: Grado de llenado del contenedor.**



Fuente: Brunhuber, 1968.

La forma de determinar este parámetro está dada por la siguiente ecuación:

$$t = \frac{\text{volumen de la cámara del contenedor.}}{\text{volumen de la aleación vertida.}} \quad (1)$$

En tanto el volumen del contenedor está dada por:

$$V_{\text{contenedor}} = L (\text{longitud útil del contenedor}) \times S (\text{área del pistón}) \quad (2)$$

Y el volumen de de la aleación esta dado por:

$$V_{\text{aleación}} = \frac{\text{Peso de la aleación.}}{\text{Densidad de volumen de la misma.}} \quad (3)$$

Los puntos de aplicación de cada una de las fases deben estar cuidadosamente controlados, de esta forma la trayectoria de cada una de las fases puede ser calculada por ecuaciones (4) y (5).

$$\text{Tray 1} = \text{long útil del contenedor} \times \text{grado de llenado.} \quad (4)$$

La trayectoria del pistón en la primera fase de inyección, debe sobrepasar totalmente la boca del contenedor de la máquina de inyección.

La trayectoria para la segunda fase de inyección se puede determinar por la relación volumen de la aleación/ sección del pistón, así:

$$\text{Tray 2} = \frac{\text{Volumen de aleación vertida.}}{\text{Sección del piston.}} \quad (5)$$

En la tercera fase de llenado la aleación está en fase de solidificación por lo que se produce una contracción. Para entender mejor este fenómeno se recurre la contracción que presenta el aluminio de la siguiente manera: la densidad del aluminio sólido es de de 2,7 kg/dm<sup>3</sup> y en estado líquido de 2,5 kg/dm<sup>3</sup> la contracción sobre un dm<sup>3</sup> es:

$$\text{Contraccion} = \frac{2,7-2,5}{2,7} = \frac{0,2}{2,7} = 0,074 \quad (6)$$

De esta forma se puede hallar la cantidad de contracción en un metal al solidificar.

A continuación, se presentan formulas que permiten el cálculo de las fuerzas y presiones, producidas por el sistema de inyección durante el llenado de cavidad del molde:

- Cálculo de la fuerza producida por el fluido sobre el pistón de accionamiento (**F**) en primera o segunda fase :

$$F = P_f \times A_c \quad (7)$$

- Cálculo de la presión ejercida sobre aleación fundida, en segunda fase (**Pg**):

$$P_g = \frac{F}{A_p} \quad (8)$$

- Cálculo de la presión producida por el multiplicador (**Pm**):

$$P_m = P_f \times \frac{S_{mayor}}{S_{menor}} \quad (9)$$

- Cálculo de la fuerza producida por el multiplicador sobre el cilindro de accionamiento (**F3**):

$$F_3 = P_m \times A_c \quad (10)$$

- Cálculo de la fuerza ejercida sobre el metal en fase de compactación (**Pg3**):

$$P_{g3} = \frac{F_3}{A_p} \quad (11)$$

De donde:

**Ac**: Área del cilindro de inyección.

**Ap**: Área del pistón de inyección.

- Cálculo de la fuerza de cierre de la maquina:

En tercera fase, la maquina ejerce una presión elevada sobre la aleación durante la solidificación, produciendo una fuerza de reacción que tiende a separar los moldes en posición de cierre (fuerza de apertura). La fuerza de cierre es la encargada de vencer esta fuerza de reacción, manteniendo los semimoldes juntos durante el llenado, la magnitud de fuerza caracteriza el tamaño de la maquina.

La fuerza de cierre debe ser entre un 10 a 20% mayor, que la fuerza de apertura en todo momento, para evitar la apertura del grupo prensa, estas fuerzas se pueden calcular de la siguiente manera:

$$\text{Fuerza de cierre} = 1.2 * (\text{Fuerza de apertura}) \quad (12)$$

Mientras que la fuerza de apertura se halla de la siguiente forma:

$$\text{Fuerza de apertura: } (P_3) * (A_{\text{proy.}}) \quad (13)$$

De donde:

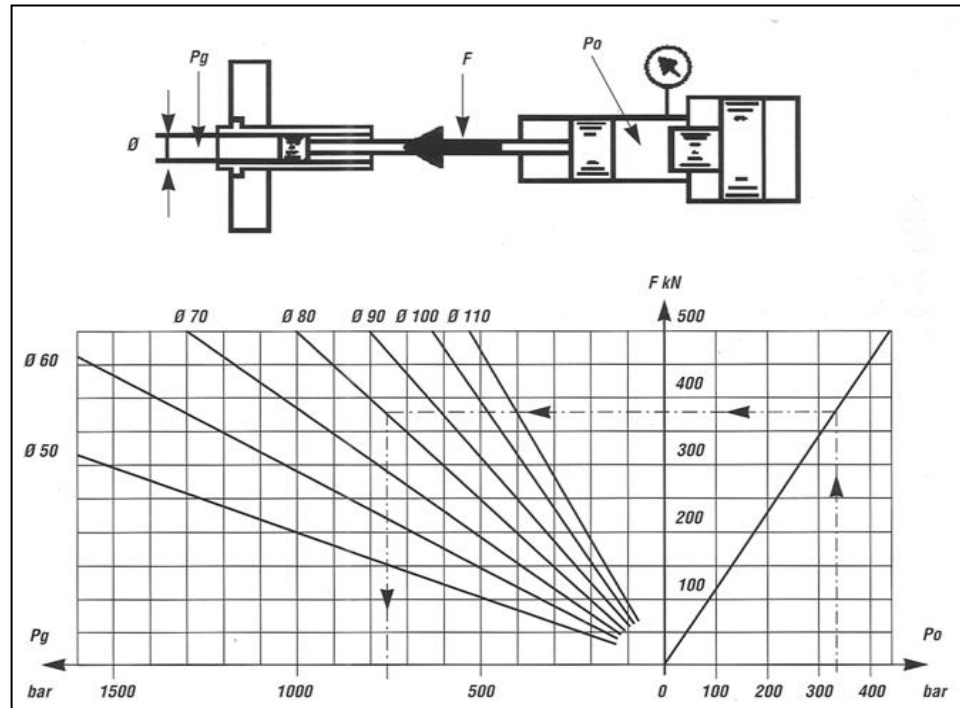
$P_3$  = Presión ejercida sobre el metal en tercera fase.

$A_{\text{proy.}}$  = Área de la cavidad proyectada sobre el plano de partición.

Según D.J. Sloane [3], en un numero de ejemplos sacados de la práctica, puede observarse que repetidamente la fuerza de reacción real es menor que la teórica, y esto resulta de vital importancia para el funcionamiento practico de la fundición a presión, ya que permite la posibilidad de trabajar con maquinas de menor fuerza de cierre.

Sin embargo, estos parámetros pueden ser calculados por medio de graficas establecidas, como la que se observa a continuación (figura 5), en la cual por medio del diámetro del pistón de inyección y la presión del fluido, podemos hallar la presión sobre la aleación.

**Figura 5: Determinación de presión final sobre el metal.**



Fuente: Andreoni, 1993.

### 2.1.3 Parámetros de llenado de la cavidad del molde

Hablar del proceso de inyección y en especial inyección de aluminio, hay que tener en cuenta los parámetros que afectan la calidad de las piezas, como: velocidad del pistón, velocidad de llenado, temperatura del molde y temperatura de la aleación a inyectar [4].

Es importante antes de hablar del cálculo de los parámetros, discutir acerca de la forma en la cual el metal fundido llena la cavidad del molde, según los investigadores que proponen sus teorías para explicar este fenómeno.

### 2.1.3.1 Teorías de llenado

En las cuales según Frommer, establece que el metal entra proyectado por el canal de colada hasta la pared posterior de la cavidad, así el llenado se realiza de adentro hacia afuera, produciendo un mínimo contacto del flujo con las paredes del molde y llamo su teoría “Llenado a chorro” [5]. Por otro lado el investigador Brent, establece que el metal llena la cavidad empezando desde el ataque de colada hasta la parte posterior produciendo contacto permanente con las paredes, enfriando más rápido el metal. Brent llamo su teoría “Llenado por almacenamiento” [6].

**Figura 6. Teorías de llenado según Brant y Frommer.**



Fuente: Promesano, 1993.

### 2.1.3.2 Cálculos de los parámetros de llenado de la cavidad del molde

A continuación se dan las pautas, que permiten calcular cada uno de los parámetros que influyen en el llenado de la cavidad del molde.

- **Calculo del espesor medio de la pieza**

Las diferentes formas y componentes de la pieza producen la no uniformidad de los espesores de esta. Para hacer más fácil el cálculo de este parámetro se debe asumir la

pieza como una placa plana de espesores uniformes en solidificación, de esta forma el espesor puede ser determinado de la siguiente forma:

$$\mathbf{Espesor\ medio} = \frac{\mathbf{Volumen\ de\ la\ pieza}}{\mathbf{Superficie\ de\ la\ pieza}} \quad (14)$$

Aunque la formula no presenta lo que en realidad sucede, es muy cercano a la realidad.

- **Modulo de refrigeración**

El modulo de refrigeración, pretende representar el comportamiento de enfriamiento de la pieza en medio de los dos semimoldes.

$$\mathbf{Modulo\ de\ refrigeracion} = \frac{\mathbf{Espesor\ medio\ convencional}}{2} \quad (15)$$

Las cantidades de calor intercambiado entre la aleación y el molde dependen de: el calor latente de la aleación, de la temperatura liberada en el momento de ejercer presión sobre el metal, además de la capa de lubricante y la velocidad de inyección [7].

- **Tiempo de llenado de la cavidad**

El tiempo de llenado de la cavidad es el parámetro más importante del proceso, por lo que se requiere el tiempo más corto para que el metal llene la cavidad antes de que empiece a solidificar. Este tiempo está relacionado directamente al espesor de la pieza.

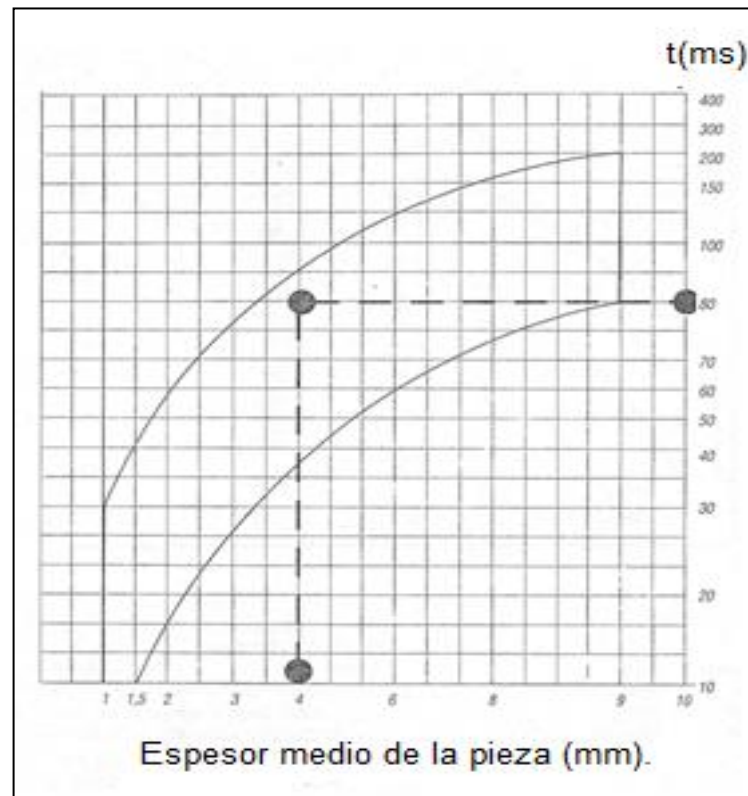
Estos tiempos de llenado están dados en tablas ya establecidas, por autores como Benet y la SDCE, y otros, siendo estos dos autores los que más se acercaron a la realidad, a continuación se presentan ejemplos de estas tablas:

**Tabla 1: Tiempo de llenado de la cavidad del molde según Benet.**

Espesores (mm).	Tiempo de llenado(s).
1,5	0,01 - 0,03
1,8	0,02 - 0,04
2,0	0,02 - 0,06
2,3	0,03 - 0,07
2,5	0,04 - 0,09
3,0	0,05 - 0,10
3,8	0,05 - 0,12
5,0	0,08 - 0,30

Fuente: Andreoni, 1993.

**Figura 7: Tiempo de llenado de la cavidad del molde según S.D.C.E.**



Fuente: Society of Die Casting Engineers, 1993

- **Cálculo del volumen de la cavidad del molde**

El volumen de la cavidad está compuesto por el volumen de la pieza más el volumen del sistema de llenado, entonces tenemos que:

$$\mathbf{Volumen\ de\ la\ pieza\ (dm^3) = \frac{Peso\ de\ la\ pieza + peso\ sist.\ llenado(Kg)}{Peso\ especifico\ de\ la\ aleacion(Kg/dm^3)}} \quad (16)$$

El peso específico de las aleaciones de aluminio se considera como 2,5 Kg/dm<sup>3</sup>.

- **Calculo de la velocidad de la velocidad del metal en el ataque de colada.**

La velocidad del ataque de colada está condicionada por la resistencia al flujo del metal fundido, y puede ser calculada de la siguiente manera:

$$\mathbf{Velocidad\ del\ ataque\ de\ colada = \frac{Area\ del\ piston}{Area\ del\ ataque} \times velocidad\ del\ piston.} \quad (17)$$

- **Calculo del caudal de llenado de la cavidad del molde**

Para llenar la cavidad del molde en un tiempo corto definido por los espesores de la pieza, es necesario que por la boca del ataque pase un determinado caudal Q m<sup>3</sup>/s, el cual se puede calcular de la siguiente manera:

$$\mathbf{Caudal\ (Q) = \frac{Volumen\ de\ aleacion\ transferida}{Tiempo\ de\ llenado}} \quad (18)$$

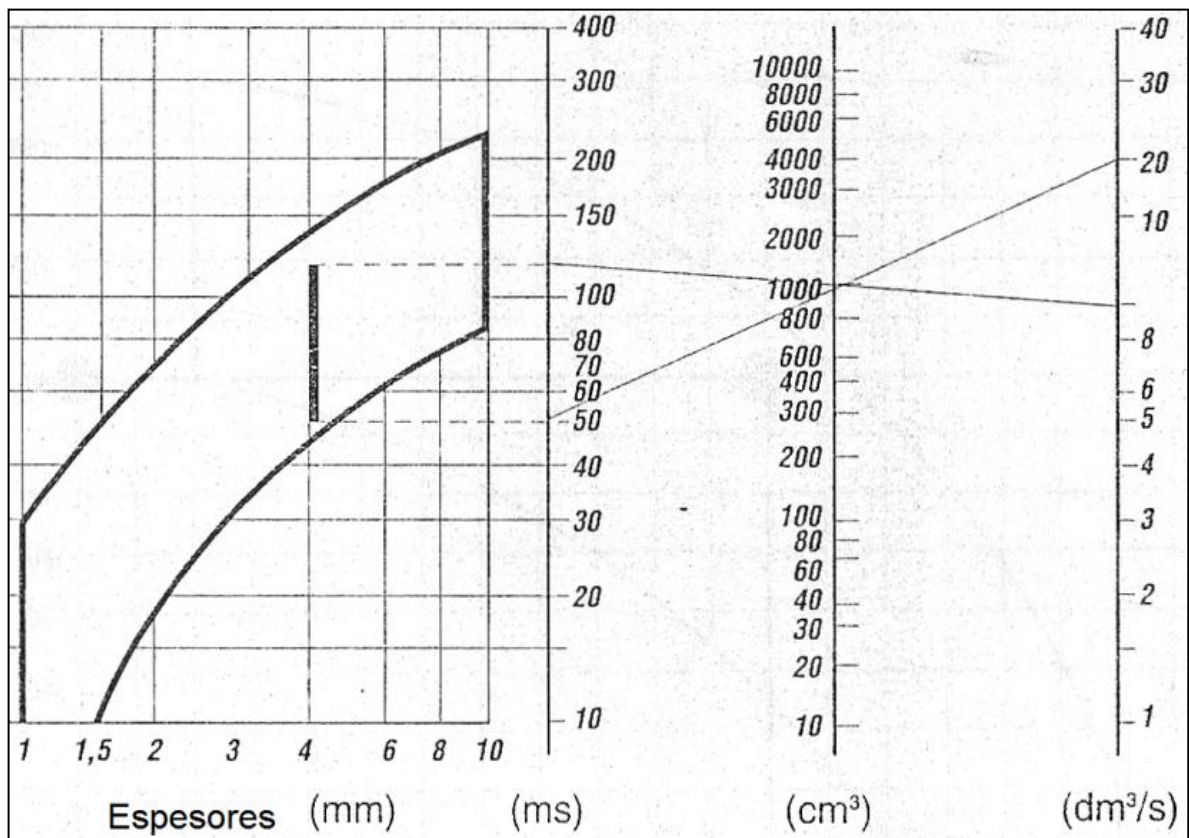
Calculo de Q, en función de la velocidad de ataque y sección del ataque esta dado por:

$$\mathbf{Caudal\ (Q) = Area\ del\ ataque(dm^3) \times Velocidad\ del\ del\ metal(dm/s)} \quad (19)$$

El caudal en el ataque también puede ser tratado con la técnica  $P/Q^2$ , este diagrama está dado para conocer la capacidad de bombeo de la máquina, y se utiliza para conocer lo que ocurre cuando un molde se monta en la máquina, permitiendo predecir las características del flujo a través del ataque de colada [8].

En la literatura, se encuentran gráficas ya establecidas (Ver figura 9.), para el cálculo del caudal en función del espesor de la pieza, el volumen de la misma y el tiempo de llenado.

**Figura 8: Cálculo del caudal de llenado de la cavidad del molde.**



Fuente: Promesano. 1993.

- **Calculo de la presión ejercida sobre el metal en fase de llenado**

El metal en fase de llenado, necesita una presión para alcanzar la velocidad requerida al introducir el metal en la cavidad del molde. La relación entre la presión y la velocidad de ataque, está dada por la ecuación de Bernoulli:

$$Ug = Cd \frac{1}{p} P \tag{20}$$

**Donde:**

$Ug$  = velocidad de colada.

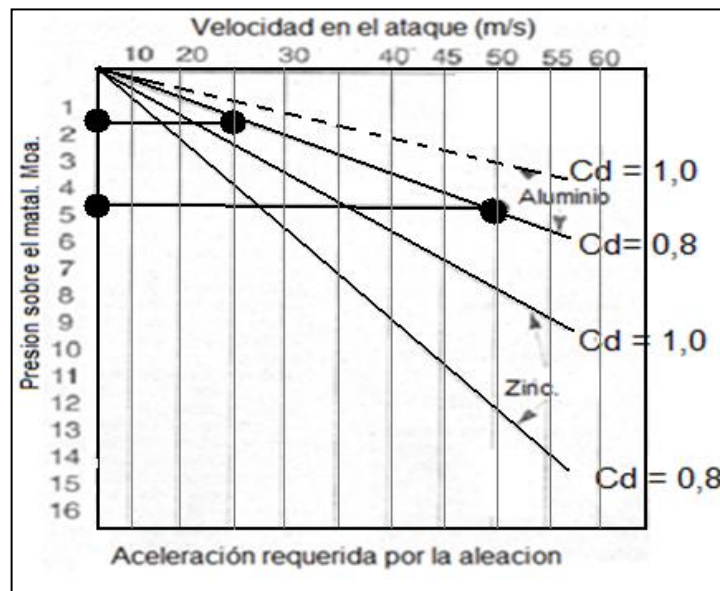
$Cd$  = coeficiente de descarga del ataque (0,8).

