

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **APLICACIÓN DEL PROCESO DE FUNDICIÓN DE PRECISIÓN PARA LA FABRICACIÓN DE RÓTULAS CS-AR**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de  
Venezuela

Por el Br:  
Blanco Rengifo, Daniel Ernesto  
Para optar al título de  
Ingeniero Mecánico

Caracas, 2004

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **APLICACIÓN DEL PROCESO DE FUNDICIÓN DE PRECISIÓN PARA LA FABRICACIÓN DE RÓTULAS CS-AR**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Othman Falcón

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de  
Venezuela

Por el Br:  
Blanco Rengifo, Daniel Ernesto  
Para optar al título de  
Ingeniero Mecánico


Caracas, 2004


Caracas, 17/06/2004

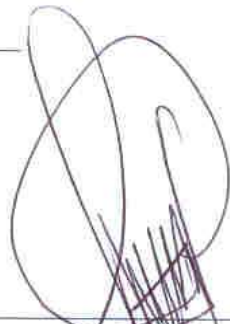
Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de la Escuela de Ingeniería Mecánica para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Daniel Blanco. Titulado:

**“APLICACIÓN DEL PROCESO DE FUNDICIÓN DE PRECISIÓN PARA LA  
FABRICACIÓN DE RÓTULAS CS-AR”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducentes al Título de Ingeniero Mecánico.

  
Prof. José La Riva  
Jurado

  
Prof. Alfonso Quiroga  
Jurado

  
Prof. Othman Falcón  
Tutor Académico







## **MENCION**

*Los suscritos, Miembros del Jurado Examinador designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el bachiller **DANIEL BLANCO**, Cédula de Identidad V.-13.800.126, el cual lleva por título “**APLICACIÓN DEL PROCESO DE FUNDICION DE PRECISION PARA LA FABRICACION DE ROTULAS CS-AR**”, decidimos conferirle una **MENCION HONORIFICA** como premio al esfuerzo realizado y como estímulo a la actividad creativa demostrada en el transcurso de la elaboración de esta Tesis de Grado.*

*En fe de lo anteriormente expuesto se levanta la presente Acta en Caracas, a los diecisiete días del mes de Junio del año dos mil cuatro, dejándose constancia que, de acuerdo a la normativa vigente, actuó como Coordinador del Jurado Examinador el Prof. Víctor Othman Falcón.*

  
Prof. José Gregorio La Riva  
Jurado

  
Prof. Víctor Othman Falcón  
Coordinador

  
Prof. Alfonso Quiroga  
Jurado

**Blanco R., Daniel E.**

## **APLICACIÓN DEL PROCESO DE FUNDICIÓN DE PRECISIÓN PARA LA FABRICACIÓN DE RÓTULAS CS-AR**

**Tutor Académico: Prof. Ing. Othman Falcón. Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de  
Ingeniería. Escuela de Mecánica. 2004. 133 páginas.**

Tecnología Mecánica Fundición de Precisión Bioingeniería

En este trabajo se demostró la factibilidad técnica y económica de utilizar el proceso de fundición combinada con colada centrífuga en la fabricación de rótulas para el fijador externo CS-AR

La rótula CS-AR se rediseñó: dividiéndola en dos partes, trasladando radialmente las coronas de estrías, aumentando de 32 dientes a 34 dientes y seccionando el agujero central. Se construyó un molde de aluminio partiendo de la geometría de la rótula CS-AR rediseñada para obtener los modelos de cera, con estos se genera el molde de revestimiento para producir 7 rótulas CS-AR por colada. La rótula CS-AR se sometió a un conjunto de ensayos con la finalidad de establecer su calidad, como son: porosidad, contracción, torsión y dureza.

Los parámetros que se establecieron en este proceso son: cera de color roja; temperatura y presión de aire al inyectar la cera 85 °C y 17 psi; tiempo de enfriamiento de 10 min; proporción refractario-agua de 100:40; tiempo de preparación del revestimiento 11 min; tiempo del ciclo de quemado de 8 h; temperaturas del ciclo de quemado: 150; 370; 730 y 580 °C; temperatura de colada del metal en 720 °C; temperatura del molde al colar de 560 °C y tiempo de enfriamiento después de colar en 15 min.

Para optimizar la calidad de las piezas se propuso modificar el sistema de alimentación a fin de reducir la porosidad de la rótula CS-AR.