$P$  = presión aplicada sobre el metal

$p$  = peso específico de la fundición

En la grafica 9, se reporta la forma de calcular la presión necesaria para producir el flujo del metal, en función de la velocidad en el ataque de colada, con dos ejemplos: para velocidades de 25 y 50m/s y coeficiente 0,8, se requiere presiones de 1,5 y 4,8 Mpa respectivamente.

**Figura 9: Presión requerida para acelerar la velocidad de la aleacion de aluminio.**



Fuente: Case, 1993.

En la tabla 2, se presentan otras formulas útiles para el cálculo de parámetros de llenado de la cavidad del molde.

**Tabla 2. Formulas para el cálculo de parámetros de colada.**

Formula	Variables
$W = \frac{Q}{A}$	W: Velocidad del metal en el ataque de colada.
$Q = \frac{V}{t}$	Q: Caudal de llenado. t: tiempo de llenado.
$A = \frac{Q}{W}$	A: Sección del ataque de colada
$V = \frac{P}{Ps}$	V: Volumen de la pieza. P: Peso de la pieza. Ps: Peso especifico de la aleacion.
$Wp = \frac{Q}{(d^2 \times 3,14)/4}$	Wp: Velocidad del pistón (2º Fase). d: Diámetro del pistón.

Fuente: El autor.

- **Temperatura de la cavidad del molde**

La temperatura de precalentamiento del molde, debe ser bien establecida, para que ayude a un buen flujo de llenado. Si esta es muy alta, el tiempo de solidificación será mayor. Los ingenieros de Aurrenak [9], recomiendan mantenerlo en el valor más bajo posible, esto corresponde a 200°C., una temperatura más baja puede producir desgaste rápido del molde.

Sin embargo, estadísticamente se encuentra que el valor de la temperatura de precalentamiento está entre 230 y 250°C.

- **Temperatura de la aleacion fundida**

La aleación debe mantener una temperatura que le permita permanecer fluida a lo largo del trayecto, sin embargo, una temperatura baja puede causar uniones frías, y una demasiada alta puede aumentar el tiempo de solidificación y provoca el crecimiento de la microestructura de la aleación. Para las aleaciones Al-Si Y Al-Si-Cu, la temperatura de inyección debe estar entre

un mínimo de 620°C., y un máximo de 700°C., pero la mayoría de estas aleaciones se inyectan a temperatura de 660°C.

### 2.1.3.3 Aspectos importantes para el diseño del sistema de alimentación

El sistema de colada, es el encargado de llevar el metal hasta la cavidad del molde para ser llenada. El sistema está compuesto por el bebedero, el canal y los ataques de colada. En la figura 10, se representa el dispositivo completo.

Este dispositivo cumple tres funciones principales:

1. Canaliza el metal fundido hacia la cavidad del molde.
2. Evacua el aire y el gas para asegurar un buen llenado.
3. Asegurar las mínimas pérdidas de presión para obtener piezas sanas y completas.

- **Aspectos para tener en cuenta en el diseño de bebederos:**

El bebedero, es la unión entre el contenedor de la maquina y la entrada del molde. Por allí ingresa el metal que viene empujado por el pistón, quedando al final de la segunda fase metal en exceso que contrarresta la contracción, al ejercer presión sobre él.

La altura del bebedero relacionada con el diámetro puede ser calculada de la siguiente manera, según los requerimientos de la pieza:

*Piezas resistentes y aspecto exigente:* 
$$h = \frac{D}{3} \quad (21)$$

*Piezas de baja exigencia:* 
$$h = \frac{D}{4} \quad (22)$$

O también, la altura se puede calcular así:

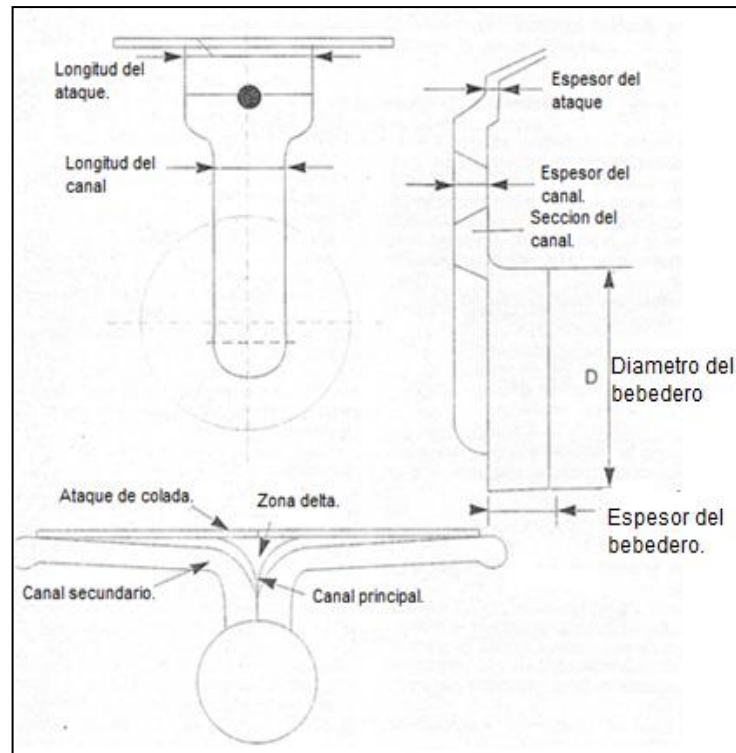
$$h = \frac{1}{3} + \text{Espesor del canal} \quad (23)$$

**Donde:**

**D:** diámetro de la mazarota.

**h:** altura de la mazarota.

**Figura 10: Sistema de alimentación del molde.**



Fuente: El molde, 1993.

- **Aspectos para tener en cuenta en el diseño del canal de colada:**

El canal de colada, es el encargado de llevar el metal fundido desde el bebedero hasta el ataque de colada, minimizando al máximo las pérdidas de presión y enfriamiento excesivo de la aleación durante el recorrido.

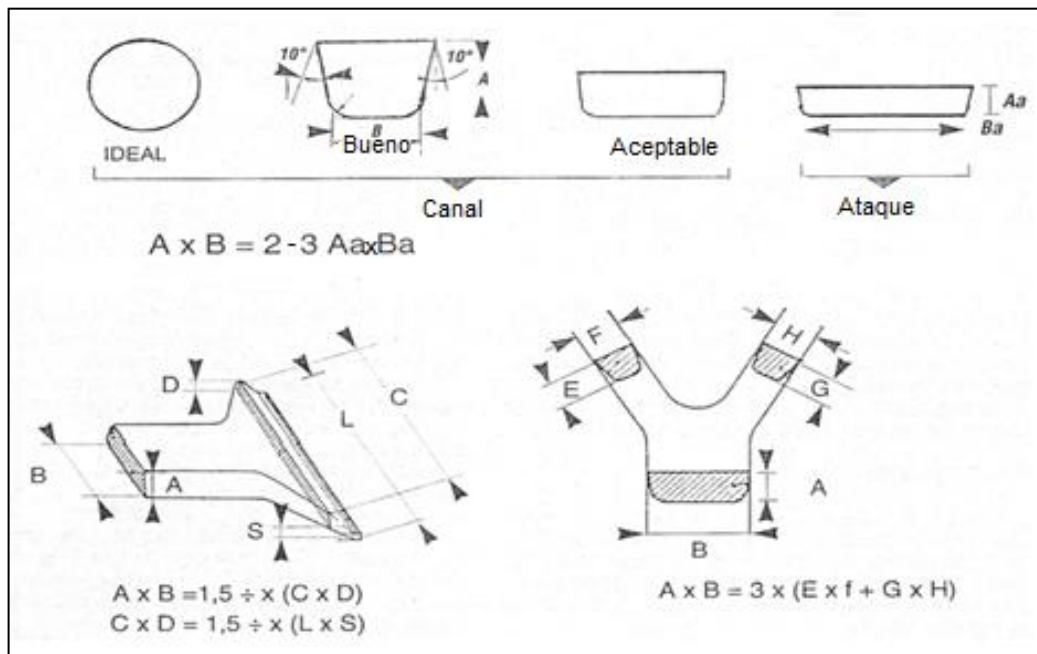
La sección del canal puede ser calculada, en relaciona a la sección del ataque de colada, así:

$$\text{Seccion del canal} = \text{seccion del ataque} \times (2 - 3) \quad (24)$$

A continuación, se describen los aspectos más importantes que se deben tener en cuenta para el diseño del canal:

1. **Forma del canal:** se debe construir de tal forma que evite al máximo perdidas de calor y mantenga una buena relación superficie/peso (Ver figura 11).
2. **Geometría del canal:** debe ser tenido en cuenta tres aspectos, debe ser lo más corto posible, no debe tener cambios bruscos de dirección y debe tener una buena reología.
3. **Aspecto reológico:** la reología es la posibilidad que presenta el canal, para permitir el flujo del metal en estado pastoso. Por lo cual el canal debe tener una buena reología.
4. **Unión entre el canal y el ataque de colada:** esta unión puede ser de varias formas según su forma y dimensiones, de la siguiente manera:
  - Según la forma: unión a difusión y tangencial.
  - Según las dimensiones: unión a sección constante y sección creciente.

**Figura 11: Forma y dimensiones del canal de colada**



Fuente: El molde, 1993.

- **Aspectos importantes para el diseño del ataque de colada:**

El ataque de colada es el conducto por la cual ingresa el metal fundido hacia la cavidad del molde, este se caracteriza por su forma de trapecoide, y por sus dimensiones de espesor (altura) y ancho del ataque. El producto de estas dos dimensiones, da como resultado la sección de ataque de colada en  $\text{mm}^2$  o  $\text{cm}^2$ , como se ve en la figura 12.

A la hora de diseñar unos adecuados ataques de colada se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

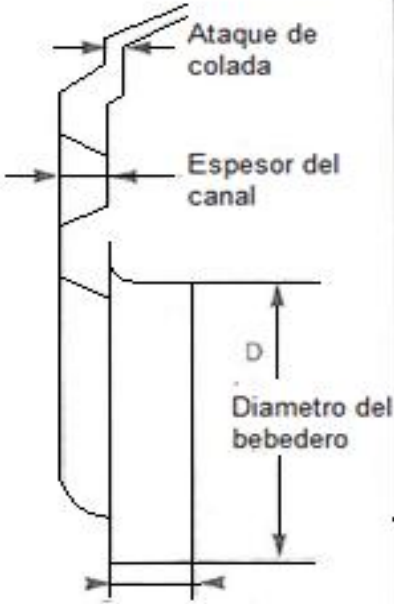
- El espesor del ataque debe ser:  $1/3$  a  $1/2$  de los espesores de la pieza.
- La velocidad de ataque con relación a su sección, determina las características del metal que ingresa a la cavidad del molde.

El tipo de piezas y las características requeridas, condicionan las dimensiones del ataque, como se observa en la tabla 3. Esta tabla nos permite la selección del espesor de ataque según los requerimientos de la pieza.

#### **2.1.3.4 Dependencia reciproca entre los parámetros de llenado del molde**

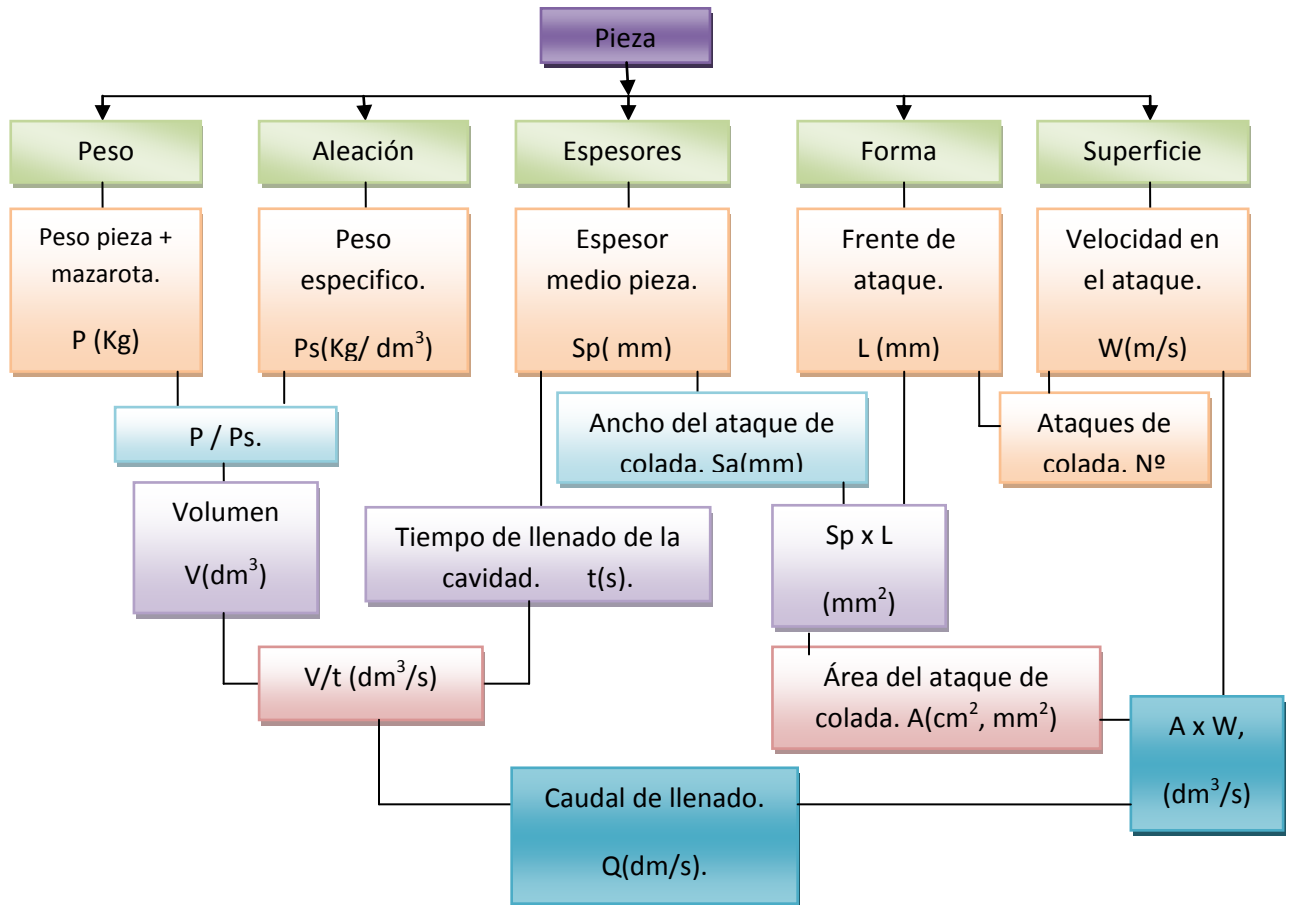
Los parámetros operativos del proceso de fundición en coquilla por presión están interrelacionados entre sí, lo que representa que el cambio de uno de estos desencadena un efecto sobre los demás parámetros, por lo cual se deben mantener ajustados permanentemente para evitar problemas dentro del proceso. Esta relación se observa en la grafica 12.

Tabla 3: Selección de espesores del ataque según las exigencias de la pieza.

Piezas que requieren alta resistencia										
Piezas con superficie extendida										
Piezas de espesor elevado										
Piezas de aspecto superficial optimo										
Tipo de aleación		AISI	AISI Cu	AISI	AISI Cu	AISI	AISI Cu	AISI	AISI Cu	
Espesores de ataque de colada		Minimo (mm)		Medio (mm)		Medio/ massimo (mm)		Massimo (mm)		
Espesor medio de la pieza		1,5	0,8	1		1	1,2			
		2	1	1,2		1,4	1,5			
		2,5	1	1,4		1,6	2			
		3	1	1,5		1,8	2	2	2,5	
		3,5	1	1,5		2	2,5	2,5	3	
		4	1,5	2	2	2,5	2,5	3	3	4
		5	1,5	2	2	3	3	4	4	4,5
		6			2	2,5	2,5	3		
		7			2,5	3	3	3,5		
		8			3	3,5	3,5	4		
		9			3	4	4	4,5		

Fuente: Case 1993.

Figura 12: Interrelación de los parámetros de llenado del molde



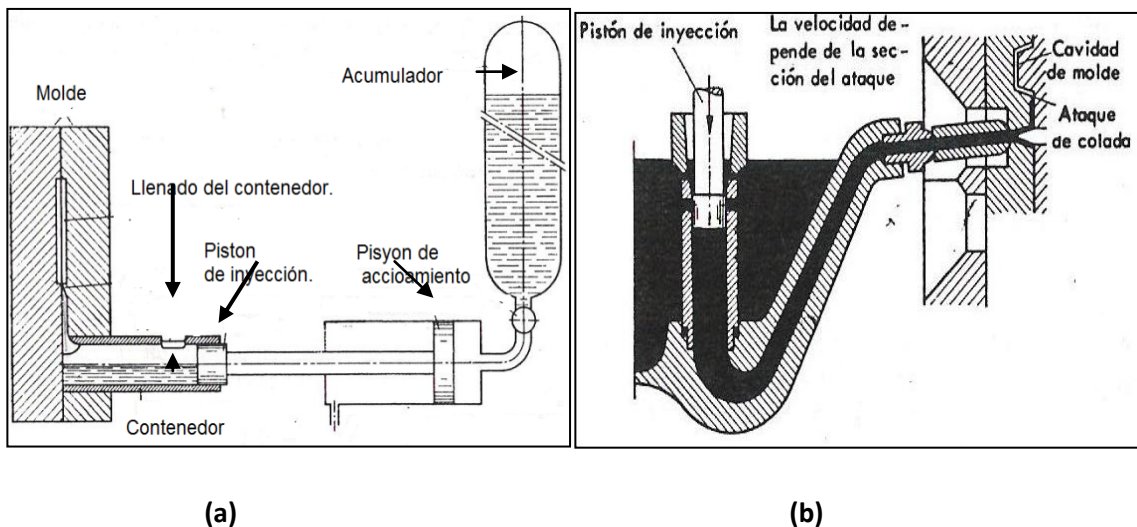
Fuente: Andreoni, L 1993.

### 3. MAQUINAS DE MOLDEO POR PRESIÓN

La principal característica de estas maquinas, es un sistema que inyecta a presión el metal fundido en la cavidad del molde. Debido a esta característica, se distinguen generalmente dos tipos de maquinas de colar a presión: las maquinas de cámara fría y las de cámara caliente.

En las maquinas de cámara fría, el pistón que introduce el metal en la cavidad del molde, esta adyacente a la maquina, dispuesto en dirección horizontal ( Figura 13a). El metal es introducido en el contenedor de la máquina por medio de una cuchara que extrae el metal desde el horno de mantenimiento, en este sistema el horno es totalmente independiente del la máquina de inyección. En las máquinas de cámara caliente el pistón de inyección está sumergido dentro del horno que contiene metal fundido, desde donde inyecta el metal directamente en la cavidad del molde, esta máquina está dotada de su propio horno (ver fig. 13b).

**Figura 13: Tipos de maquinas de colada por presión, a) Cámara fría, b) Cámara caliente.**



**Fuente: Brunhuber, 1968.**

La máquina de cámara fría permite ser usada con todo tipo de aleaciones no ferrosas, mientras que las de cámara caliente, puede ser usada solo para inyectar aleaciones de bajo punto de fusión como las de zinc, plomo y estaño.

El aluminio tiene la característica de disolver el hierro a alta temperatura, produciendo contaminación de la aleación fundida, al formar un compuesto peritecico duro y frágil, que disminuye las propiedades mecánicas de la aleación [10]. Debido a esto se requiere que el tiempo de contacto entre el utillaje de la maquina y el aluminio líquido sea mínimo, para lo cual se recomienda el uso de la máquina de cámara fría en inyección de aluminio, pues en cámara caliente el metal fundido está en contacto permanentemente con el sistema de inyección.