El proceso de fundición de precisión para fabricar la rótula CS-AR es factible económicamente establecido por el método del punto de equilibrio y partiendo de una producción anual de 3.000 rótulas CS-AR.

*A Dios todopoderoso por  
ser la luz que guía mi camino  
e ilumina todos mis pasos.*

*A mis padres Zobeida Rengifo y Jorge Blanco  
por servirme de ejemplo y por apoyarme  
durante todo el arduo camino que significa  
formarme como ser humano y como profesional.*

*A mi querida hermana Vanessa Blanco  
por servirme de ejemplo en la búsqueda  
de mis metas.*

*Y en especial a un gran amigo y compañero  
Frank Martínez que aunque no te encuentres  
físicamente, siempre estarás presente en mi  
corazón. Que Dios te Bendiga y te tenga en la Gloria*

A la Ilustre Universidad Central de Venezuela por haberme formado como profesional.

A mi tutor académico, Prof. Othman Falcón.

Al Ing. Wilmer Carrero por dedicarme parte de su tiempo y ofrecerme sus conocimientos que fueron muy útiles.

Al Centro de Investigaciones Tecnológicas del Aluminio y sus Aleaciones (CITALA) por prestar sus equipos y su ayuda.

A los siguientes Profesores: Raffaele D' Andrea, Orlando Reyes, Miguel Padilla, Arturo Gil, Ruth Bisbal, Maria Elena Gudiel, Pedro Cadenas, Crisanto Villalobos por su ayuda, aporte y facilitación de equipos.

A los técnicos del taller del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) José Antonio Peraza y Hernán Gómez por su aporte.

Al Dr. Prof. José Manuel Dos Santos y al Dr. Ernesto Deseda por su tiempo y contribución.

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
Planteamiento del Problema.....	1
Objetivos.....	1
Objetivo General.....	1
Objetivos Específicos.....	1
Alcances.....	2
<b>1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS</b> .....	3
1.1. Procesos de Fundición.....	3
1.1.1. Fundición de Precisión.....	3
1.1.2. Fundición a Presión.....	3
1.1.3. Fundición Centrífuga.....	4
1.2. Solidificación de los Metales.....	4
1.2.1. Proceso de Solidificación.....	5
1.2.2. Solidificación Direccional.....	5
1.2.3. Fluidez del Metal Fundido.....	6
1.2.4. Colabilidad.....	7
1.2.5. Contracción.....	8
1.3. Modelos para la Fundición.....	9
1.3.1. Tolerancia.....	10
1.4. Aluminio y sus Aleaciones.....	11
1.4.1. Efectos de los Elementos Aleantes sobre las Propiedades del Aluminio.....	12
1.4.2. Clasificación de las aleaciones Aluminio-Silicio.....	13
1.4.3. Diagrama de Equilibrio.....	14
1.4.4. Tratamiento Térmico.....	16
1.4.5. Proceso de Endurecimiento.....	19
1.4.6. Designación del Estado de Tratamiento del Material.....	19
1.5. Tutor Externo con Transportación Ósea Modelo CS-AR.....	21
1.5.1. Componentes.....	22
1.5.2. Aplicación.....	24
<b>2 FUNDICIÓN DE PRECISIÓN</b> .....	25
2.1. Reseña Histórica.....	25
2.2. Proceso.....	25
2.2.1. Ventajas.....	25
2.2.2. Limitaciones.....	26
2.3. El Modelo.....	26
2.4. Proceso para Modelar en Cera.....	27
2.4.1. Fabricación del Molde para los Modelos.....	27
2.4.2. Ceras para Modelar.....	27
2.4.3. Inyección de Cera.....	30
2.4.4. Elaboración de los Modelos.....	30
2.4.5. Defectos en los Modelos.....	30
2.5. Revestimiento.....	31
2.5.1. Material.....	31
2.5.2. Composición.....	31
2.5.3. Condiciones de Trabajo.....	33