### **3.1 SISTEMA CONSTRUCTIVO DE LA MÁQUINA DE FUNDICIÓN A PRESIÓN**

Las maquinas de fundición a presión están dotadas de un circuito hidráulico principalmente, que es el es el encargado de generar la energía que produce la operación de inyección. Este circuito está constituido por dos partes según su funcionamiento, así:

- Una parte que produce la energía.
- Una parte que utiliza la energía producida.

#### **3.1.1 Sistema generador de energía hidráulica**

El sistema generador de energía hidráulica tiene como función principal, producir el movimiento necesario para lograr el accionamiento y la maniobra de la máquina [11].

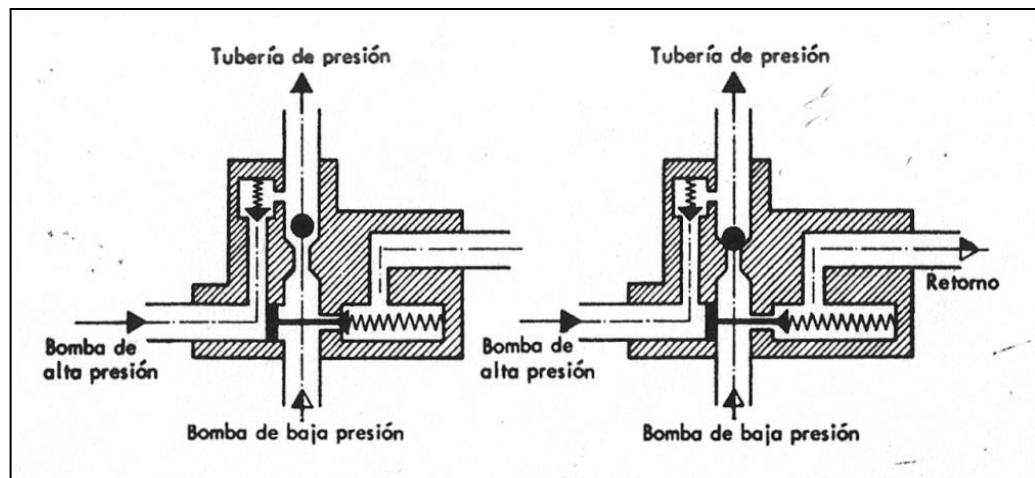
Este sistema está constituido por:

- Bombas de flujo.
- Fluido hidráulico.
- Válvulas de regulación.

El funcionamiento de este sistema por medio de sus componentes, se basa en la transformación de energía eléctrica, en energía mecánica, que a su vez, convierte esta última en energía hidráulica, produciendo el movimiento del mecanismo de la maquina, por medio de un fluido hidráulico [12].

Debido a que la maquina requiere diferentes presiones durante el llenado de la cavidad, se requiere el uso dos o más bombas de presión, que presentan características de alta y baja presión, la de alta para aumento de velocidad y produce alta presión, y la de baja para control de velocidad. Este ciclo se regula por medio de electroválvulas que conmutan las etapas de alta y baja presión representadas en la figura 16.

**Figura 14: Válvulas de doble pasó.**



Fuente: Brunhuber, 1968

### 3.1.2 Sistema de aprovechamiento de la energía

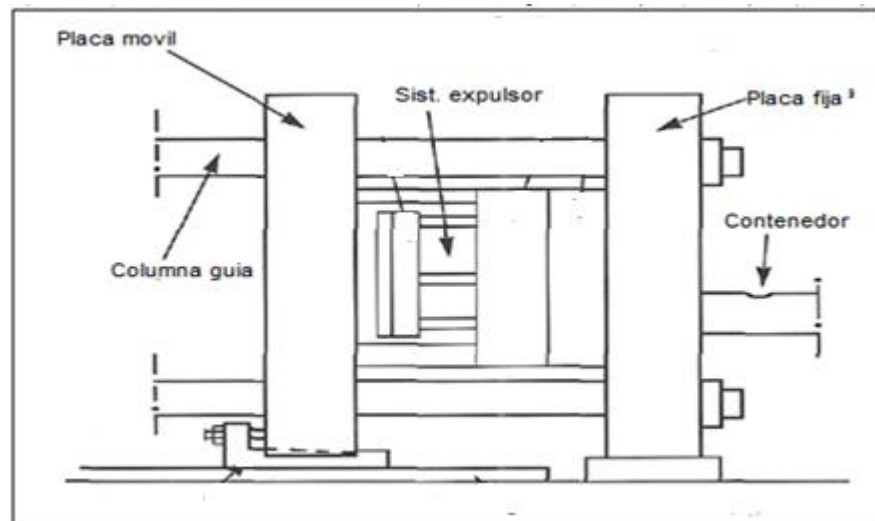
La máquina de colada por inyección, utiliza la energía producida por el sistema hidráulico para el movimiento necesario en cada ciclo de operación. El sistema de aprovechamiento se divide en dos mecanismos según su función dentro de la maquina, estos son: el grupo prensa y el grupo inyección [13].

### ❖ Grupo prensa

Es el encargado del cierre y apertura del molde, además de la eyección de la pieza al terminar el ciclo de colada. Este sistema se compone de un dispositivo de cierre y apertura del molde y un dispositivo de eyección, montado sobre tres planos: plano fijo, plano móvil y plano de expulsores, unidos entre sí, por cuatro columnas que sirven de guías del plano móvil en la máquina como se ve en la figura 15.

El mecanismo de funcionamiento del grupo prensa, se basa en que la máquina de fundición por presión, consta de dos planos en donde está montado el molde, de los cuales uno está fijo mientras el otro permite el movimiento para la apertura y cierre del molde según se requiera. La trayectoria del semimolde móvil, está guiada por cuatro columnas, que mantienen en posición constante los moldes y permiten el encajamiento perfecto de estos, en el momento de la inyección (Ver fig. 15).

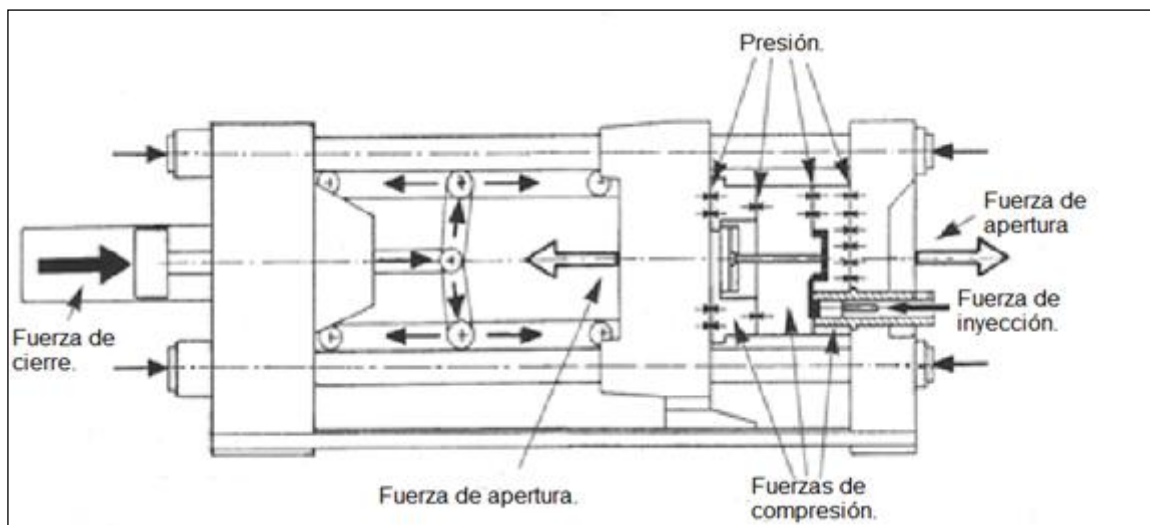
**Figura 15: Perfil del grupo prensa.**



Fuente: Case, M. 1993

Durante la inyección del metal, es necesario mantener una fuerza de cierre sobre el molde adecuada, para evitar que este se abra debido a la presión que se ejerce el metal en la última fase de llenado sobre las paredes de la cavidad (fuerza de apertura), por lo cual la fuerza de cierre debe ser mayor en todo momento, para evitar la proyección del metal fundido hacia el exterior del molde. En la grafica 16, se representan las fuerzas que actúan sobre la maquina durante la colada.

**Figura 16: Fuerza producidas sobre grupo prensa.**

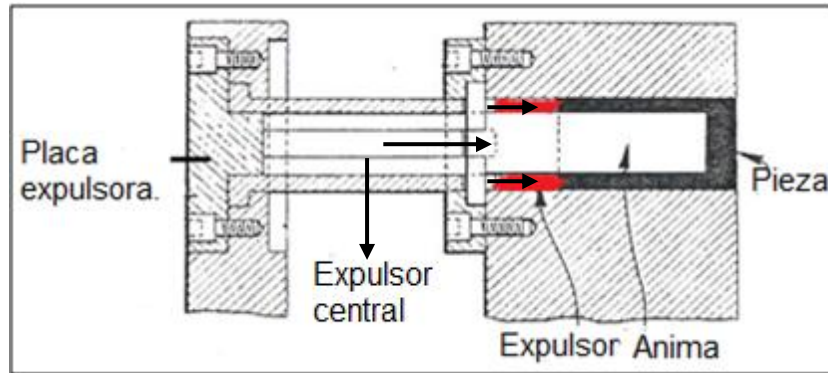


Fuente: Case, M. 1993.

*Dispositivo de expulsión:* Este es el encargado de extraer la pieza del molde luego de solidificar, para esto el molde tiene que estar diseñado de tal modo que la pieza quede atrapada en su parte móvil, permitiendo que el sistema actúe sobre ella.

El dispositivo esta accionado por un cilindro hidráulico, llamado expulsor central, este empuja la placa en donde se encuentran apoyadas las espigas expulsoras en contacto con la pieza en dirección de cierre. El sistema expulsor es característico de cada molde según la pieza a producir, en la figura 17, se presenta un esquema del sistema expulsor.

**Figura 17: Sistema expulsor del molde.**



Fuente: Case , 1993.

Este sistema expulsor tiene dos movimientos predispuestos para la eyección, que son factores importantes para la integridad de la pieza:

- Velocidad y fuerza de empuje de la pieza en eyección.
- Velocidad y fuerza de retiro de los eyectores.

Según la maquina, las fuerzas de eyección pueden estar en un rango de 8 a 60 toneladas, pero estas fuerzas deben ser cuidadosamente ajustadas, para evitar la deformación de la pieza que aun está caliente al extraerla.

#### ❖ Grupo de inyección

El dispositivo de inyección es el corazón de la máquina; por medio de este se consigue el llenado del molde, en tiempo y velocidad determinada por el parámetro funcional que lo regula.

El sistema de inyección está conformado por un sistema hidráulico, que produce el movimiento necesario sobre el pistón de inyección para introducir el metal en la cavidad del molde, cumpliendo con las tres fases ya mencionadas.

Para tal fin, este sistema está dotado de una serie de equipos que se describe a continuación:

- **Bomba de aproximación**

La bomba de aproximación, es la encargada de producir el movimiento del pistón en la primera fase de llenado, por medio del líquido a baja presión de acuerdo a las características de la bomba hidráulica, permitiendo un desplazamiento lento del pistón de inyección.

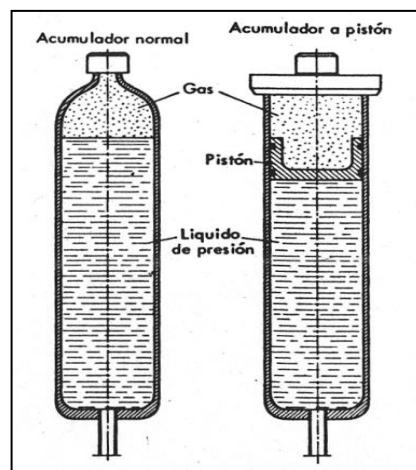
- **Acumulador de presión**

La presión requerida para el aumento de la velocidad de la segunda fase se consigue por medio del almacenamiento y mantenimiento de una presión elevada dentro de un recipiente. El recipiente que hace este papel, se denomina acumulador de presión [14].

El acumulador está cargado con, una porción de líquido y la otra con gas, generalmente nitrógeno (Ver figura 18), en este caso el gas es el encargado de empujar el líquido dentro del sistema de la maquina, mientras que una bomba de alta presión produce de almacenamiento de la presión dentro recipiente.

Los acumuladores más utilizados son de dos tipos: los convencionales y los de pistón flotante, como se observa en la siguiente grafica.

**Figura 18: Esquema sistema de pistón flotante y convencional**



Feunte: Brunhuber, 1992.

La diferencia entre los dos sistemas es la forma de contacto entre el líquido y el gas, en el convencional el contacto es directo y mientras que el de pistón flotante están separados de forma física como se observa en la figura 18.

- **El multiplicador de presión**

Cuando la cavidad del molde ya está completamente llena, se crea una presión estática, que debe ser vencida para poder compactar al metal en fase de solidificación, lo cual no es posible con solo la presión del acumulador, por lo que se requiere la intervención de un multiplicador de presión.

El multiplicador de presión, está formado por la unión de dos cilindros, con diferentes diámetros, siendo uno; dos o tres veces menor que el otro, permitiendo que la presión aumente instantáneamente en relación 3:1 o 2:1.

- **Pistón de accionamiento del pistón de inyección**

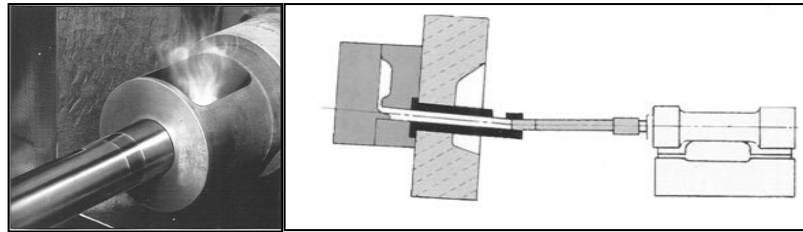
El pistón de accionamiento es el encargado de transmitir el movimiento del sistema hidráulico hasta el pistón de inyección, esto por medio de la presión que ejerce el líquido en la parte posterior, produciendo el desplazamiento en la dirección de inyección del metal.

- **Contenedor y pistón de inyección**

El contenedor y el pistón de inyección, constituyen dos puntos muy claves en el sistema de llenado, en cuanto al parámetro velocidad/fuerza impuesta.

El contenedor es el encargado de recibir y almacenar el metal fundido, procedente del horno antes de ser colado. Mientras que el pistón de inyección que se encuentra en el interior del contenedor, es el encargado de empujar el metal hasta llenar la cavidad, como se observa en la figura 19.

**Figura 19: Contenedor y el pistón de inyección.**



Fuente: Andreoni, L. 1993

### 3.2 CARACTERÍSTICAS OPERATIVAS DE LA MAQUINA

- **Sistema de control de la maquina**

El sistema de control permite el trabajo de la maquina en secuencia entre una fase y las otras, por medio de circuitos eléctricos, que funcionan por lógica fija o programable, actuando sobre las válvulas que regulan los movimientos.

La maquina desarrolla un comando operativo repetitivo, del cual de un movimiento deriva una segunda función y así hasta el fin del ciclo. Adema las maquinas modernas, presentan microprocesadores programables, que desarrollan el proceso de memoria.

- **Ciclo operativo de la maquina**

El ciclo operativo está compuesto por los pasos necesarios para producir una pieza, y está regulado por el sistema de control de la máquina, así el ciclo ocurre de la siguiente forma:

1. Cierre de la maquina.
2. Inyección.
3. Solidificación.
4. Apertura de la maquina.
5. Retorno del pistón de inyección.
6. Expulsión de la pieza.
7. Lubricación del molde

Este ciclo se repite en cada colada y puede realizarse manual o automáticamente.

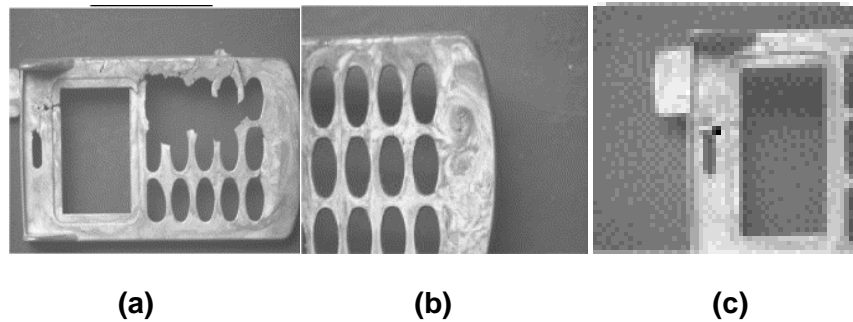
- **Parámetro operativo y de trabajo de la maquina**

El parámetro operativo de la maquina es el valor, control y regulación de los aspectos físicos, mecánicos y térmicos, que corresponden a la realización de una pieza inyectada, aquí también se tiene en cuenta los aspectos relacionados a la fusión y mantenimiento de la aleación de aluminio.

Por ende el parámetro operativo, debe ajustarse y tenerse sincronizado, debido a la relación que hay entre factores importantes del proceso, esto es necesario para obtener piezas completas y sanas, con el mínimo tiempo de producción y desarrollar de un proceso eficaz [15].

A continuación, se muestran fotografías de problemas causados por la mala sincronización del parámetro operativo.

**Figura 20: Defectos causados por el ajuste inadecuado de los parámetros de inyección. a) flujo de metal deficiente en la cavidad. b) flujo irregular debido a incoherente movimiento del pistón (turbulencia). c) presión muy alta en la cavidad.**

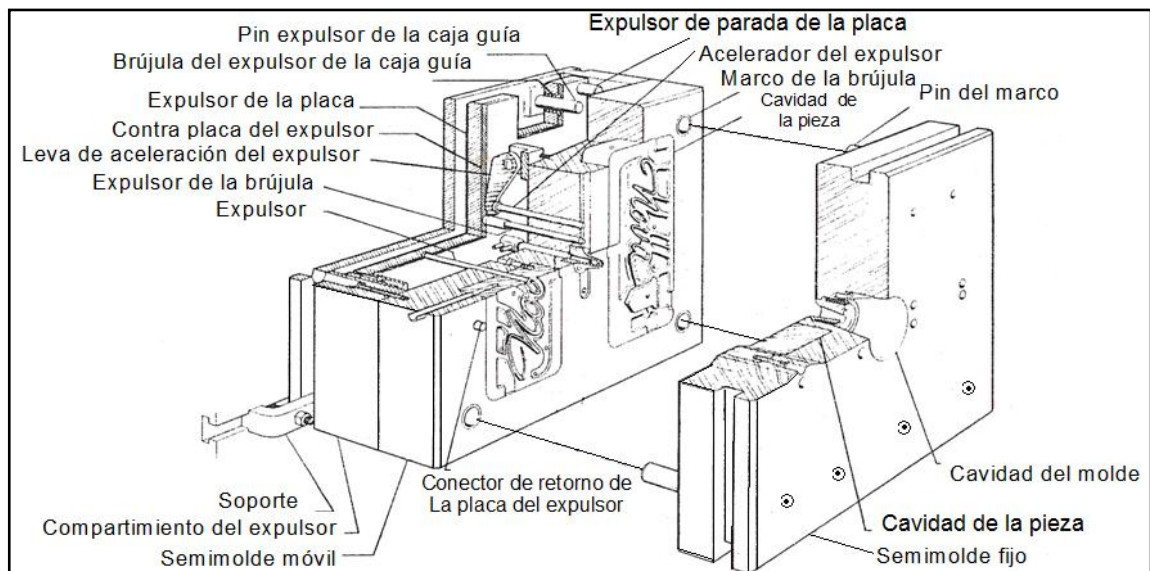


Fuente: Journal of Materials Processing Technology, Volume 127, pp 238-241(2002).