2.5.4. Quemado o Sinterizado .....	35
2.6. Gases en los Metales Fundidos.....	37
2.6.1. Previsión contra la Absorción de Gases .....	38
2.6.2. Eliminación de los Gases .....	39
2.7. Defectos de Fundición.....	40
2.7.1. Imperfecciones Superficiales .....	41
2.7.2. Alimentación Incompleta .....	41
2.7.3. Porosidad .....	42
2.7.4. Marcas por Agua.....	42
2.7.5. Incrustaciones.....	42
<b>3 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL .....</b>	<b>44</b>
3.1. Metodología de la Fundición de Precisión .....	44
3.1.1. Diseño del Molde para los Modelos .....	45
3.1.2. Fabricación de los Modelos de Cera.....	46
3.1.3. Preparación del Árbol de Cera .....	47
3.1.4. Preparación del Revestimiento .....	48
3.1.5. Proceso de Quemado o Sinterizado .....	49
3.1.6. Colada del Aluminio .....	51
3.2. Acabado .....	51
3.2.1. Remoción del Alimentador.....	51
3.2.2. Elaboración de Roscas .....	52
3.2.3. Pulido de la Rótula CS-AR.....	52
3.3. Ensayos .....	53
3.3.1. Cambio Dimensional del Modelo .....	53
3.3.2. Porosidad .....	53
3.3.3. Microdureza Vickers.....	54
3.3.4. Torsión .....	54
3.3.5. Montaje “In Vitro” .....	55
3.4. Equipos .....	56
3.4.1. Mecanizado del Molde .....	56
3.4.2. Preparación de los Modelos en Cera y el Molde de Revestimiento .....	57
3.4.3. Ciclo de Sinterizado y Fundición del Metal .....	58
3.4.4. Mecanizado de la Pieza .....	60
3.4.5. Preparación de muestras para Análisis Metalográfico .....	60
3.4.6. Microdureza estática Vickers.....	62
3.4.7. Torsión .....	63
<b>4 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>64</b>
4.1. Geometría de la Rótula.....	64
4.2. Registro de Dimensiones Obtenidas.....	64
4.3. Microdureza Vickers .....	68
4.4. Porosidad .....	68
4.5. Torsión.....	70
4.6. Desgasificación.....	70
4.7. Cera.....	70
4.8. Aleación de Aluminio A356.0.....	71
4.9. Refractario .....	71

4.10. Proceso de Fundición de Precisión.....	71
<b>5 ANÁLISIS ECONÓMICO</b> .....	<b>73</b>
5.1. Generalidades .....	73
5.2. Inversión .....	75
5.2.1. Materia prima .....	75
5.2.2. Equipos y Herramientas.....	77
5.2.3. Mobiliario.....	86
5.2.4. Inversión en Equipos .....	90
5.2.5. Capital de Trabajo .....	90
5.2.6. Inversión .....	90
5.3. Costo Directo.....	91
5.3.1. Materia prima.....	91
5.3.2. Depreciación .....	92
5.3.3. Nómina del Personal de Producción.....	92
5.3.4. Servicios Generales .....	93
5.3.5. Otros .....	95
5.3.6. Costos Directos Fijos .....	96
5.3.7. Costos Directos Variables .....	96
5.4. Costo Indirecto .....	96
5.4.1. Depreciación .....	97
5.4.2. Nómina de Personal Indirecto.....	97
5.4.3. Servicios Generales .....	99
5.4.4. Otros .....	100
5.5. Costo Total Anual.....	101
5.6. Punto de Equilibrio.....	103
5.7. Comparación de Costos.....	104
5.8. Tiempo de Contingencia.....	105
5.8.1. 100 % de Rendimiento .....	105
5.8.2. 75 % de Rendimiento .....	105
5.9. Rentabilidad.....	106
5.9.1. Utilidad Bruta.....	106
5.9.2. Utilidad Neta.....	106
5.9.3. Flujo Neto Efectivo .....	107
5.9.4. Factor de Interés Compuesto Anual al 35 % .....	108
5.9.5. Estimación de la rentabilidad.....	108
<b>6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>109</b>
6.1. Conclusiones.....	109
6.2. Recomendaciones .....	110
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>112</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>115</b>
Fotos .....	116
Planos .....	123

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Propiedades de la cera según su color .....	29
Tabla 2.2	Elementos que se disuelven en diversos metales .....	38
Tabla 3.1	Control de Temperatura en el ciclo de quemado.....	50
Tabla 4.1	Dimensiones Referenciales del Molde de Aluminio .....	65
Tabla 4.2	Referencia de las Dimensiones de los Modelos de Cera.....	65
Tabla 4.3	Dimensiones, Contracción y Desviación Estándar con respecto al Molde I.....	66
Tabla 4.4	Dimensiones, Contracción y Desviación Estándar con respecto al Molde II.....	67
Tabla 4.5	Porosidad .....	69
Tabla 4.6	Valores de Dureza Vickers.....	68
Tabla 4.7	Torque Máximo Promedio .....	70
Tabla 5.1	Especificaciones del horno Cress .....	77
Tabla 5.2	Especificaciones de la inyectora.....	78
Tabla 5.3	Especificaciones de la Máquina de Vacío.....	79
Tabla 5.4	Tiempo de Mecanizado de los Moldes.....	85
Tabla 5.5	Inversión en Equipos .....	90
Tabla 5.7	Depreciación.....	92
Tabla 5.8	Costo Total Anual de Personal de Producción.....	92
Tabla 5.9	Consumo Eléctrico Promedio.....	93
Tabla 5.10	Costo de Agua Anual (Departamento de Producción).....	94
Tabla 5.11	Costo Total de Servicios Generales.....	95
Tabla 5.12	Costo Total de Equipos .....	96
Tabla 5.13	Depreciación Equipos de oficina.....	97
Tabla 5.14	Costo Total de Nómina del Departamento Administrativo.....	98
Tabla 5.15	Costo Total de Nomina del Departamento de Ventas .....	98
Tabla 5.16	Costo de Agua (Departamento Administrativo y Venta).....	99
Tabla 5.17	Costo Total Anual de Telefonía e Internet .....	99
Tabla 5.18	Costo Total de Equipos .....	100
Tabla 5.19	Costo Total de Producción .....	102
Tabla 5.20	Costo Directo Unitario .....	104
Tabla 5.21	Costo Indirecto Unitario.....	104
Tabla 5.22	Costo de Producción Unitario .....	104
Tabla 5.23	Flujo Neto Efectivo .....	107
Tabla 5.24	Factor de Interés Compuesto.....	108

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Diagrama de equilibrio Al-Si.....	15
Figura 1.2	Proceso de Solidificación en Aleaciones Hipoeutécticas Al-Si.....	16
Figura 1.3	Llave de Transportación.....	22
Figura 1.4	Rótula CS-AR y Clavos de Schanz.....	22
Figura 1.5	A.-Barra central, B.-Barra Rigidizadora .....	23
Figura 1.6	Rótula Proto .....	23
Figura 1.7	Paciente femenina con osteomielitis .....	24
Figura 2.1	Ceras para modelar.....	28

Figura 2.2	Modelo y Pieza Final .....	28
Figura 2.3	Tiempo de Trabajo Útil.....	35
Figura 2.4	Pirolización de la Cera .....	37
Figura 2.5	Métodos de Desgasificación .....	40
Figura 3.1	Moldes Permanentes para los Modelos.....	46
Figura 3.2	Modelo y Molde I .....	46
Figura 3.3	Modelo y Molde II .....	46
Figura 3.4	Molde de silicona y cilindro de cera .....	47
Figura 3.5	Montaje del árbol encajado en la base de goma.....	47
Figura 3.6	Mezclado del Yeso-Agua.....	48
Figura 3.7	Preparación del revestimiento.....	49
Figura 3.8	Preparación del cilindro para el ciclo de quemado .....	50
Figura 3.9	Árbol de Aluminio .....	51
Figura 3.10	Remoción del Alimentador .....	52
Figura 3.11	Muestras para estudio de porosidad .....	53
Figura 3.12	Rótula y segmento T en las mordazas de la máquina de torsión .....	54
Figura 3.13	Brazo, Nivel y Balanza de torque .....	55
Figura 3.14	Tutor Externo CS-AR .....	55
Figura 3.15	Torno de punto .....	56
Figura 3.16	Torno de punto .....	56
Figura 3.17	Fresadora CNC.....	57
Figura 3.18	Inyectora de cera .....	57
Figura 3.19	Cámara de Vacío .....	57
Figura 3.20	Bomba de Vacío.....	58
Figura 3.21	Horno Cilíndrico Vertical .....	59
Figura 3.22	Horno Horizontal .....	59
Figura 3.23	Máquina Centrífuga .....	59
Figura 3.24	Fresadora Mixta .....	60
Figura 3.25	Cortadora.....	61
Figura 3.26	Embutidora.....	62
Figura 3.27	Pulidora .....	62
Figura 3.28	Microscopio .....	62
Figura 3.29	Máquina de torsión.....	63
Figura 5.1	Organigrama de la empresa.....	75
Figura 5.2	Aluminio en mazarotas .....	75
Figura 5.3	Satin Cast 20 de 100 lb .....	76
Figura 5.4	Ceras Castaldo en bloques .....	76
Figura 5.5	Horno tipo mufla marca Cress .....	77
Figura 5.6	Inyectora de cera .....	78
Figura 5.7	Máquina de Vacío .....	79
Figura 5.8	Mezcladora Rosentha.....	80
Figura 5.9	Balanza.....	80
Figura 5.10	Cilindros Refractarios .....	81
Figura 5.11	Base de Goma .....	81
Figura 5.12	Crisol de Grafito.....	82
Figura 5.13	Cautín con puntas intercambiables.....	82