### 3.3 MOLDES EN COQUILLA PARA FUNDICION A PRESION

El molde se considera una de la partes mas importantes de la maquina de inyeccion, debido a que es el lugar donde se producen las piezas. En la figura.21, se puede observar un esquema de un molde en coquilla de una pieza simple.

**Figura 21: Esquema un molde en coquilla.**



Fuente: Andreoni, 1994.

Debido al cambio térmicos que sufren los moldes, se deben tener en cuenta dos aspectos importantes, para la selección del materia y diseño del molde [16].

1. *Aspecto mecánico*: el diseño del molde debe estar encaminado a garantizar la fuerza, la funcionalidad y minimizar el desgaste de sus componentes. Es así que se debe prestar atención a los esfuerzos de flexión que pueden conducir a la rotura, desgaste prematuro particularmente durante la expulsión de la pieza. Durante la compresión debe mantenerse la relación de las cargas distribuidas

sobre las superficies dentro de los límites de seguridad, de acuerdo a las características tecnológicas y el endurecimiento de los materiales que sean sometidos en el proceso.

2. Aspecto térmico: el molde debe considerarse como unidad térmica, por lo que su diseño no debe ignorar el hecho de que la masa del molde debe tener una relación bien definida con el peso de la pieza que se produce, debido a que la masa del molde actúa como un volante de inercia térmica, lo que hace que este factor sea susceptible en la producción de piezas de pared delgada.

Es por esto que se hacen algunas sugerencias para determinar el tamaño del molde:

- a. La distancia entre la cavidad y la superficie exterior del molde no debe ser menos de 50mm.
- b. La relación entre la profundidad y el espesor de la cavidad del molde debe ser mínimo de 1/3.
- c. La distancia entre la cavidad y los canales de refrigeración no debe ser menor de 25 mm.
- d. El radio de las esquinas deben ser mayores de 1 mm.

El tamaño máximo de la pieza dentro del molde se puede calcular con la siguiente formula:

$$D = \sqrt{l^2 + b^2 + h^2} \quad (25)$$

**Donde:**

l=largo en eje X.

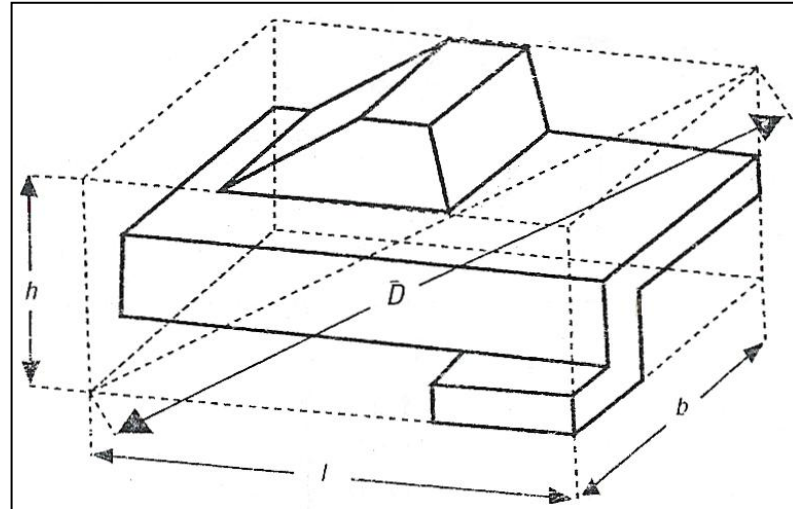
b=ancho en eje Y.

h=profundidad en eje Z.

D= espacio diagonal.

En la figura 22, se representa de forma grafica lo descrito en la ecuación anterior.

**Figura 22: Caracterización de una pieza fundida.**



Fuente: Steven R. Schmid, Gabriel Sánchez García, Figueroa López, 2002.

### 3.3.1 Características de selección del material para la fabricación del molde

En el momento de seleccionar el material más indicado para la fabricación de los moldes, se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Alto grado de pureza del material.
- Homogeneidad de la estructura.
- Posibilidad de tratamientos superficiales (endurecimiento).
- Estabilidad al choque térmico.
- Resistencia al desgaste.

Además se tienen criterios que rigen las necesidades, para que sea la mejor selección del material a trabajar, como: [17]

1. *Coefficiente de expansión térmica*: debe tener el más bajo posible, para poder reducir al mínimo el choque térmico sufrido por el material.
2. *Conductividad térmica*: es deseable que sea alta, ya que esta reduce el gradiente de temperatura y por lo tanto el también el choque térmico interno inducido.

3. *Resistencia al templado*: el material debe tener una buena resistencia en caliente, pues debido a los ciclos de temperatura pueden perder dureza, además debido a la alta presión y la misma temperatura elevada puede ocurrir daño por fatiga debido al fenómeno de craqueo térmico.
4. *Resistencia a la fatiga mecánica y térmica*: la pérdida de dureza debida al templado puede ser notablemente acelerada por el estrés mecánico. En el proceso de fundición a presión el material es sometido a cargas mecánicas y térmicas, lo que hace que el acero sea el mejor suplente debido a que soporta la acción combinada de las dos fuerzas.
5. *Ductilidad*: sabiendo que la ductilidad es la capacidad que tiene el material para resistir la deformación plástica sin romperse, los altos valores de ductilidad contribuyen a limitar la formación de grietas por fatiga térmica.
6. *Pureza*: la pureza del material tiene una alta influencia decisiva sobre las propiedades anteriormente nombradas.

En la tabla 4, se muestra la composición de los aceros recomendados para la construcción de moldes en coquilla.

**Tabla 4: Composición química porcentaje en peso del acero utilizado para la construcción de moldes metálicos.**

Tabla: 4 Composición química porcentaje en peso del acero utilizado para la construcción de la mayor parte de la figura.			
Material	H11	H13	SMV3
Elemento			
Fe HIERRO	91.52	90.71	92.9
Cr CROMO	5	5.3	5
C CARBONO	0.38	0.39	0.40
Si SILICIO	1	1	---
Mn MAGNESIO	0.40	0.40	---
Mo MOLIBDENO	1.3	1.3	1.3
V VANADIO	0.40	0.90	0.40

Fuente: Andreoni, Casè, Pomesano, 1994.

### 3.4 UNTOS DE LA CAVIDAD DEL MOLDE

Los moldes de acero para colar aluminio, requieren un unto desmoldante, debido a la reacción que hay entre el aluminio y el hierro, ya que evitar la soldadura del aluminio con el molde y facilita la extracción de la pieza al final del proceso. Este unto tiene tres funciones principales en el proceso:

1. *Crear un sustrato separador en la superficie de la cavidad:* esta película de baja reactividad química, evita el pegado de la pieza a la superficie del molde.
2. *Funciona como lubricante de la pieza:* la pieza en el momento de la extracción se encuentra en estado pastoso, por lo que se requiere un lubricante que facilite su extracción.
3. *Funciona como refrigerante:* la superficie de la cavidad requiere refrigeración, este efecto lo produce el aire soplado y el agua contenida por el unto.

#### 3.4.1 Untos desmoldantes en emulsión acuosa:

Estos untos se presentan en forma de emulsión acuosa o emulsión agua-aceite, constituido por una suspensión de hidrocarburo o aceite parafinado como emulsificantes y el alcohol etioxílico como emulsificador. El alcohol es el encargado de mantener los emulsificantes en suspensión, al ser diluidos en agua.

El lubricante se caracteriza de acuerdo a los componentes en la mezcla. Los tipos de componentes que presenta la emulsión son:

**Tabla 5: Emulsificantes.**

<b>Hidrocarburo:</b>	<b>Aceite orgánico:</b>	<b>Silicona:</b>
Aceite mineral.	Aceite animal.	Siloxona.
Aceite sintético.	Aceite vegetal.	Polisiloxona.

Fuente: El autor.

En la mayoría de las emulsiones se agregan aditivos especiales para mejorar la mezcla, estos aditivos presentan las siguientes funciones:

**Tabla 6: Aditivos para la emulsión**

Inhibidor de:	Mejoradores de :	Pigmentos
- Oxidación.	- Adhesividad	- Grafito
- Corrosión.	- Capilaridad	- Polvo de aluminio
- Espuma.	- Untuosidad	- Polvo de mica

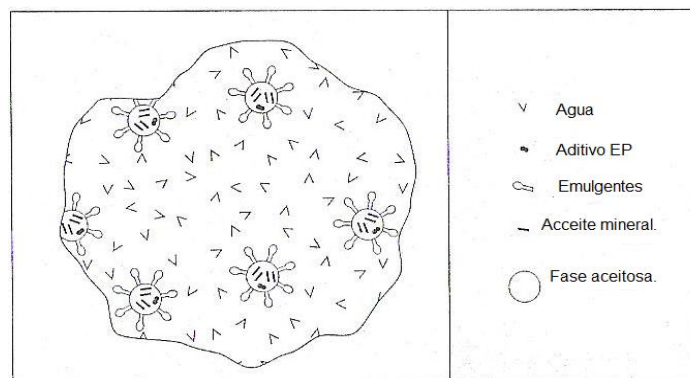
Fuente: El autor

Hay que tener en cuenta que un buen unto desmoldante, debe presentar las siguientes características, para alta eficiencia:

- Compatibilidad
- Rápida emulsificación.
- Fácil dilución en agua potable
- Estabilidad en el tiempo a temperaturas mayores de cero.

El desmoldante se aplica por medio de una pistola o spray, que reduce el fluido en finas gotas, que al entrar en contacto con la superficie de la cavidad el agua se evapora debido a la temperatura del molde y los compuestos quedan adheridos a la pared para cumplir su función.

**Figura 23: Composición esquemática de la mezcla.**

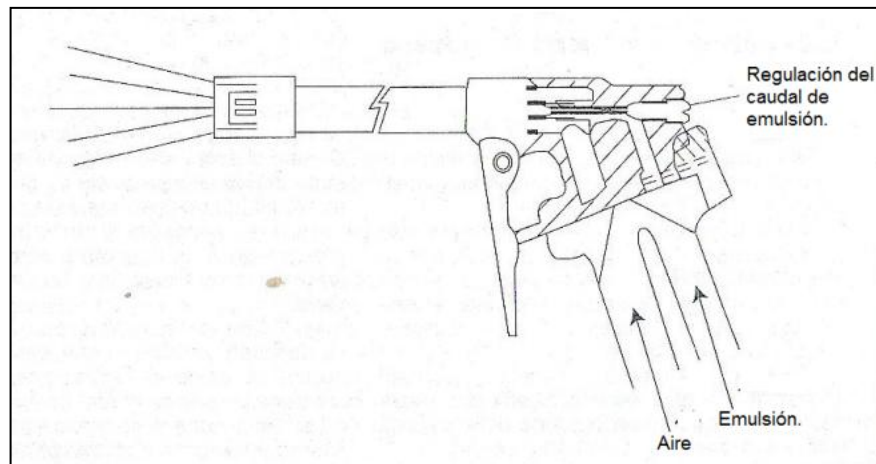


Fuente: Andreoni, 1993.

De acuerdo sus características, se pueden conocer las condiciones de trabajo de la emulsión. Por medio de un análisis y experimentación, se debe seleccionar un desmoldante que produzca la mayor eficiencia, evitando el uso de dos de estos a la vez pues producen ineficiencia en la producción.

Sin embargo, los componentes producen problema en el proceso. Por ejemplo: los bromuros parecen corrosión, los aceites vegetales y animales produce residuos gomosos y carbonosos, el carbono produce manchas superficiales. Además hay que tener en cuenta la cantidad del lubricante adicionado, pues puede producir compuestos gomosos y gas que afectan la integridad de la pieza colada. Es por esto que el roseado debe ser homogéneo, y se aconseja que sea controlado por medio de una pistola rociadora, ver figura 24.

**Figura 24. Esquema mecanismo de rociado del lubricante.**



Fuente: Andreoni, 1993.

#### 4. HORNOS PARA FUSIÓN DE ALEACIONES DE ALUMINIO

Debido a la alta preocupación de la industria de fundición, por obtener una alta eficiencia en los hornos de fusión, se han llegado a diseñar hornos los cuales trabajan con combustible económico y disminuyen la contaminación del ambiente, siendo aun así, eficientes. Ahora se analizarán los hornos más comunes en fusión de aluminio, los cuales se dividen en dos clases principalmente:

1. **Hornos de llama directa:** son hornos en los que los productos de la combustión pasan directamente por encima de la carga.
2. **Hornos de llama indirecta:** son aquellos hornos en los cuales los productos de combustión no tienen contacto directo con la carga.

Los hornos de llama indirecta pueden ser del tipo crisol (estacionario o basculante), y los de llama directa están representados por los hornos de reverbero (tanto fijo como rotatorio), en donde el horno de reverbero es el más común para la fusión de grandes cantidades de metal [18].

##### 4.1 TIPOS DE HORNOS PARA FUSIÓN DE ALUMINIO

Los hornos pueden definirse como un sistema, para el cual su principal beneficio es la eficiencia de fusión, que es la cantidad de energía aprovechada, sobre el total de la energía producida. En fundición la eficiencia varía desde los hornos de crisol hasta los hornos de inducción con un porcentaje de 15-75% respectivamente.

Para la clasificación de los hornos utilizados en la industria, es necesario mirar la economía y el desarrollo de el país, es por esto que se hablara solo de los hornos que trabajan con combustible económico, pues los hornos de inducción para la industria de

fundición en Colombia no son propicios, pues la energía es demasiado costosa y no resultaría viable.

- **Hornos de reverbero**

Los hornos de reverbero alcanzan capacidades de cientos de gramos hasta miles de kilogramos y, normalmente el combustible que utilizan es: coque, aceite pesado, o gas. La fusión del metal se realiza en una cámara poco profunda que se encuentra bajo la llama en contacto directo. Estos hornos son convencionalmente usados para producción de grandes cantidades de metal fundiendo chatarra y lingotes, además permite obtener palanquillas de segunda fusión y colar piezas para la fabricación de productos forjados.

Los hornos de reverbero pueden tener diversos diseños, se encuentran los de una solera como también los de doble solera (una para fundir y otra para mantener el baño), también se encuentran diseños en los cuales están presentes más de un pozo de inmersión o mantenimiento (allí pueden realizarse los tratamientos que se requiera el aluminio antes de colar), estos pueden ser fijos o basculantes.

En comparación con los hornos de crisol, estos hornos consumen solo el 40% de la energía, y la producción es hasta un 50% mayor.

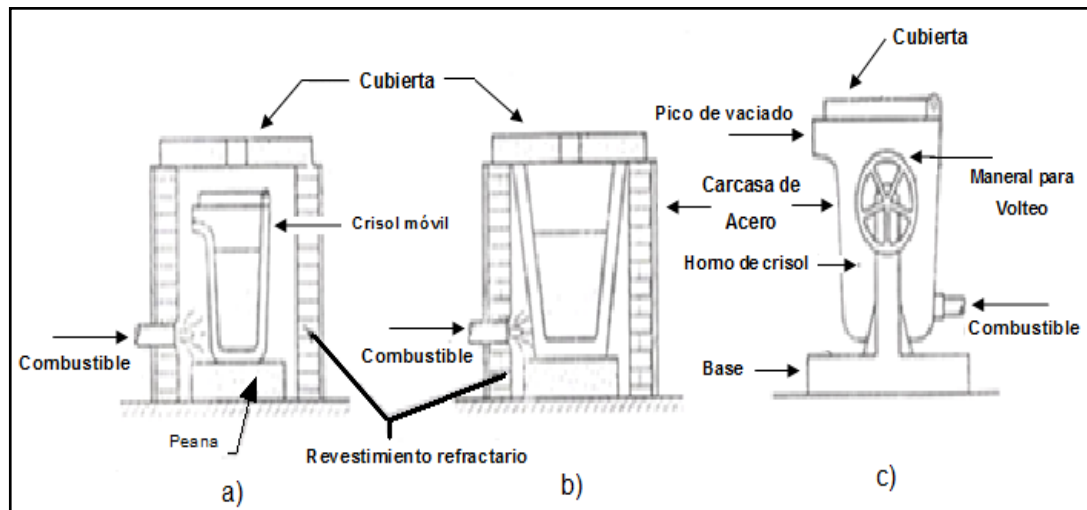
- **Hornos de crisol**

En estos hornos, el metal se funde sin entrar en contacto directo con los gases de combustión. Estos hornos se clasifican en tres tipos:

- **Horno de crisol fijo:** Se utiliza generalmente para el mantenimiento del aluminio traído del horno de fusión (basculante o reverbero), la colada se hace por medio de cuchara, por lo que se utiliza general mente para colada en molde permanente o en coquilla. En este tipo de hornos se puede utilizar crisoles refractarios o de hierro fundido. Figura 25 (b).

- **Horno de crisol móvil:** Cumple la misma función del horno de crisol fijo, solo que cuando la carga del metal se funde, el crisol se extrae del horno y se usa como cuchara de colada. Figura 25 (a).
- **Horno de crisol basculante:** Se utiliza para fundición del aluminio propiamente, seguidamente es transvasado por cuchara o por basculamiento al horno de mantenimiento, siempre con el cuidado de no producir turbulencias o efectos dañinos del metal fundido que cae en la cuchara. En este equipo puede también ser utilizados los crisoles refractarios o de hierro fundido. Figura 25 (c).

Figura 25: Tipos de horno de crisol.



Fuente: Hornos industriales PYRADIA.

La construcción de los hornos para procesos de fusión, requiere de materiales refractarios que soporten altas temperaturas, acciones químicas severas, y otras condiciones características del proceso. Es por esto que la apropiada selección y uso de los materiales refractarios, es de vital importancia para el éxito o fracaso del proceso de fusión. Las propiedades de los materiales refractarios limitan directamente la forma y dimensiones del horno [19].

#### 4.1.1 Crisoles utilizados en la fusión de aluminio

Los crisoles utilizados en la fundición de aluminio, se clasifican según la función que desarrollen, tales como:

- Crisoles para fusión.
- Crisoles para horno de mantenimiento.
- Crisoles para vaciado.

Para obtener buenos resultados en la inyección y fluidez del metal, es necesario que el crisol cumpla su desempeño con una alta eficiencia; para esto se han creado algunos principios básicos:

1. Soportar suficiente energía de fusión.
2. Resistencia a las presiones creadas por el calentamiento.
3. Resistencia a la tensión mecánica.
4. Resistencia a la alta agresividad del aluminio.
5. Resistencia a la acción de los flujos.

Los crisoles más utilizados en la fusión y mantenimiento del aluminio son, los crisoles de grafito, de carburo de silicio y de hierro fundido o fundición, a continuación se describen las características de cada uno de estos crisoles:

- **Crisoles de grafito:** Los crisoles de grafito, pueden ser contruidos para una capacidad de carga de 50 a 150 Kg. Estos crisoles están conformados por grafito natural (laminar), el cual para que mejore su conductividad térmica, debe contener aproximadamente el 60% de grafito, y el restante 40% contiene arcilla y cuarzo. Los crisoles de grafito son higroscópicos, lo que hace que absorban mucha humedad, es por esto que hay que tener cuidado con el enfriamiento y almacenamiento después de ser usado, ya que pueden ocasionarse grietas y

crearse en el metal zonas de acumulación de gas debido a la reacción del hidrogeno con el aluminio.

La vida útil del crisol de grafito, es variable según el cuidado que se le dé, pero se da un estimado de soporte de 500 cargas.

- **Crisoles de carburo de silicio:** Los crisoles de carburo de silicio son más conductores que los crisoles de grafito, por lo que permiten una más rápida transferencia del calor a la carga, no son higroscópicos por lo tanto, el cuidado es menor que el crisol de grafito.

Los crisoles refractarios, deben ser cuidadosamente apoyados en su base al interior del horno, además la llama no puede incidir directamente sobre el crisol. Es recomendado no utilizar llamas oxidantes en ningún momento del proceso sobre estos.

- **Crisoles de hierro:** Los crisoles de hierro pueden causar seria contaminación a las aleaciones de aluminio, si no son recubiertos adecuadamente o si el baño entra en contacto directo con el crisol metálico. Por eso para la fundición de aleaciones de aluminio con altos contenido de silicio o magnesio, es necesario el uso de crisoles refractarios o hornos de tipo reverbero, debido al efecto que produce el hierro al reaccionar con estos dos elementos.

Para que un crisol de hierro gris, pueda ser recomendado a la hora de fundir aluminio, debe tener los siguientes componentes:

- carbono: 2,8 a 3,5%.
- Silicio: 1,2 a 2,0 %.
- Manganeso: 0,6<sup>a</sup> 0,8 %.
- Fosforo: < 0,05 %.
- Azufre: < 0,05 %.

Los crisoles metálicos pueden ser recubiertos con enlucidos de mortero fluido "lodo rojo", o material refractario producido en la refinación de la bauxita, con carbonato de cal, talco o mica finamente molida, los cuales tienen presente en la composición silicato de sodio, que ayuda a la adherencia del recubrimiento [20]. Pero estos también pueden causar desprendimiento de partículas que se convierten en puntos duros en la aleación fundida, afectando las propiedades mecánicas de la pieza.

#### **4.1.2 Herramientas para fundición**

Las herramientas utilizadas en el horno en la fundición tales como, removedores de escoria, agitadores, cucharas manuales y tubos para desgasificación con gas inerte; son generalmente hechas de acero, por lo que deben ser recubiertos adecuadamente de lo contrario causan contaminación al aluminio fundido. Estas herramientas se deben mantener calientes en todo momento y recubiertas con un elucido refractario. El calentamiento a temperatura máxima se hace para eliminar de la superficie de estos, las sustancias que pueda desprender hidrogeno, además para evitar el choque térmico entre los metales.

#### **4.2 PROBLEMAS RELACIONADOS CON LA FUSIÓN DE ALUMINIO**

Los principales problemas asociados al aluminio durante la fusión, en cuanto a los cambios físico-químicos y metalúrgicos que sufre el metal son:

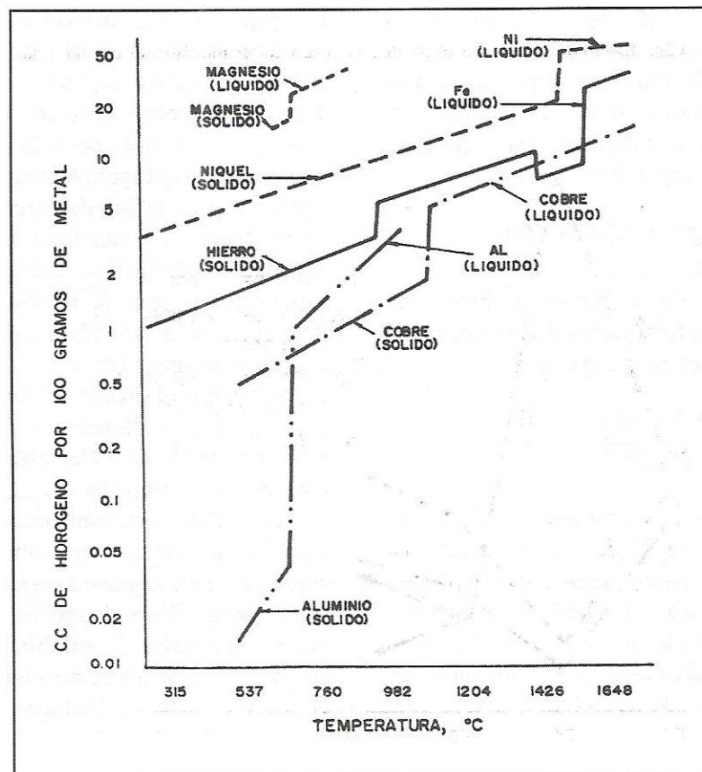
- Oxidación del metal: Principalmente formación de  $Al_2O_3$  y  $Al_2O_3$ (corindon).
- Absorción de gas (HIDROGENO): Formación de burbujas de gas  $H_2$ (porosidad).
- Segregación de componentes: precipitación de compuestos (metálicos AlFeSi).

#### 4.2.1 Absorción de gas por el baño metálico de aluminio

El aluminio es un metal, que al alta temperatura reacciona con el hidrogeno, produciendo disolución de este, que luego causa problemas en las piezas solidificadas. Al ingresar el hidrogeno al baño metálico a alta temperatura, este se ubica en la red cristalina del aluminio en forma de átomos individuales, pero la solubilidad de estos átomos disminuye con la caída de la temperatura, el hidrogeno se difunde y forma moléculas de H<sub>2</sub>, que se agrupan y forman poros, afectando las propiedades mecánicas de las piezas.

La disminución de la solubilidad del hidrogeno, es hasta en un 90%, con la caída de la temperatura, esto se representa en la grafica 26 [21].

**Figura 26: solubilidad del hidrogeno en función de la temperatura en diferentes metales.**



Fuente: propiedades de la fundición.2009.

El hidrogeno entra al baño principalmente por medio de fuentes externas como humedad, gases de combustión, compuestos orgánicos. La absorción de este elemento se puede evitar controlando estas fuentes que lo contienen [22]. Hay que tener en cuenta que en el proceso de colada a presión, la solubilidad del hidrogeno aumenta y la porosidad es menor por el enfriamiento rápido.

**Tabla 7: Valores de la solubilidad del hidrogeno en el aluminio puro para diferentes temperaturas, según Ransley y Neufelld.**

TEMPERATURA °C	SOLUBILIDAD DEL HIDRÓGENO EN cm <sup>3</sup> /100 g.Al
• 600	0,03
• 660 (sólido)	0,04
• 660 (sólido)	0,69
• 700	0,92
• 800	1,67

Fuente: propiedades de la fundición.2009, p 281

#### 4.2.1.1 Métodos usados para desgasificar baños de aluminio

Debido al problema que causa el hidrogeno sobre las piezas luego de solidificar, el baño requiere un desgasificado óptimo, esto se hace de dos formas como se explica a continuación:

- **Desgasificado por inyección de gas**

El gas más utilizado para este fin es el nitrógeno, que es inyectado dentro del metal fundido por medio de una lanza que forma burbujas en el interior del baño. Estas burbujas arrastran el metal atrapado hasta la superficie debido a su energía superficial. Por lo tanto, la eficiencia del proceso va de acuerdo al número y tamaño de las burbujas.

En la desgasificación con nitrógeno, es recomendado utilizar de forma alterna una sal fundente como NaCl, KCl, 3NaF, AlF<sub>3</sub>, para eliminar la oxidación excesiva y ayudar a obtener una escoria seca.

- **Desgasificación por acción química**

La desgasificación por acción química por acción se hace por medio del cloro o un compuesto de este, que es más eficiente que los desgasificantes gaseosos. Sin embargo, el cloro ataca los elementos metálicos del horno causando corrosión.

El cloro además de desgasificar reacciona con el aluminio, produciendo alta temperatura cloruro gaseoso, que por ser más denso que el aire, se posa sobre la superficie del baño y lo protege de la atmosfera.

El hexacloroetano ( $C_2Cl_6$ ), es el más usado para desgasificar aluminio. Junto con este, los cloruros de zinc, presentan la mejor reputación como desgasificantes y limpiadores de las aleaciones ligeras en fundición, en la tabla 7, se representan dos mezclas de compuestos utilizados en la desgasificación de aleaciones de aluminio.

Sin embargo, los efectos combinados de estos compuestos, proporciona un mejor resultado al adicionar de 5 a 10% de hexacloroetano, en remplazo del cloruro de Zn o de Mg como se ve a continuación:

- Fluoruro de sodio: 35%
- Cloruro de sodio: 30%
- Cloruro de potasio: 28%
- Hexacloroetano: 7%

**Tabla 8: composición de mezclas utilizadas como fundentes desgasificadores y limpiadores en la fusión de aleaciones ligeras(base cloruro de zinc).**

NOMBRE DEL PRODUCTO	COMPOSICIÓN CENTESIMAL		TEMPERATURA DE FUSIÓN
	I	II	
• Cloruro de zinc	50	22	I. 560°C II. 720°C
• Cloruro de sodio	50	73	
• Cloruro de potasio	5		

**Fuente: Propiedades de la fundición.2009,**

#### 4.2.2 Fundentes utilizados en fundición de aluminio

El principal objetivo de los fundentes en la fundición de aluminio, es proteger al metal de la atmosfera y realizar la limpieza del baño, de impurezas y de oxido. Según la función de los fundentes dentro del baño estos se clasifican de la siguiente manera:

- **Fundentes de protección:**

Este tipo de fundentes, se encarga de proteger el baño de la atmosfera y evita la oxidación excesiva del baño, sin producir ningún efecto químico sobre la estructura de la aleación. Los más usados para la fundición e aleaciones de Al-Si [23], son mezclas:

**Mezcla de criolita, NaCl y KCl:** evita la absorción de oxido y gases durante la fusión.

**Mezclas de cloruro de potasio, sodio y magnesio:** disminuye la influencia de la atmosfera del horno.

**Cloruro de sodio potasio y zinc, carbonato sódico y fluoruros:** para eliminar óxidos y gases.

**Cloruro de bario, cloruro de potasio y fluoruro de calcio:** con el fin de introducir elementos de aleación.

- **Fundentes modificadores**

Estos fundentes son los encargados de producir la modificación del silicio primario, en las aleaciones aluminio silicio, para este fin se utilizan sodio, estroncio o potasio.

De los cuales según un L.Lu[24], el sodio es el más potente modificador, por la capacidad de producir mayor efecto a menores concentraciones, en comparación con los demás elementos.

- **Fundentes afinadores de grano**

Las propiedades mecánicas de la aleación dependen en gran medida del tamaño de grano. A menor tamaño, las piezas aumentan la resistencia. El efecto de refinado de grano se consigue con la adición de elementos como titanio o boro, los cuales actúan como nucleadores, formando muchos puntos de nucleación, evitando el crecimiento basto de los granos.

#### 4.3 DEFECTO LOGIA DE LAS PIEZAS PRODUCIDAS POR FUNDICIÓN A PRESIÓN

De acuerdo, al número y naturaleza de los fenómenos fisicoquímicos e hidromecánicos que ocurren al introducir el metal fundido en la cavidad del molde, se pueden presentar los siguientes problemas en las piezas coladas:

- **Defectos producidos por absorción de gases:**

- **Oxidación de la aleación:** La oxidación puede ocurrir por:

- ✓ Por la acción del oxígeno atmosférico y sustancias que lo contienen.
- ✓ Por la acción de la humedad en la atmósfera del horno de fusión.
- ✓ Oxidación de la cavidad del molde por la acción del lubricante.

- **Absorción de gas:** El hidrógeno es el gas que más absorbe el aluminio, y a bajas temperaturas está en forma de poros, que disminuyen las propiedades mecánicas de las piezas.

- **Burbujas de gas:** El aire y el gas, forman burbujas que afectan las propiedades mecánicas de la aleación, además en grandes cantidades produce piezas incompletas.
  
- **Defectos producidos por la dinámica de flujo del metal líquido**
  - ✓ **Turbulencia:** el régimen turbulento del metal dentro del molde, produce atrapamiento de gas, aire y oxidación de la aleación.
  - ✓ **Cavitación:** producido por turbulencias dentro de la cavidad, disuelve capas de oxido y causa desprendimiento de partículas en la superficie de la cavidad, alterando la superficie final de la pieza.
  - ✓ **Disolución de oxido superficial del molde:** la disolución de óxidos en la superficie de la cavidad, produce moléculas de agua con el hidrogeno disuelto en el aluminio fundido, causando oxidación de la aleación.
  - ✓ **Implosión:** producido por bolsas de aire, formadas a la entrada del metal, al estallar produce soldadura con el molde y aumenta el aire atrapado en la cavidad.
  - ✓ **Soldadura:** causado por la interdifusión de hierro y aluminio, dificultando la extracción de la pieza.
  
- **Defectos producidos por el factor térmico**
  - ✓ **Choque térmico:** producido por el cambio cíclico de temperatura, que da lugar a refinamiento de grano y causa fatiga de los moldes.
  - ✓ **Agrietamiento:** la temperatura produce descomposición de los carburos, y formación de gases como metano que forma cavidades y produce agrietamiento de las piezas bajo esfuerzo.

En la tabla 8, se muestran los problemas que pueden ocurrir durante la inyección de la aleación de aluminio-silicio, acentuando el efecto que puede causar y una posible solución del mismo.

**Tabla 9: Problemas en las piezas en fundición por presión, causados por funcionamiento irregular del mecanismo de la máquina.**

<b>Problema</b>	<b>Efecto</b>	<b>Solución</b>
<p>1. Cierre defectuoso del molde. Causa: <b>deformación o doblado de los semimoldes, molde flojo o espigas desalineadas.</b></p>	<p>Rebabas gruesas y puede haber proyección de metal fundido, además funcionamiento torpe del sistema del molde por entrada de metal en las agujeros de las espigas de deslizamiento.</p>	<p>Corregir la posición de cada uno de los elementos, rectificando la superficie de contacto de los semimoldes.</p>
<p>2. Llenado incompleto de la cavidad. Causa: <b>Entrada inadecuada de colada, presión inadecuada o velocidad baja con metal solidificado prematuramente, baja temperatura del molde.</b></p>	<p>Piezas incompletas, con acabado superficial defectuoso y puede haber grietas de contracción.</p>	<p>Evitar flujo largo, con más de una entrada de colada. Aumentar la temperatura del molde, evitando la solidificación prematura.</p>
<p>3. Bloques del molde no concuerdan. Causa: <b>partículas alojadas en el plano de separación del molde o en el fondo de los agujeros ciegos de las espigas.</b></p>	<p>Rebabas de espesores desiguales en ciertos puntos.</p>	<p>Examinar el molde para conocer la procedencia de las partículas, y tener cuidado con el uso de lubricante que produce residuos gomosos.</p>
<p>4. Deformación de los planos de partición. Causa: <b>sobrecalentamiento prolongado del molde, mecanizado defectuoso, presión excesiva o fatiga del material después de uso severo.</b></p>	<p>Rebabas alrededor de la pieza, en la misma posición para todas las piezas.</p>	<p>Rectificar las superficies de contacto o alinearlas cuidadosamente.</p>
<p>5. Rebabas excesivas en las juntas de separación. Causa: <b>presión insuficiente o desigual para el cierre del molde.</b></p>	<p>Rebabas alrededor de toda la pieza colada.</p>	<p>Analizar la presión de cierre del molde, para conocer la causa del problema.</p>
<p>6. Marcas de flujo. Causa: <b>Presencia de aire o de gas en la cavidad, o ubicación inapropiada del ataque de colada.</b></p>	<p>Marcas confinadas en la superficie de la pieza que produce aspecto deficiente. pero no produce efecto sobre la resistencia</p>	<p>Ajustar el tamaño de ataques de colada para llenado completo de la cavidad, y acentuar la presión para disminuir las marcas.</p>

Fuente: Kaiser Center, 1962.

## 5. ANÁLISIS DEL PROCESO DE FUNDICIÓN A PRESIÓN, APLICADO AL PROYECTO DE INYECCIÓN DE ALUMINIO EN LA EMPRESA FANTAXIAS LTDA.

### 5.1 ANÁLISIS DE LAS ALEACIONES QUE MEJOR SE ADAPTAN AL PROCESO DE INYECCIÓN.

- **Propiedades del Zinc**

El zinc es un metal de color grisáceo azulado, de densidad  $7,1 \text{ gr/cm}^3$ , cristaliza en el sistema hexagonal compacto, es extremadamente frágil a temperaturas bajas, pero se vuelve maleable entre  $120$  y  $150^\circ\text{C}$ . Presenta la mayor dilatación térmica de todos los metales, su temperatura de fusión es  $419^\circ\text{C}$  y su temperatura de ebullición es de  $907^\circ\text{C}$ . Es un metal de gran uso, pues es catalogado como uno de los elementos con mayor proporción sobre la tierra, su resistencia a la corrosión es buena, pues se utiliza para recubrir el acero.

- **Propiedades del Aluminio**

El aluminio es un metal de color plateado, de densidad  $2,7 \text{ gr/cm}^3$ , que cristaliza en una estructura cubica centrada en las caras, con lados de longitud de  $4,0495$  Angstroms a temperatura ambiente [25]; el aluminio posee una gran conductividad térmica y eléctrica, con un punto de fusión de  $660^\circ\text{C}$  y temperatura de ebullición de  $2467^\circ\text{C}$  [26]. Es un material blando con poca resistencia mecánica, pero al alearse con algunos elementos químicos, aumenta su resistencia y adquiere mejores propiedades físicas.

Es un metal estable y resistente a la corrosión, debido a la formación en la superficie de su capa impenetrable de óxido ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), el cual tiene un punto de fusión bastante alto ( $2050^\circ\text{C}$ ) y es insoluble en agua.

Con el propósito de presentar, una diferenciación entre estos dos metales, utilizados en el proceso de fundición a presión, es necesario conocer sus principales propiedades, para analizar sus ventajas y desventajas ante un procedimiento de producción. Ver tabla.9.

**Tabla 10: Paralelo de las propiedades termofísicas y termodinámicas del aluminio y el zinc.**

PROPIEDAD	ALUMINIO	ZINC
Punto de fusión(°C)	660	419
Punto de ebullición(°C)	2467	907
Densidad(g/cm <sup>3</sup> )	2,7	7,1
Calor específico(J/(kg·K))	900	390
Calor latente de fusión(cal/g°C)	0,214	0,093
Conductividad térmica (W/K·m)	209,3	106-140
Viscosidad	Alta	Moderada

Fuente: Autor.

### 5.1.1 Análisis comparativo entre las aleaciones de aluminio y zinc

Las aleaciones más usadas en la industria de la fundición a presión, para fabricación de piezas decorativas en los últimos años, han sido las aleaciones base zinc, y las aleaciones base aluminio, que según su naturaleza y propiedades físico-químicas que describen anteriormente, conllevan a una diferencia en los requerimientos de trabajo de cada una de estas aleaciones, como la forma y las condiciones de inyección.

Las aleaciones de aluminio son muy ligeras, su peso es apenas el 40%, del peso de las aleaciones de zinc, lo que las hace atractivas en la fabricación de piezas grandes y

livianas, utilizadas en la aeronáutica y automoción, por la alta resistencia que además estas presentan.

Las aleaciones de aluminio, pueden ser trabajadas en las maquinas de cámara fría, debido a la tendencia del aluminio a atacar el acero.

Sin embargo, las aleaciones de zinc presentan la mejor reputación en cuanto a metales usados en colada a presión, como alta colabilidad, piezas de pared delgada, buena resistencia, permite buen acabado superficial y aumenta la vida útil de los moldes hasta 10 veces más, que para aleaciones de aluminio, pero la mayor desventaja que presentan es su elevado peso.

A continuación, se presenta tablas comparativas de características de aleaciones de zinc y aluminio, utilizadas en fundición a presión, con el fin de poder observar más a fondo las propiedades de cada una y poder compáralas.