Figura 5.14 Set de 6 piezas para modelar.....	83
Figura 5.15 Mesón de Pared LVP-760.....	86
Figura 5.16 Mesón de Pared LVP-810.....	86
Figura 5.17 Mesa MB-V-76.....	87
Figura 5.18 Mesón LVC-480.....	87
Figura 5.19 Vitrina V-VGC-12-4.....	88
Figura 5.20 Organigrama parcial de la empresa (Departamento de Producción).....	91
Figura 5.21 Organigrama parcial de la empresa (Departamento Administrativo y Ventas).....	97
Figura 5.22 Punto de equilibrio.....	103

## INTRODUCCIÓN

Este Trabajo Especial de Grado consiste fundamentalmente en:

- Aplicar el Proceso de Fundición de Precisión para la fabricación de la rótula CS-AR.
- Realizar un estudio experimental del Proceso de Fundición de Precisión como método alternativo para la fabricación de la rótula CS-AR.
- Realizar un Análisis de Factibilidad y de Costos del Proceso de Fundición de Precisión para la fabricación de la rótula CS-AR a fin de compararlo con el Proceso actual de Mecanizado.

### Planteamiento del Problema

En la actualidad el proceso de fabricación para la obtención de las partes que conforman el Sistema de Fijación Externo modelo CS-AR permite ofrecer precios al público notablemente menores en comparación con sus equivalentes importados, sin embargo, aún con estos precios son todavía difíciles de adquirir por un sector importante de los pacientes de escasos recursos que lo requieren. Por esta razón se presenta la necesidad de estudiar un método alternativo de fabricación de la rótula CS-AR que permita reducir el costo de tales dispositivos. El método alternativo planteado es el proceso de fundición de precisión, ya que el mismo permite obtener mayor cantidad de piezas con un tiempo invertido de mano de obra considerablemente menor, lo que incide directamente en la disminución del costo de producción.

### Objetivos

#### Objetivo General

Evaluar experimentalmente la técnica y hacer un análisis de costos de la Aplicación del Proceso de Fundición de Precisión como método alternativo para la fabricación de la rótula CS-AR.

#### Objetivos Específicos

- Recopilar información técnica del proceso de fundición de precisión y su aplicación para la fabricación de piezas en traumatología.

- Conocer y estudiar la geometría y uso de la rótula CS-AR con el fin de diseñar y construir el molde para el modelo en cera.
- Conocer y especificar los parámetros necesarios y suficientes para controlar y evaluar el proceso a fin de obtener un resultado satisfactorio.
- Conocer los materiales usados para la fabricación de moldes y otros dispositivos necesarios en el proceso.
- Conocer los distintos tipos de ceras utilizadas para modelar y cada una de sus propiedades a fin de tener criterios que nos permita la escogencia de la cera más adecuada.
- Conocer los distintos tipos de revestimientos utilizados y cada una de sus propiedades a fin de tener criterios que nos permita escoger el más adecuado.
- Realización de pruebas por medio del método de ensayo y error a fin de establecer parámetros propios que optimicen el proceso.
- Realizar un análisis de factibilidad técnica y económica.

### **Alcances**

- Aplicación de la ingeniería concurrente como sistema para la optimización del proceso de fabricación de la rótula CS-AR basado en el método de fundición de precisión.
- Construcción del molde para el modelo en cera de la rótula CS-AR.
- Determinación de los parámetros óptimos para la elaboración de la rótula CS-AR por el proceso de fundición de precisión.
- Fabricación por el método de fundición de precisión del prototipo final de la rótula CS-AR.
- Ejecución de un análisis de factibilidad a fin de comparar costos de fabricación.

# 1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

El proceso de fundición es un tipo de manufactura que consiste en fundir metal y vaciarlo en un molde hasta que solidifique. Posteriormente, se extrae la pieza fundida producto de la solidificación del metal, la cual copia satisfactoriamente la geometría del molde y los detalles existentes en el mismo. Un proceso de fundición, en cuanto a éxito comercial se refiere, depende de la velocidad de producción, de la tersura de la superficie de la pieza fundida y/o de la precisión dimensional o de alguna característica particular de interés especial a las artes o a las profesiones.

## 1.1. Procesos de Fundición

### 1.1.1. Fundición de Precisión

Llamada fundición por cera perdida y también fundición por revestimiento. Con este proceso se obtienen piezas con geometrías complejas, ya que la fabricación del molde parte de un modelo de la pieza fabricado con una mezcla de cera que a su vez incluye al sistema de alimentación y la pasta refractaria se vacía alrededor de ella.

Los modelos de cera se producen en cantidades significativas mediante el moldeo por inyección en matrices metálicas hechas comúnmente de aleaciones de aluminio altamente maquinables. Los modelos individuales se ensamblan con los bebederos de cera y los canales de alimentación, lo que se denomina árbol, mediante la fusión local de la cera, usando un cuchillo u hoja caliente entre las dos superficies de acoplamiento. El árbol se coloca en cajas de moldeo, donde se vacía y se recubre con una mezcla de revestimiento refractaria. Cuando el revestimiento fragua, el molde se seca en un horno en posición invertida para permitir que la cera escurra. Antes de la fundición, el molde se hornea lo cual lo provee de resistencia, reduce el riesgo de la formación de gas por el agua durante la fundición, incrementa la fluidez del metal que se va a vaciar y asegura un aceptable acabado superficial así como satisfactorias tolerancias dimensionales.

### 1.1.2. Fundición a Presión

En este proceso, la pieza se obtiene inyectando a presión el metal fundido en moldes. Las piezas fabricadas por este proceso son relativamente exactas, pueden tener configuración



complicada y paredes delgadas, con espesores entre 1 y 2 mm y no necesitan someterse a mecanizado. La productividad de las máquinas para colada a presión alcanza entre 50 y 1.000 coladas por hora. La pequeña rugosidad de la superficie y la precisión de las dimensiones de la cavidad de trabajo del molde aseguran la obtención de piezas fundidas con una superficie lisa que prácticamente no requiere acabado por corte, además la presión ejercida sobre la masa fundida mejora el llenado del molde y disminuye la porosidad. Este método se utiliza para la producción masiva ya que permite disminuir el tiempo de operación.

### **1.1.3. Fundición Centrífuga**

Proceso de fundición en el cual la masa fundida que se vacía dentro del molde, en la etapa de llenado, se expone a la acción de fuerzas centrífugas. La solidificación progresa de la superficie externa hacia adentro; reduciendo considerablemente la porosidad y como las inclusiones tienden a una densidad más baja, se segregan hacia el centro. El movimiento obtenido al forzar la fusión al cortante resulta en un refinamiento del grano. La centrifugación se aplica al proceso de fundición cuando el molde es lo suficientemente resistente para soportar la rotación. De acuerdo con la forma del molde se acostumbra distinguir entre los procesos de centrifugación siguientes:

1. Fundición Centrífuga
2. Fundición Semicentrífuga
3. Fundición Centrifugada.

## **1.2. Solidificación de los Metales**

Después que un metal fundido se vacía en un molde, ocurren una serie de etapas durante la solidificación y su enfriamiento hasta la temperatura ambiente. Estas etapas influyen de manera importante en: el tamaño, la forma, la uniformidad y la composición química de los granos formados en la fundición; lo que a su vez tiene influencia sobre sus propiedades mecánicas, físicas y químicas. Los factores significativos que afectan a estos eventos son el tipo de metal, las propiedades térmicas tanto del metal como del molde, la relación geométrica entre el volumen y el área superficial de la fundición y la forma del molde.