**Tabla 11: Propiedades físicas y mecánicas de las aleaciones de Zinc y Aluminio.**

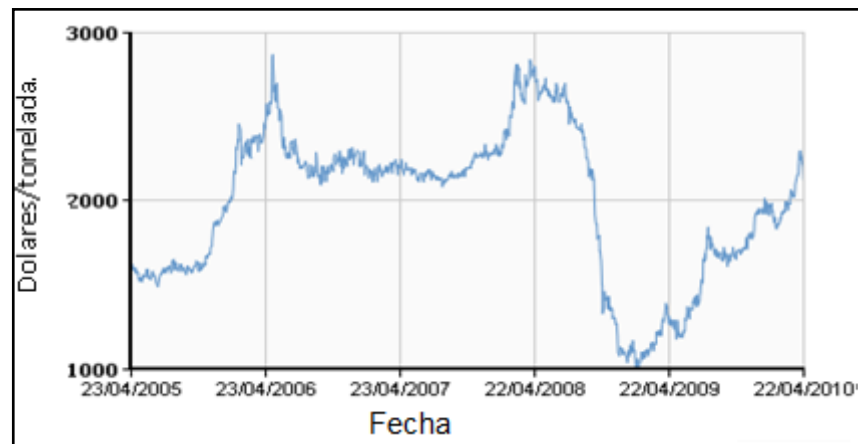
<b>ALEACIONES DE ZAMAC</b>					
		<b>Z - 400 ( ALLOY 3)</b>	<b>Z - 410 ( ALLOY 5)</b>	<b>Z - 430 ( ALLOY 2)</b>	<b>Z - 430B</b>
<b>Composición Química, %</b>	<b>Al</b>	4,20	4,20	4,20	4,20
	<b>Cu</b>	<b>0,03</b>	<b>1,00</b>	<b>2,90</b>	<b>2,90</b>
	<b>Mg</b>	0,05	0,05	0,05	0,08
	<b>Zn</b>	Remanente	Remanente	Remanente	Remanente
<b>Intervalo de Fusión, °C</b>		381 - 387	380 - 386	379 - 390	380 - 390
<b>Densidad, g/ cm<sup>3</sup></b>		6,6	6,7	6,8	6,8
<b>Contracción lineal en proporción al moldeo, %</b>		1	1	1	1
<b>Resistencia a la tracción, (N / mm<sup>2</sup>)</b>		283	328	359	359
<b>ALEACIONES DE ALUMINIO</b>					
		<b>AlSi 12Cu</b>	<b>AlSi8Cu3</b>	<b>AlSi 10Cu2</b>	<b>AlSi 9Cu</b>
<b>Composición Química, %</b>	<b>Al</b>	Remanente	Remanente	Remanente	Remanente
	<b>Si</b>	12,00	8,50	9,5-12	9-10
	<b>Fe</b>	0,80	0,85	1,30	2,0
	<b>Cu</b>	0,60	3,5	1,5-3,5	0,6
	<b>Mg</b>	0,30	0,10	0,10	0,5
	<b>Mn</b>	0,35	0,50	0,60	0,35
	<b>Zn</b>	0,50	2,90	7,50	0,35
<b>Temp. de Fundición, °C</b>		650 - 750	640 - 700	650 - 700	675 - 790
<b>Densidad, g/ cm<sup>3</sup></b>		2,66	2,73	2,81	2,69
<b>Contracción lineal en proporción al moldeo, %</b>		1,2	1,2	1,4	1,2
<b>Resistencia a la tracción, (N / mm<sup>2</sup>)</b>		290	315	204	175

Fuente: Propulsora S.A.

En la tabla anterior se observa que la resistencia mecánica de las aleaciones zamac, es mayor que las aleaciones de aluminio. Sin embargo, las aleaciones de aluminio también tienen, una buena resistencia, lo que permite una diferencia poco marcada entre las dos, contando además que las piezas que se requieren en la empresa Fantaxias Ltda., no se necesitan para trabajos de alta resistencia.

Otro factor que tiene importancia sobre el proceso de inyección de aluminio y zinc, es el costo del cada uno de los metales. A continuación, se muestran unas graficas del comportamiento en el valor de cada uno en los últimos años.

**Figura 27: Comportamiento en el precio de aluminio de 2005 a 2010.**



Fuente: London Exchange Metal ([www.lme.com](http://www.lme.com)).

**Figura 28: comportamiento en el precio de zinc de 2005 a 2010.**



*Fuente: London Exchange Metal ([www.lme.com](http://www.lme.com)).*

Este análisis se hace con el fin de, presentar una idea del motivo por el cual se ha querido desarrollar el proceso de colada por inyección de aluminio, en la empresa Fantaxias Ltda., la cual por años ha producido y exportado piezas en aleaciones zamac.

El principal factor en el desarrollo de un proceso, es la rentabilidad que este produce, por lo cual se requiere, que el costo de producción del proceso sea reducido al máximo, manteniendo la calidad en todo momento.

Debido a que el aluminio, como ya se demostró nos representa un menor en costo en comparación con las aleaciones de zinc, además por ser un materia que produce piezas livianas, permite rebajar los costos de producción y transporte de exportación, sin desmejorar la calidad del producto, teniendo en cuenta que el mercado de este tipo de herrajes en aluminio, están en auge alrededor del mundo, se convierte en una gran alternativa comercial.

### 5.1.2 Análisis de las aleaciones de aluminio

Para seleccionar la aleación correcta del metal a fundir en el proceso de inyección, se hace necesario, tener en cuenta el más mínimo aspecto que pueda causar el elemento que prima sobre la aleación y los demás elementos aleante. Es por esto que partiendo de conocer las propiedades y diferencias entre el metal base de la aleación que se viene utilizando en la empresa FANTAXIAS LTDA, y el nuevo metal a poner en marcha (Aluminio), se da paso a un detallado análisis de las aleaciones base aluminio, que permita la selección de la aleación indicada para este proyecto.

#### 5.1.2.1 Las principales aleaciones de aluminio

Las principales aleaciones de aluminio son:

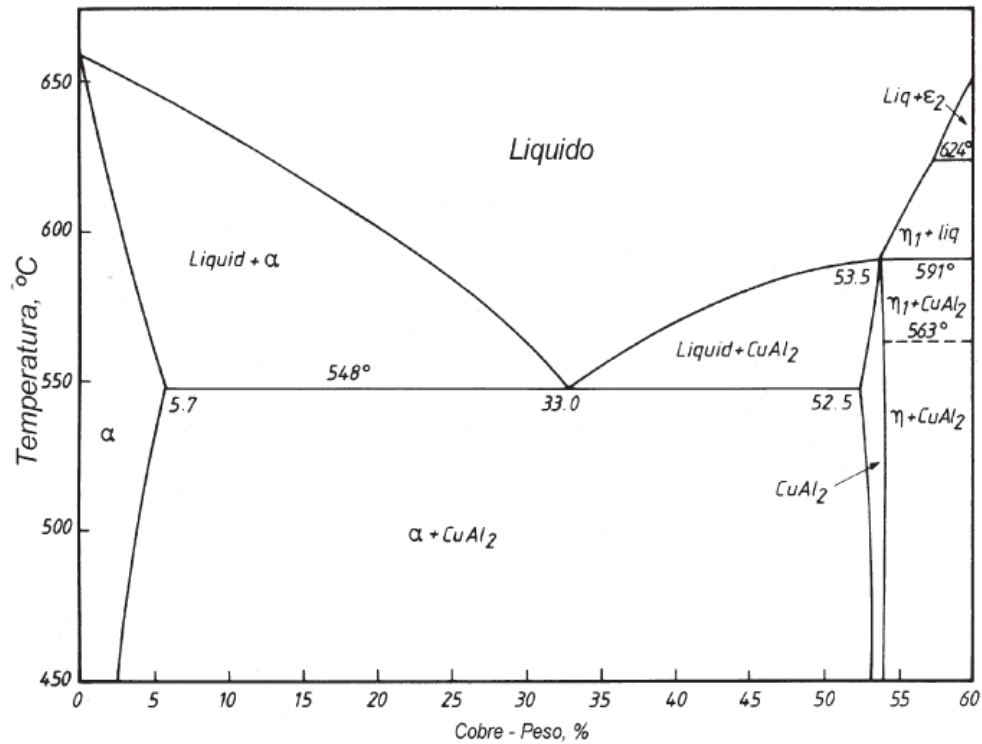
- Al-Si
- Al-Mg
- Al-Mn
- Al-Cu
- Al-Zn

Las aleaciones más utilizadas en fundición a presión, son las aleaciones aluminio-silicio, y aluminio-cobre, estas aleaciones presentan excelentes propiedades físicas y mecánicas, permitiendo su uso en gran variedad de aplicaciones. [27]

- **Aleaciones aluminio-cobre**

La adición de cobre al aluminio aumenta la colabilidad, disminuye la resistencia a la corrosión y permite aumentar la resistencia mecánica y la dureza de la aleación mediante tratamientos térmicos de solubilización [28], temple y recocido. Las aleaciones de aluminio-cobre conforman un sistema eutéctico, con una composición de 33% Cu y temperatura eutéctica de 548°C. (Ver figura 29.).

Figura 29: Diagrama de equilibrio Al-Cu.



Fuente: Prado, José. Ruiz, Jose.1990.

El cobre actuante reforzador en las aleaciones de aluminio, aumenta la dureza y resistencia, pero disminuye su maquinabilidad y ductilidad. Es por esto que las aleaciones de Al-Cu, tienen un gran problema en el proceso de fundición a presión, pues presentan una alta susceptibilidad de agrietamiento en caliente, lo que hace que las piezas resulten defectuosas. Las aleaciones más usadas comercialmente son las que contienen de un 4 a 6% de Cu, por su facilidad para realizar tratamiento térmico.

- **Aleaciones aluminio-silicio(Al-Si)**

La primera aleación de aluminio-silicio fue elaborada en 1854. En 1920, se encontró la primera aplicación individual de una aleación aluminio-silicio (Si=10%).

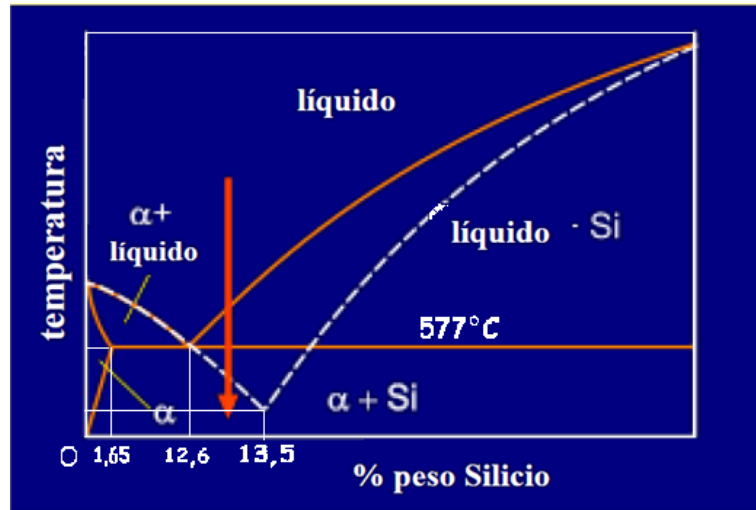
En 1921 A. Pacz [29] encontró un método que permitía modificar la estructura de esta aleación determinando mejores propiedades. El estudio se basó en el análisis de las propiedades, en aleaciones que contienen solo silicio, como las que tienen otros elementos de aleación frente a las aleaciones modificadas con sodio.

El aluminio y el silicio presentan una miscibilidad total en estado líquido, lo que hace que formen una aleación eutéctica simple sin compuestos, en una composición de 12.6% de silicio, con un punto de fusión de 577°C [30]. La solubilidad del silicio en aluminio a temperaturas menores de 100°C, es de 0,05% Si, y a temperatura eutéctica presenta un máximo de solubilidad de 1,65% (ver Fig.30).

Las aleaciones que contienen 12% de silicio, se usan para producir piezas de secciones delgadas y complicadas [31], debido a la alta colabilidad que este elemento le imprime, en estado líquido, tiene la posibilidad de fluir en espacios reducidos, permitiendo producir piezas con mayor eficiencia.

Además al adicionar pequeñas cantidades de sodio a la aleación aluminio-silicio 12%, ocurre una modificación durante la solidificación, donde la concentración eutéctica de silicio se desplaza a un 13,5%, y su temperatura disminuye a 564°C., influyendo sobre la microestructura del silicio primario, mejorando las propiedades mecánicas de la aleación.

Figura 30: Diagrama de equilibrio Aluminio-Silicio.



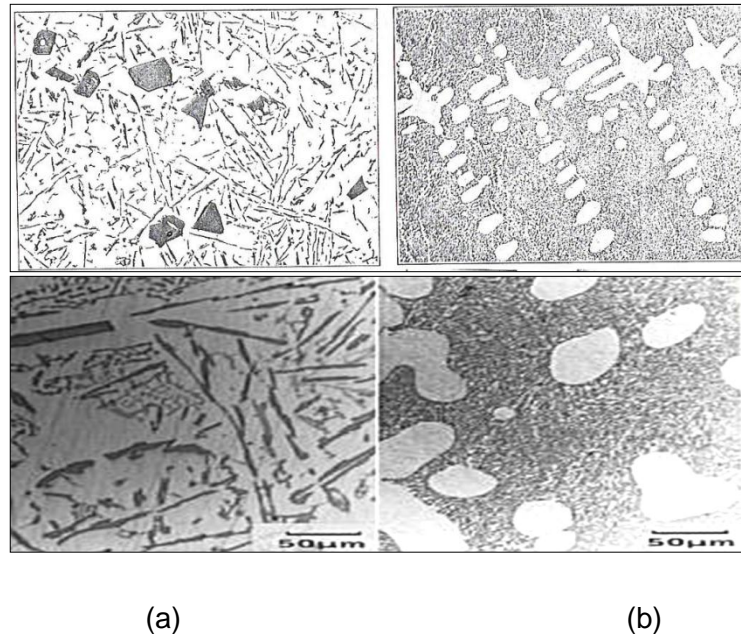
Fuente: Sampedro, José Luis.2007.

En la figura 30, las líneas punteadas representan la modificación de la aleación, que consiste en una supresión de la cristalización del silicio con un enfriamiento rápido, o por adición de algún agente modificador. El efecto de la modificación se consigue en aleaciones de aluminio con 12 a 13% de silicio, esto se debe a que el crecimiento de los granos de silicio son obstruidos por el enfriamiento rápido de la aleación o la acción del modificador, produciendo un cambio morfológico en las partículas de silicio, las cuales afectan las propiedades mecánicas de la pieza.

En modificación ocurre un cambio en la microestructura, de formas aciculares, se transforma en estructuras fibrosa redondeada (ver fig. 31), la cual proporciona mejoramiento en las propiedades mecánicas de la aleación.

Es necesario realizar el procedimiento de modificación durante el proceso de fusión en este tipo de aleaciones, para conseguir piezas fundidas con alta calidad. Los modificadores más eficientes para las aleaciones de aluminio son: sodio, potasio y estroncio.

**Figura 31: Microestructura de una aleación de Al-Si a) sin modificación, b) modificado.**



Fuente: INDUSTRIA DEL ALUMINIO, 2007.

Las propiedades de las aleaciones de aluminio-silicio, han permitido ser utilizadas en la industria automotriz, aeronáutica y naval, debido a que presentan unas características especiales, entre las cuales se destacan: peso ligero, alta resistencia al desgaste, y alta resistencia mecánica.

#### 5.1.2.2 Efecto de los elementos de aleación, sobre la aleación Al-Si.

- a) Silicio: la adición de silicio al aluminio, aumenta la fluidez de la aleación, lo que permite aumentar la aptitud al moldeo [32]. Debido a que el silicio tiene un retículo cristalino tipo diamante, no denso, en donde cada átomo de silicio ocupa un espacio mayor en estado sólido que en estado líquido, la contracción va a ser menor en comparación con el aluminio no aleado.

El aluminio puro es poco utilizado en fundición, debido a la susceptibilidad del agrietamiento en caliente, pero con la adición de silicio este problema disminuye, debido a la morfología que presenta la aleación.

La adición de silicio imprime efectos secundarios a las aleaciones de aluminio, disminuyendo la ductilidad, conductividad eléctrica y térmica, y la maquinabilidad. El silicio permite una fácil penetración de la aleación, lo que hace que tenga buena colabilidad y soldabilidad; el silicio aumenta la resistencia a la fluencia, la resistencia a la fatiga en las aleaciones modificadas y la resistencia al desgaste con un alto contenido de silicio, sin embargo una alta cantidad de silicio en la aleación disminuye el efecto que causa el aluminio al reaccionar con la matriz del acero [33].

- b) Hierro: considerado en las aleaciones de aluminio como una impureza, produce aumento de dureza. El contenido del 1% Fe, reduce el pegado del molde en el proceso Die Casting, pero se recomiendan en este proceso cantidades menores del 0,8%.
- c) Cobre: incrementa la dureza y disminuye la ductilidad. En la modificación de la aleación Al-Si13%, el cobre puede mantenerse con un porcentaje bastante bajo, debido al alcance que puede lograr en un valor de ductilidad máximo.
- d) Otros elementos: La adición de cantidades mayores al 1% de Zn, sobre la aleación de colada no produce efecto sobre la resistencia a la corrosión, pero si incrementa la dureza, la fuerza y disminuye la ductilidad.

El níquel, cromo y estaño con composiciones sobre 0.5%, tiene poca influencia sobre las características y propiedades de estas aleaciones, el magnesio mejora las características de alimentación por la formación de compuestos intermetálicos.

### 5.3 SELECCIÓN DE LAS ALEACIONES DE AL-SI, PARA SER USADAS EN EL PROCESO DE COLADA POR INYECCION

La industria del aluminio en el proceso Die Casting comenzó y mantuvo su trabajo, a partir de aleaciones de aluminio-cobre con contenidos desde los 6% a contenidos altos como el 18% de Cu, siendo las más importante en esta industria las que contenían entre el 8 y el 12 %.

Sin embargo, después se produjo una tendencia a hacia las aleaciones que contienen silicio, las cuales ocupan una gran extensión en campo del Die Casting, por el incremento de la variedad de artículos que podían ser fundidos.

Se dice que, una buena aleación para fundición a presión debe ser fluida desde un calentamiento breve. Además que las propiedades físicas de las aleaciones a utilizar en el proceso, son de acuerdo al tipo de piezas que se desean diseñar. Todas las aleaciones de aluminio usadas en die casting, deben ser libres de cambios de volumen espontáneo y agrietamiento, así las aleaciones de aluminio silicio, ofrecen ventajas de alta resistencia a la corrosión, buena fluidez, baja gravedad específica y baja contracción pero estas aleaciones son a veces, difíciles de maquinarse, por lo que se requiere herramientas de carburos o aplicar un buen lubricante.

Por estas razones, obtenidas de la literatura y de acuerdo a lo analizado con respecto al efecto que causan los diferentes elementos de aleación sobre el aluminio, y su comportamiento en el proceso Die Casting, se realiza una propuesta acerca de unas posibles aleaciones que utilizaremos en el proceso de la empresa FANTAXIAS LTDA.

El grupo de aleaciones de Al-Si es verdaderamente extenso, por eso es que para el proceso que se quiere plantear es necesario seleccionar, las aleaciones que mejor se adapten al proceso de fundición a presión, para lo cual, se ha investigado y llegado a las siguientes conclusiones:

Esta selección, también se apoya en la norma **B 85/B 85M – 09** (Standard Specification for Aluminum-Alloy Die Castings).