### 1.2.1. Proceso de Solidificación

El metal se solidifica durante su desplazamiento en el molde y el intervalo de solidificación tiene una influencia importante. Se pueden distinguir tres etapas:

1. Los cristales están parcialmente desarrollados y flotan en el líquido. La fase sólida no es continua. Las dos fases pueden desplazarse.
2. Los cristales están en contacto e inmovilizados; forman un conjunto a través del cual el líquido puede desplazarse. Las dos fases, sólida y líquida, son continuas.
3. El desarrollo de los cristales es tal que el líquido se inmoviliza. La fase sólida es continua. No se produce desplazamiento relativo de las fases.

### 1.2.2. Solidificación Direccional

La fundición debe promover la solidificación desde las partes más remotas hacia el extremo de alimentación y no cerrar el acceso de la fusión a las secciones más gruesas. De otra forma, se deben añadir mazarotas para evitar cavidades de contracción y microporosidad.

Para promover la solidificación direccional se sugiere lo siguiente:

- Ahusar la pared en dirección contraria al punto de alimentación.
- Cuando son inevitables las variaciones del espesor de las paredes, se debe hacer una transición con radios generosos. Los radios pequeños o las esquinas agudas actúan como concentradores de esfuerzos en la fundición terminada, crean turbulencia durante el vaciado e impiden la alimentación adecuada durante la solidificación.
- Las secciones transversales pesadas localizadas, como las que resultan cuando se aplica un radio sólo a la superficie interior de una esquina o cuando dos costillas se cruzan una con otra, crean puntos calientes donde se forman cavidades por contracción. Como se puede esperar, de acuerdo con la regla de Chvorinov<sup>[11]</sup>, el problema aumenta con el incremento de la diferencia en el diámetro del círculo inscrito. Aplicar un radio a la superficie exterior o desplazar las costillas resulta útil. De otra forma, sería necesario reducir la sección transversal colocando un corazón en la sección más gruesa o acelerando el enfriamiento con dispositivos externos.

### 1.2.3. Fluidéz del Metal Fundido

La capacidad del metal fundido para llenar las cavidades del molde, se conoce como fluidez. Consiste de dos factores principales y básicos: a) las características del metal fundido y b) los parámetros del vaciado.

Las siguientes características del metal fundido tienen influencia sobre la fluidez:

- *Viscosidad*: la fluidez es función de la viscosidad y por ende de la temperatura; conforme se incrementa la viscosidad se reduce la fluidez.
- *Tensión superficial*: la tensión superficial del metal líquido reduce la fluidez. Debido a lo anterior, las películas de óxido sobre la superficie del metal fundido tienen un efecto adverso significativo sobre la fluidez: por ejemplo, una película de óxido sobre la superficie del aluminio puro fundido triplica la tensión superficial.
- *Inclusiones*: como partículas insolubles, las inclusiones tienen un efecto adverso significativo sobre la fluidez. Este efecto se puede verificar observando la viscosidad del aceite con y sin partículas de arena incluidas, el primero tiene una viscosidad mayor.
- *Patrón de solidificación de la aleación*: la forma en que ocurre la solidificación es proporcionalmente inversa a la fluidez.

Los siguientes parámetros de vaciado afectan a la fluidez así como al flujo del fluido y a las características térmicas del sistema:

- *Diseño del molde*: las dimensiones del bebedero, los canales de alimentación y las mazarotas, tienen influencia sobre la fluidez.
- *Material del molde y características superficiales*: mientras mayor sea la conductividad térmica del molde y más ásperas sean las superficies, menor es la fluidez del metal fundido. Aunque el calentamiento del molde mejora la fluidez, alarga el tiempo de solidificación del metal y la fundición desarrolla granos grandes, generando por lo tanto, una menor resistencia.

- *Grado de supercalentamiento*: definido como el incremento de la temperatura por encima del punto de fusión de una aleación, el supercalentamiento mejora la fluidez al retrasar la solidificación.
- *Velocidad de vaciado*: mientras más lenta sea la rapidez del vaciado del metal fundido en el molde, menor es la fluidez debida a una velocidad de enfriamiento mayor.