**Tabla 12: Especificaciones aleación base aluminio AISi8Cu3.**

Aleación AISi8Cu3	Elemento	Cantidad %	Propiedades y características
Composición química %.	Al	Remanente	Buena resistencia al agrietamiento en caliente. Disminuye adherencia al molde. Resistencia a la corrosión moderada. Buena capacidad de llenado. Permite maquinado. Bueno para electro plateado.
	Si	8,50	
	Fe	0,85	
	Cu	3,50	
	Mg	0,10	

**Tabla 13: Especificaciones aleación base aluminio AISi12Cu.**

Aleación AISi12 Cu	Elemento	Cantidad %	Propiedades y características
Composición química %.	Al	Remanente	Buena resistencia al agrietamiento en caliente. Resistencia a la corrosión al límite mínimo. Muy buena fluidez. Buena colabilidad. Maquinabilidad moderada.
	Si	12.0	
	Fe	0.8	
	Cu	0.6	
	Mg	0.3	

**Tabla 14: Especificaciones aleación base aluminio AISi12Cu.**

Aleación AISi10Cu2	Elemento	Cantidad %	Propiedades y características
Composición química %.	Al	Remanente	Buena resistencia al agrietamiento en caliente. Resistencia a la corrosión moderada. Alta capacidad de llenado. Evita el pegado al molde. Buena maquinabilidad.
	Si	9.5-12	
	Fe	1.30	
	Cu	1.5-3.5	
	Mg	0.1	

**Tabla 15: especificaciones aleación base aluminio AlSi9Cu.**

Aleación AlSi9Cu	Elemento	Cantidad %	Propiedades y características
Composición química %.	Al	Remanente	Buena resistencia al agrietamiento en caliente. Resistencia a la corrosión moderada. Moderada capacidad de llenado. Evita el pegado al molde. Buena resistencia a la corrosión. Moderada maquinabilidad.
	Si	9-10	
	Fe	2.0	
	Cu	0.6	
	Mg	0.5	

## **6. ANÁLISIS DEL PROCESO DE INYECCIÓN Y CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DE COLADA**

En esta parte del trabajo se busca presentar el desarrollo teórico para la fabricación de una pieza, estableciendo los parámetros de inyección con respecto a las características del molde y la maquina, utilizando las formulas descritas, para dar un ejemplo de manera que se establezcan los valores de cada variable presente en el proceso.

Para determinar la calidad de la pieza se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Espesores y sección del ataque de colada.
- Tiempo de llenado de la cavidad del modo.
- Velocidad del metal en el ataque de colada.
- Características físicas y tecnológicas de la aleación.
- Velocidad y presión a la cual la pieza es obtenida.
- Relación entre la temperatura del metal y del molde.

Si cada uno de estos aspectos es cuidadosamente configurado, la calidad de la pieza producida será muy buena.

### **6.1 CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DE INYECCIÓN DE LAS ALEACIONES AL-SI**

Para hablar de las características de inyección se puede empezar principalmente con las condiciones que se deben cumplir para evitar los problemas durante el llenado del molde, ver tabla.15.

**Tabla 16: Condiciones necesarias en las fases de inyección.**

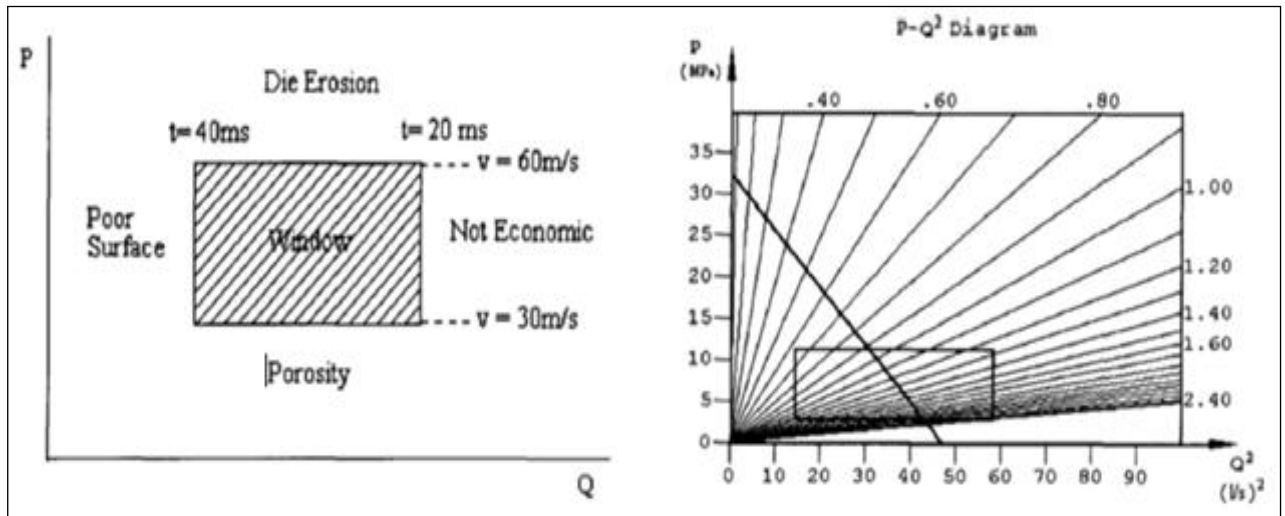
<i>Descripción</i>	<i>Requerimientos</i>	<i>Efecto</i>
<i>1º Fase de inyección.</i>	<i>Velocidad del cilindro de inyección: &lt; 0,25 m/s.</i>	<i>Expulsar el aire en que esta el contenedor para evitar que entre en la cavidad, además evitar que el metal que está en el contenedor se derrame.</i>
<i>2º Fase de inyección.</i>	<i>Velocidad del cilindro de inyección: 1 a 2 m/s.</i>	<i>Aumento repentino de la velocidad, que permite llenar la cavidad antes que el metal empiece a solidificar.</i>
<i>3º fase de inyección.</i>	<i>Presión ejercida sobre el metal: 30 a 100Mpa.</i>	<i>Permite compactar la aleación en vía de solidificación dentro de la cavidad, para contrarrestar la contracción.</i>
<i>Velocidad en el ataque de colada.</i>	<i>Velocidad del metal en el ataque de colada: 30 a 40 m/s.</i>	<i>Para conseguir una estética superficial importante en la pieza colada.</i>

Fuente: el autor.

Todas las maquinas de presión tienen comportamiento  $P/Q^2$ , esta relación viene dada por el constructor de la maquina. La grafica nos permite conocer el comportamiento de la velocidad de desplazamiento del pistón, durante las dos primeras fases de inyección, siendo este característico de cada maquina. Estos factores deben mantenerse en ciertos

valores dentro del diagrama  $P/Q^2$ , en un zona denominada “Ventana de control” [34], para evitar problemas en las piezas fundidas como se observa en la figura.32.

**Figura 32: Ventana de control del proceso de Die Casting para aleaciones aluminio.**



**Fuente: Study on a CAD/CAE System of Die Casting, 1997.**

La grafica anterior nos presenta los límites del tiempo y la velocidad de avance del pistón, junto con los problemas que ocasiona mantener los parámetros fuera de la ventana. Debido a esto podemos decir que la velocidad de avance del pistón, está regida por:

- Presión del fluido hidráulico.
- Caudal del fluido hidráulico.
- Volumen del cilindro de inyección.

Por esto, hay que tener cuidado con los requerimientos de cada fase de inyección mencionadas anteriormente, para evitar piezas defectuosas y demoras en el proceso.

## **6.2 PARÁMETROS IMPORTANTES A TENER EN CUENTA PARA CONSEGUIR PIEZAS DE ALEACIONES BASE ALUMINIO CON BUEN ACABADO SUPERFICIAL**

### **6.2.1 Llenado del contenedor**

El grado de llenado del contenedor, como ya se menciono anteriormente, se debe mantener en un rango de 60 a 80%, para evitar trayectorias del pistón demasiado largas, además de permitir la evacuación del aire total en poco tiempo. También evita olas de choque, que producen proyección de metal fundido desde el interior del contenedor, esto se consigue con el cálculo de la cantidad de aleación necesaria para colar qua pieza, sumando el volumen que se contrae, logrando una dosificación adecuada, en relación a la cavidad útil del contenedor.

### **6.2.2 Aspectos importantes del llenado del molde con aleaciones Al-Si**

Este aspecto es de gran importancia, debido a que el llenado completo de la cavidad del molde para obtener piezas sanas y de calidad, hace necesario controlar cada uno de los parámetros, que influyen en el llenado de la cavidad.

- **Temperatura de la aleación**

La aleación fundida debe mantenerse fluida hasta terminar el llenado de la cavidad, por lo que se recomienda para las aleaciones Al-Si y Al-Si-Cu, temperatura de colada para fundición a presión, entre un mínimo de 640°C, hasta un máximo de 700°C., para conseguir llenado completo de la cavidad en corto tiempo.

Sin embargo, un estudio realizado por la universidad de Padua en Italia, se encontró que la piezas fabricadas en aleaciones de aluminio que presentan mejores características mecánicas, y homogeneidad en las fases secundarias, se presentan a temperaturas de colada relativamente altas como 700°C [35].

- **Temperatura del molde**

El molde requiere ser precalentado para ayudar al flujo de la aleación durante la inyección, evitando que el metal sufra solidificación prematura en zonas como el ataque de colada, bloqueado el paso del metal a la cavidad del molde.

La temperatura de la cavidad del molde estadísticamente se puede mantener en un rango de temperatura de 230- 250°C. Los ingenieros investigadores de la empresa Aurrenak Co, recomienda que el valor mínimo que se puede permitir en el precalentamiento es de 200°C., pues una temperatura más baja produce desgaste rápido del molde y taponamiento del ataque de colada por enfriamiento rápido de la aleación [36].

### **6.2.3 Aspectos importantes para el diseño de ataques de colada de las aleaciones Al-Si**

Al diseñar piezas para colar por presión, se deben procurar que estas tengan el espesor más uniforme posible, debido a que cuando las piezas presentan diferentes espesores se produce dificultad para ubicar los ataques de colada. Además cuando hay secciones gruesas se presenta concentración localizada de calor, por lo que se requiere que estas secciones gruesas estén lo más alejadas de la mazarota de llenado, por el calor que ella presenta.

Para mejorar la disipación del calor, es necesario que los ataques de colada estén ubicados en las partes delgadas de la pieza, debido a que si se ubican cerca de las partes gruesas el metal demorará mas en solidificar, por el calor que produce la entrada del metal.

Para piezas con masas importantes se requieren un espesor de ataque de colada significativo, para lograr una excelente compactación, logrando piezas sanas. No se recomienda usar más de un ataque de colada en la zona voluminosa, para evitar problemas en la unión de los frentes de flujo, por la acción de los óxidos al entrar estos en contacto.

La influencia de la ubicación del ataque, se regula debido a la regla de que dice: La distancia entre el ataque de colada y el punto en donde el metal deja de fluir, debe ser el más corto, sin dejar de tener en cuenta el tiempo máximo de llenado. Además la ubicación del ataque debe ser de tal forma que se evite al máximo la formación de zonas muertas, de estancamiento y caminos preferenciales.

Según sea la ubicación del ataque, el flujo de metal entra de dos formas, así:

- **Ataque directo:** el ataque está alineado con el canal de colada y el metal entra directo hacia la cavidad del molde con la mínima pérdida de presión, sin embargo, el primer metal que entra en la cavidad solidifica prematuramente, produciendo problemas en la pieza colada. Este sistema es el más utilizado en fundición.
- **Ataque indirecto:** el metal entra y se embolsa en una cavidad que hay antes de entrar en el ataque, debido a que esta cavidad está a 90°, con respecto al canal de colada. El metal entra y se embolsa en ella permitiendo que la presión se estabilice y la velocidad sea más uniforme, antes de empezar a llenar la cavidad, este sistema es de gran ventaja para moldes con más de una cavidad o piezas de múltiple ataque de colada.

En los moldes que tienen múltiples cavidades, el mejor resultado para la fabricación de piezas por racimo, es cuando las piezas tienen el mismo volumen, la misma superficie y espesores similares.

El canal de colada en los moldes múltiples, cada una de las piezas debe ser de las mismas dimensiones, para que el llenado de las piezas ocurra a la vez, en el tiempo determinado por los espesores de la pieza. Si esto no se cumple, la presión de la tercera fase de inyección, no actúa de la misma manera sobre cada cavidad produciendo problemas de contracción en ciertas piezas.

Se aclara este tipo de moldes de cavidad múltiple, pues es la técnica utilizada en la empresa Fantaxias Ltda., por la disminución de tiempo que estos moldes representan frente al proceso.

## 7. CALCULO DE LOS PARÁMETROS DE INYECCIÓN DE UNA PIEZA PARA USO DECORATIVO EN LA MÁQUINA ZITAI 1100 TPS, PROPIEDAD DE FANTAXIAS LTDA.

La empresa **FANTAXIAS LTDA**, decide adquirir una maquina de inyección, importada de la China, que tiene como referencia **ZITAI 1100 TPS**, con la cual se aplicara el proceso de inyección de aleaciones de Al-Si, para fabricar piezas decorativas. Las características principales de este equipo son:

- Presión del fluido: **100 Kg/cm<sup>2</sup>.**
- Presión del multiplicador: **210 Kg/cm<sup>2</sup>.**
- Diámetro del pistón de inyección: **50 mm.**
- Diámetro del pistón de accionamiento: **100mm.**
- Relación del multiplicador: **2:1**

El parámetro de inyección de la maquina puede determinarse de dos formas, por medio de las formulas expresadas en el primer capítulo del libro, o por medio de graficas ya establecidas que se muestra más adelante.

### 7.1 CALCULO TEÓRICO DE LOS PARÁMETROS DE INYECCIÓN

- **1<sup>ra</sup> fase de inyección:**

Para esto se selecciona una velocidad menor a 0,25 m/s, como principal condición. Por medio de la grafica  $P/Q^2$ , característica de la bomba de aproximación y teniendo la presión del fluido, se halla el caudal y se controla con la válvula de flujo, hasta encontrar la velocidad requerida.

- **2<sup>da</sup> Fase de inyección:**

La pieza que tomamos como referencia, es una pieza que se desea fabricar en aleación de aluminio en la empresa Fantaxias Ltda. Por lo cual se calculan los parámetros de llenado de la cavidad, de acuerdo a los siguientes datos tomados del programa de diseño Solid Edge:

**Peso de la pieza: 0,8 Kg.**

**Espesor medio: 3 mm.**

De acuerdo a la formula (16), podemos hallar el volumen de la cavidad del molde:

$$Vol. de la pieza = \frac{0,8 Kg}{2,5 Kg/dm^3} = 320 cm^3$$

$$Vol. de la pieza = 320 cm^3$$

Teniendo en cuenta la contracción del aluminio en la ecuación (6), podemos hallar el volumen de aleación requerida para llenar la cavidad y contrarrestar este efecto:

$$320 cm^3 * 0,074 = 22,4 cm^3$$

La cantidad de aleación requerida es:

$$Vol. total = 320 + 22,4 = 342,4 cm^3$$

De acuerdo al dato del espesor podemos establecer el tiempo de llenado de la cavidad, así:

- Según la Tabla 14: Para un espesor de 3 mm, se requiere un tiempo de 0,075 s, para llenar completamente.
- De acuerdo a la tabla 10, podemos hallar el espesor del ataque, en función de el espesor de la pieza y a las características requeridas, Así:  $S_p = 1,5mm$ .
- Además, de acuerdo a los parámetros requeridos para la segunda etapa, se asume que la velocidad en el ataque de colada es de 35 m/s.

De acuerdo a lo anterior tenemos:

Calculo del caudal Ec. 18: 
$$Q = \frac{V}{t} = \frac{320 \text{ cm}^3}{0,075 \text{ s}}$$

$$Q = 4266,6 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

Calculo de la sección del ataque Ec. (19):

$$A_{\text{Ataque}} = \frac{Q}{V} = \frac{4266,6 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}}{3500 \text{ cm}^2/\text{s}}$$

$$A_{\text{Ataque}} = 1,21 \text{ cm}^2$$

Como  $Sp = 1,5 \text{ mm}$ , tenemos, el frente de ataque (L):

$$L = \frac{A_{\text{Ataque}}}{Sp} = \frac{1,21 \text{ cm}^2}{0,15 \text{ cm}}$$

$$L = 80,6 \text{ cm}.$$

Así, la velocidad del pistón en segunda fase es según la tabla 2:

$$Vel. \text{ piston en } 2^{\circ} \text{ fase} = \frac{4Q}{D^2 * 3,14}$$

$$Vel. \text{ piston en } 2^{\circ} \text{ fase} = 2,17 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

De acuerdo a la grafica P/Q, para esta fase de llenado se puede hallar la presión necesaria sobre el metal, por medio de esta velocidad. Sin embargo, la figura 18, indica que la presión requerida para producir una velocidad de 35 m/s. se requiere una presión de 3 Mpa sobre la aleación.

- **3<sup>ra</sup> fase de inyección:**

La maquina ZITAI 1100 TPS tiene la característica de una presión de liquido de 100 Kg/cm<sup>2</sup>, y debido a que la relación del multiplicador es 2:1, podemos hallar las fuerzas de compresión del metal Ec.9.

$$Pm = Pf \times \frac{S \text{ mayor}}{S \text{ menor}} = 100 \frac{Kg}{cm^2} * \frac{2}{1}$$

$$Pm = 200 \frac{Kg}{cm^2}$$

Y la fuerza en el cilindro de accionamiento, con un diámetro de 60 mm, tendremos Ec. 10:

$$F = Pm \times Ac = 200 \frac{Kgf}{cm^2} * 28,26cm^2$$

$$F = 16493.36 Kg$$

La presión sobre el metal, según la ecuación 8 será:

$$Pg = \frac{F}{Ap} = \frac{16493.36 Kg}{19,62 cm^2}$$

$$Pg = 8,4 Mpa$$

De acuerdo a esto se puede calcular la fuerza que se debe producir la máquina para mantener los semimoldes cerrados o fuerza de cierre, como se explico anteriormente:

Calculamos inicialmente la fuerza de apertura, sabiendo que el área de la pieza proyectada sobre el plano de partición es 500 cm<sup>2</sup>, así tenemos de la Ec. 13:

$$\text{Fuerza de apertura: } (P3) * (A \text{ proy.}) = 840 \frac{Kg}{cm^2} * 500 cm^2$$

$$\text{Fuerza de apertura} = 420320Kg$$

Ahora la fuerza de cierre, es Ec.12:

$$\text{Fuerza de cierre} = 1.2 * (\text{Fuerza de apertura}) = 1,2 * 633500Kg$$

$$\text{Fuerza de cierre} = 504382.1 kg$$

De esta forma se han determinado de manera teórica los parámetros de inyección de una pieza, diseñada en la empresa Fantaxias Ltda.

## 7.2 CALCULO DEL PARÁMETRO DE INYECCIÓN EN FORMA GRAFICA

Teniendo en cuenta otros métodos utilizados en los cálculos de los parámetros de inyección, a continuación se desarrolla este proceso utilizando las relaciones entre los parámetros, con una grafica similar a la que se presenta en la grafica 17. Esta tabla fue diseñada por Ernst Brunhuber, y nos permite hallar los valores de cada una de las variables o simplemente corroborar los datos obtenidos de manera teórica:

### Datos:

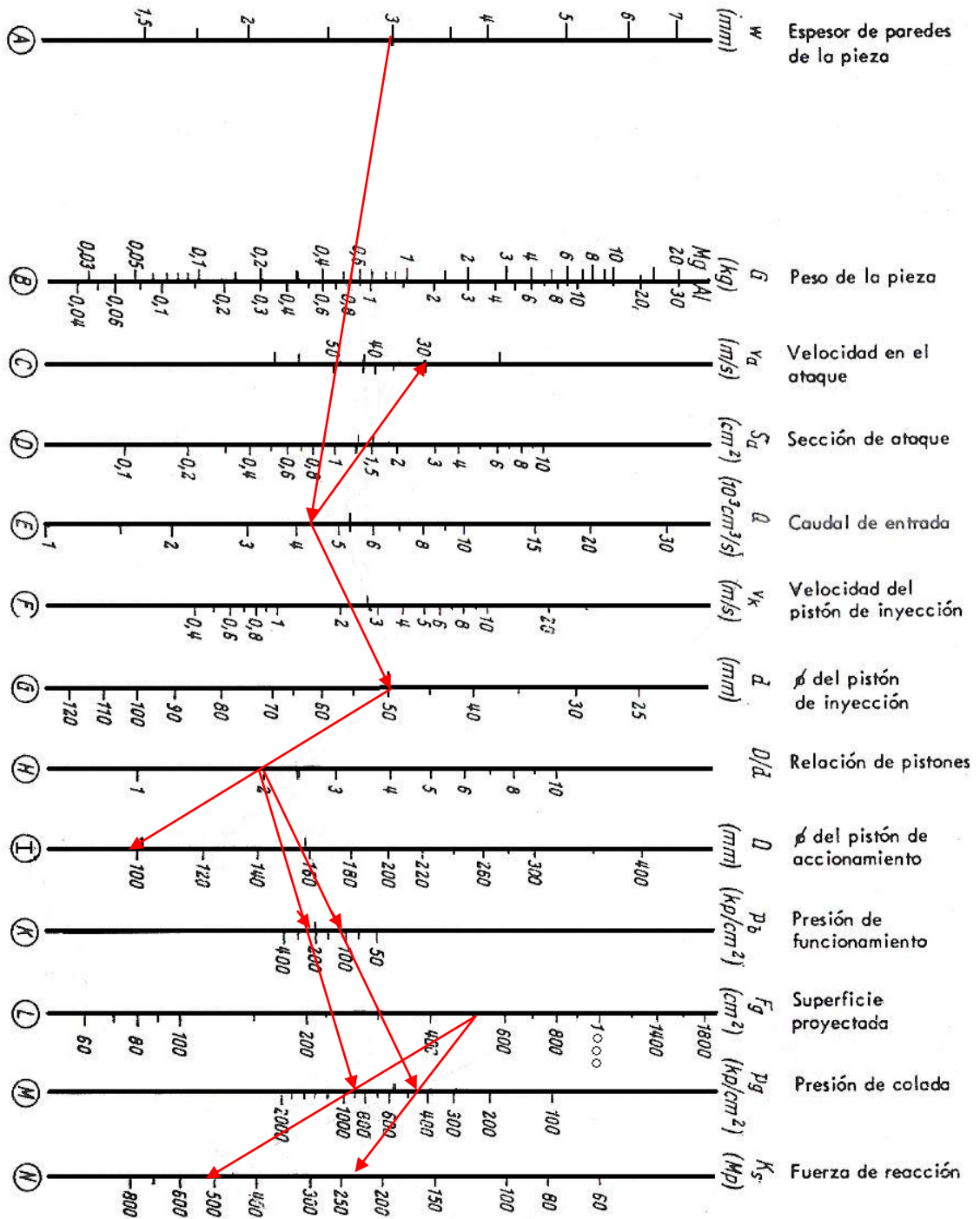
Peso de la pieza: 0,8 kg

Espesor de la pieza: 3 mm.

Presión de cumulador: 100 Kg/ cm<sup>2</sup>.

Presión del acumulador: 210Kg/cm<sup>2</sup>.

**Figura 33: Nomograma para inyección de metales ligeros según E. Brunhuber.**



Fuente: Brunhuber 1968.

### Procedimiento:

1. Conociendo el espesor de pared (A), se traza una recta hasta valor del peso (B), y se prolonga hasta (E), en donde encontramos el caudal Q necesario para llenar la cavidad en tiempo determinado.
2. Desde el valor del caudal en (E), se traza una línea hasta (C), con un valor de velocidad que este entre los límites permisibles, la intersección con la escaña (D) arrojando el valor del ataque de colada.
3. Desde el valor del caudal en (D), se traza otra recta hasta, el diámetro del pistón de inyección en (G), la intersección de esta, con la escala (F) da el valor de la velocidad en el ataque de colada.
4. Desde el diámetro del pistón de inyección (G), se traza una recta hasta el valor del diámetro del pistón de accionamiento en (I). La intersección muestra la relación entre los pistones (H).
5. De valor de la relación (I), se trazan rectas hasta la presión de funcionamiento tanto del cilindro de accionamiento solo, como también para cuando actúa el multiplicador, que se encuentran en (K), estas presiones son de  $100 \text{ Kg/cm}^2$  y  $200 \text{ Kg/cm}^2$  respectivamente, luego se prolongan estas rectas hasta la escala (M), la cual da el valor de la presión sobre el metal en la 2<sup>o</sup> y 3<sup>o</sup> fase.
6. Del valor de la superficie en la escala (L), se trazan rectas que pasen por el valor de las presiones de colada en (M), y se prolongan hasta (N) que es el valor de la fuerza de apertura, por medio de estas y la ecuación #, podemos hallar el valor de la presión de cierre para cada presión ejercida sobre el metal.

De esta forma se ha encontrado el parámetro de inyección de la máquina, en forma grafica. Sin embargo, al observar el desarrollo teórico y compáralo con el desarrollo grafico, observamos que la similitud para la misma pieza y con la misma maquina, representa un parámetro muy similar, para las condiciones de inyección, lo que permite concluir que cualquiera de los dos métodos de cálculo son viables para tal fin.

## **7. ANÁLISIS DEL PROCESO DE FUSIÓN POR COLADA A PRESIÓN EN LA EMPRESA FANTAXIAS LTDA.**

Para la empresa FANTAXIAS LTDA, es un reto y objetivo, convertirse en la empresa número uno (1) del país en la industria de la fabricación de piezas decorativas, en un metal liviano con el fin de exportación, y que tenga excelentes propiedades como es el caso del aluminio. Para establecer este proceso es necesario y fundamental tener en cuenta el impacto ambiental que el proceso de fundición acarrea a sus alrededores.

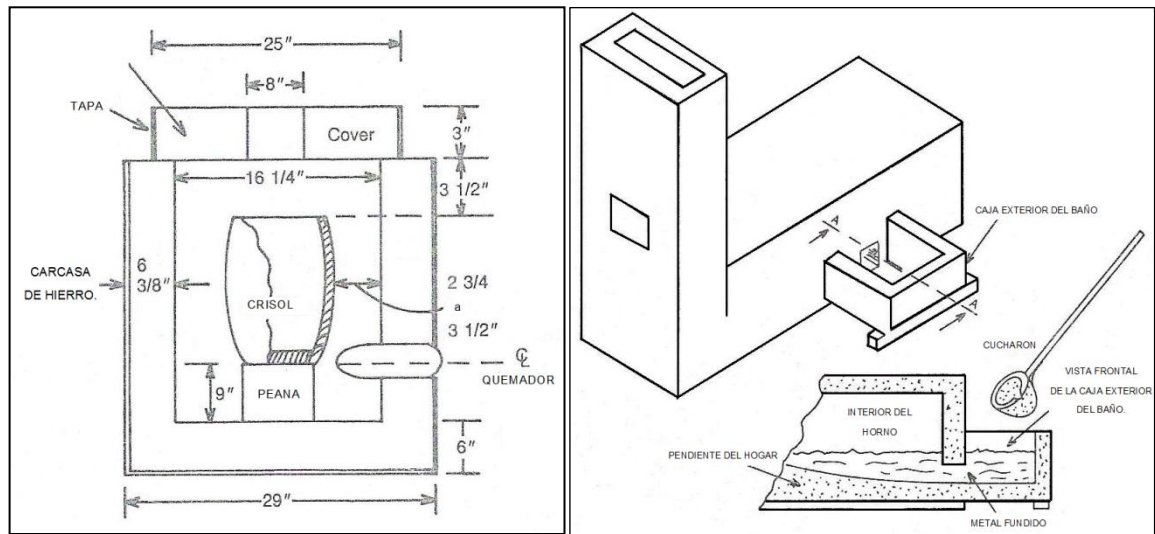
Es por esto que la empresa, solicita un estudio profundo, donde la escogencia del combustible a utilizar es un aspecto crucial en el proceso, teniendo en cuenta el costo y asequibilidad en el mercado, optando por el gas natural, el cual nos ofrece mejores beneficios que otros combustibles como el ACPM, coque, fuel oíl. Las principales ventajas de utilizar gas natural son: el no requerimiento de infraestructura para su uso, como tanques de almacenamiento, bombas, intercambiadores de calor, etc., es seguro en caso de fugas, debido a que se disipa fácilmente por el aire disminuyendo el riesgo de explosión generado por altas concentraciones, la frecuencia de mantenimiento de los equipos que operan con gas natural es menor si se compara con la requerida por equipos que utilizan otros energéticos y lo más importante es amigable con el medio ambiente.

Debido a la decisión de escoger como combustible gas natural, el siguiente paso del procedimiento del trabajo es analizar el horno a implementar en el proceso de fundición, para el cual se tienen en cuenta, los hornos de crisol y de reverbero, debido a que son los hornos que trabajan con este combustible, y que mejor se adaptan al proceso de fundición a presión para aleaciones ligeras, en maquinas de inyección de cámara fría. La selección del horno para poner en funcionamiento este proceso, debe ser con miras al crecimiento que desea tomar la empresa para una inversión del proyecto planteado.

Los hornos de reverbero se utilizan para la fundición de piezas de grandes dimensiones, son de poca altura y gran longitud. En uno de los extremos se encuentra el hogar donde se quema el combustible, y en el extremo opuesto la chimenea. Las llamas y productos de

combustión atraviesan el horno y son dirigidos, por la bóveda de forma adecuada hacia la solera del horno, donde se encuentra situada la carga del metal que se desea fundir. Esta carga se calienta, no solo por su contacto con la llama y gases calientes sino también por el calor de radiación de la bóveda del horno de reverbero. En la siguiente figura se muestran los esquemas del horno de crisol y el horno de reverbero con dos soleras una de fusión y otra de mantenimiento.

**Figura34: A) esquema horno de crisol. B) esquema horno de reverbero.**



Fuente: C.W.AMMEN. 1995.

Los hornos de reverbero de más de una solera, son utilizados para limpiar el metal, como para mantener la temperatura de colada; esto hace que sea eficientemente excelente para el caso de la fusión del aluminio y de nuestro objetivo, pero debido a las características (tamaño) de las piezas que FANTAXIAS LTDA fabrica, este horno se sale del prototipo que se debe utilizar para lograr resultados satisfactorios.

De esta manera se selecciona que los hornos que mejor se adaptan al proceso de fundición a presión para aleaciones de aluminio, específicamente Al-Si, son los hornos de crisol. Los hornos de crisol se clasifican en tres: hornos de crisol fijo, móvil y basculante.

La fusión en crisoles es uno de los procedimientos más antiguos y sencillos, probablemente se emplearan siempre por la economía de su instalación sobre todo para fundir pequeñas cantidades de metal. Para el caso del proceso que desea implementar FANTAXIAS LTDA y sabiendo que su mayor meta es expandir su mercado y darle crecimiento a su empresa, se recomiendan los hornos de crisol basculante, para la fusión y así poder alimentar varios hornos de crisol fijo de las diferentes inyectoras que se encuentren en la planta. Los hornos de crisol tienen una particularidad, calentar el crisol vacío, hasta que obtenga un rojo intenso, y en seguida realizar la carga. La ventaja de los hornos de crisol modernos, tanto fijos como basculantes, es que la carga queda totalmente aislada, y por tanto, no se altera su composición por efecto de los gases producidos en la combustión.

El crisol que se debe utilizar en los hornos para fundir aleaciones de Al-Si, pueden ser de tres tipos: grafito, carburo de silicio, o hierro. Con el estudio que se ha realizado, se ha podido llegar a concretar que debido a la comodidad y costo de los elementos que conlleva la elección del crisol apropiado para la fusión de las aleaciones Al-Si, se define el crisol de carburo de silicio. Debido a que las aleaciones de aluminio, son altamente agresivas, lo que hace que el crisol sufra desprendimiento de partículas, en este caso de carburos de silicio, el cual afecta la aleación pero un grado menos efectivo que los demás crisoles, ya que no se perderá silicio de la aleación, mientras que con crisoles de grafito se forman los carburos de silicio, pero haciendo reacción con el silicio de la aleación, de igual forma pasa con el crisol de hierro formando el compuesto  $FeAlSi$ , el cual nos ocasiona la soldadura del metal con el molde en coquilla y formando puntos duros en la aleación, disminuyendo las propiedades de la pieza, además para usar este crisol debe aplicarse un recubrimiento constante en cada carga con el fin de evitar la contaminación del baño, haciéndose más tedioso el proceso.

Dentro del proceso de fusión se usan utensilios como cucharas de llenado, limpiador de escoria, agitadores y lanzas de desgasificación, las cuales deben ser recubiertas, con el fin de evitar la contaminación del baño del metal.

## 9. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES.

- ✓ Debido a problemas de factor económico en la empresa FANTAXIAS LTDA relacionadas con el proyecto, se hace necesario proponer cuatro aleaciones, de las cuales se estudiaron teniendo en cuenta el efecto de los elementos de aleación de cada una y sus propiedades ante la fundición a presión, es así que se recomienda, que para la elección de la aleación más adecuada ante el proceso de fabricación de piezas, se hace necesario realizar pruebas, analizar la microestructura y características de cada una, con el fin de continuar el procedimiento y lograr que el proceso sea eficiente.
- ✓ En el llenado de la coquilla, el parámetro más importante, es el tiempo de llenado, el cual debe ser determinado de manera cuidadosa por medio de los espesores de la pieza, pues de este depende de la velocidad con la que el pistón tenga que hacer su desplazamiento y la presión que debe ejercer este sobre el metal fundido para llenar la cavidad, que a su vez son aspectos importantes para la obtención de piezas completas y de alta calidad.
- ✓ Al inyectar aluminio en la cavidad es indispensable obtener una buena fluidez del metal fundido a través del sistema de llenado, para lo cual el mantenimiento de temperatura de colada y un precalentamiento del molde juegan un papel importante, para evitar una solidificación prematura causando taponamientos en los conductos de llenado. La temperatura de precalentamiento del molde no debe ser menor de 200°C, y mantenerse el baño metálico en un rango de temperatura entre 680°C y 700°C, con el fin de conseguir la penetración completa de la aleación en el molde.
- ✓ El grado del llenado del contenedor, debe permanecer entre un 80-90%, para evitar problemas como la entrada de aire a la cavidad del molde, ondas de choque que expulsan metal fundido fuera del contenedor y producen turbulencias que pueden causar oxidación de la aleación, esto se consigue teniendo en cuenta el volumen de la cavidad del molde con relación al volumen de la cavidad del contenedor.

- ✓ Para la construcción de la cavidad del molde es importante tener en cuenta, el número de piezas que se desean moldear, tiempo de llenado y sistema de alimentación; tratando siempre de facilitar el flujo de la aleación dentro del sistema de alimentación permitiendo un llenado completo de la cavidad, evitando al máximo pérdidas de presión durante el recorrido.
  
- ✓ Las principales características del material utilizado para la elaboración del molde son: alto grado de pureza, homogeneidad de la estructura, posibilidad de tratamientos térmicos, estabilidad al choque térmico y resistencia al desgaste. Es así que el material seleccionado para este trabajo son los aceros para herramientas tales como los de la serie SAE H11, H12, H13 o H14.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Brunhuber, E. Fundición a presión. Ed. Gustavo Gill, (1968). p 54.
- [2] Lieby , G., Desing of die Casting, Ed. ASM. (1957). pp. 7-10.
- [3] Sloane, D.J., Modern Casting, (1962).P. 442.
- [4] Aurrenak Co. Ltda. En Aurrenak apostamos por la innovación en moldes de inyección de aluminio, mejorando sus prestaciones, Revista Fundidores, No. 160, (2009).
- [5] Frommer, L y G. Leiby, Druckgusstechnik, tomo 1, Springer-Verlag. 1965.
- [6] Andreoni, L; Case, Mario, Llenado de la Cavita del molde, Ed. Edimet, (1993). Pág.5.
- [7] Bagnoud, Christopher, Procedimiento de vigilancia del proceso de fundición a presión, Traducción Patente Europea, Oficinas españolas de patentes y marcas,( 2002).
- [8] Allsop, D.F., Kennedy, D. Pressure Die Casting (Part 2): The Technology of the Casting and the Die", Oxford, New York: Pergamon Press, (1983).
- [9] Aurrenak Co. Ltda. En Aurrenak apostamos por la innovación en moldes de inyección de aluminio, mejorando sus prestaciones, Revista Fundidores, No. 160, (2009).
- [10] Lieby , G., Desing of die Casting, Ed. ASM. (1957). pp. 17-21.
- [11] Brunhuber, E. Fundición a presión. Ed. Gustavo Gill, (1968). p 71.
- [12] Andreoni, L; Case, M, El proceso de la fundición a presión, Ed. Edimet, (1993) p 26.
- [13] Biedermann, A, Tratado moderno de fundición a presión de metales no férreos: Fundición por inyección. (1952). Pág. 150
- [14] Brunhuber, E., Fundición a presión, Gustavo Gili, (1992), Pág. 71.

- [15] Tong, K. K. S.; Hu, H, Journal of Materials Processing Technology, Volume 127, Issue 2, 30 September 2002, Page. 238-241.
- [16] ] Andreoni, L; Case, Mario, El molde, Ed. Edimet, (1993). P,p 5-8.
- [17] Andreoni, L; Case, Mario, El molde, Ed. Edimet, (1993). P, 20.
- [18] WILEY, J. y Songs INC, Fundición para ingenieros, Nueva York, (1975).
- [19] Schuhmann, R, JR.INGENIERIA METALURGICA, PRINCIPIOS DE INGENIERIA, Addison-Wesley publishing company, inc.(1968).
- [20] Kaiser Aluminum, La fundición de aluminio, Kaiser Center, (1962) p 35.
- [21] 63. Shekel et al., 1976; Levenspiel, (1987).
- [22] Villafior, G., Velasco, J., Variables Significativas del Proceso de Combustión del Gas Natural .Universidad Nacional de Salta, (2006).
- [23] Calderon, Roque, Proyecto de investigación, Desarrollo tecnológico aleaciones de aluminio, Colciencias- Dpto nacional de metalúrgica, (1981).
- [24] Villafior, G., Velasco, J., Variables Significativas del Proceso de Combustión del Gas Natural .Universidad Nacional de Salta, (2006).
- [25] Axon, H.J. ; The Lattice of Solid Solution of Different Elements in Alluminium, Proc Roy Soc, A193, 1-2(1948)
- [26] Colby K.,The history comercial of alluminium, cap 1, Pág. 27
- [27] Da Silva, M, Técnicas de conformado en estado semisólido, Revista Fundidores N° 162,(2007) p 16.
- [28] Eduards, J.D., Chem. Met. Eng., 58,154(1923).
- [29]. Pacz .A., U.S, Pat. 1,387.900, Aug, 1961.
- [30] Eduards, J.D., Chem. Met. Eng., 58,154(1923).
- [31] Arches, R.S., The alluminium industry, cap 2, Pág. 64.ed.Mc Garw-Hill.(1968)
- [32] R.H. Brown and L.A. Willey, Aluminium, Vol 1. Capitulo 1, Pag. 31.

[33] Askeland, Donald, Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Capitulo 11, p. 292

[34] Zhang, W., Xiong, S., Study on a CAD/CAE System of Die Casting, Department of Mechanical Engineering, Tsinghua University Beijing 10084, CHINA (1997).

[35] . Bagnoud, Ch, Procedimiento de vigilancia del proceso de fundición a presión, (2002)

[36] Molinas,B., Bonollo, F. , H.A. Peretti.A., Estudios para Establecer un Procedimiento Industrial para Producir Piezas Mediante Colada a Presión (Die Casting) Fundiendo Material Compuesto de Matriz Metálica. Universidad de Pamplona Italia, (2003).