#### 1.2.4. Colabilidad

Capacidad de fundición para describir la facilidad con la cual se puede vaciar un metal para obtener una pieza. Este término no solo incluye la fluidez sino también las prácticas de fundición.

En la cavidad del molde es importante que el metal líquido fluya fácilmente para reproducir los detalles. A ello se opone su viscosidad y tensión superficial, tendiendo a redondear las formas agudas, con lo cual la pieza resulta defectuosa. En este contexto es crítico el concepto de colabilidad del metal.

Aunque tiene relación con la viscosidad, la colabilidad implica un comportamiento durante la solidificación. En este sentido influyen los siguientes factores:

- Naturaleza del metal y su composición química.
- Condiciones de vaciado: Temperatura, velocidad de vaciado, modo de alimentación del molde, circulación del metal en la cavidad del molde, agitación durante el proceso, entre otros.
- Temperatura inicial, naturaleza, porosidad y espesor del molde, así como el modo de enfriamiento exterior.
- Peso, forma y dimensiones de la pieza.
- Condición de la superficie del molde, es decir, contacto molde y metal.

Las leyes que rigen la colabilidad son las siguientes<sup>[5]</sup>:

- La colabilidad varía en sentido inverso del intervalo de solidificación. Es mínima para las soluciones sólidas saturadas y máxima para los metales puros, los eutécticos y aquellas aleaciones para las cuales el líquido pasa por un máximo.
- La colabilidad depende de las etapas de solidificación. Es mayor cuando el líquido origina cristales convexos que durante la fase dendrítica.

### 1.2.5. Contracción

La contracción se debe a una solidificación no uniforme de la pieza y de hecho el metal intenta romperse en fragmentos mientras se solidifica. En razón a sus características de dilatación térmica, los metales se contraen durante la solidificación y el enfriamiento. La contracción, que causa cambios dimensionales y a veces agrietamiento, es el resultado de:

- Contracción del metal fundido al enfriarse antes de su solidificación.
- Contracción del metal durante el cambio de fase líquida a sólida (calor latente de fusión).
- Contracción del metal solidificado conforme su temperatura disminuye hasta la temperatura ambiental.

Las dos primeras contracciones, líquida y de solidificación, son las que intervienen en la alimentación. De las dos, la contracción de solidificación es la más importante. La contracción sólida resulta en una fundición ligeramente más pequeña que la cavidad del molde, por lo tanto el modelo debe hacerse ligeramente mayor que la pieza fundida que se desea; ésta es la llamada "contracción del modelista". La contracción sólida resulta también, si no es controlada con propiedad, en esfuerzos internos que pueden causar deformación o roturas en caliente.

La contracción lineal se refiere al cambio de dimensiones del metal en el estado sólido. Se expresa en fracciones de las dimensiones lineales.

Los factores que influyen en la contracción lineal son:

- *Naturaleza de la aleación*: sobre ella influyen las propiedades de dilatación lineal, contracción de solidificación, temperatura de fusión, calor específico, calor latente de fusión y otros.
- *Temperatura de colada*: un aumento de la temperatura de vaciado incrementa la temperatura del molde y en consecuencia, mayor es la dilatación de éste. El sobrecalentamiento del metal líquido retarda la solidificación. Inversamente, al colar a temperatura más baja, el molde se dilata menos. El valor de la contracción tiende a disminuir cuando la temperatura de colada aumenta para una aleación determinada.
- *Temperatura inicial del molde*: actúa sobre la dimensión de éste en el momento de la solidificación.

- *Tipo de molde*: las características físicas del material del cual está constituido el molde influyen sobre la contracción lineal, en particular el coeficiente de dilatación y la conductividad térmica.
- *Forma de la pieza*: en una pieza pueden existir partes en las cuales la contracción lineal no está obstaculizada y otras en las cuales no es así. La experiencia permite fijar las dimensiones que deben dársele al molde en cada caso particular.
- *Calor Específico*: se refiere a la cantidad de calor necesario para elevar la temperatura de 1 g de metal o aleación en 1 °C.
- *Calor Latente de Fusión*: es la cantidad de calor que es necesaria aplicar a 1 g de metal para hacerlo pasar del estado líquido al sólido, a temperatura constante.
- *Posibilidad de absorción*: los metales y aleaciones pueden disolver en el estado líquido cantidades importantes de gases.

### 1.3. Modelos para la Fundición

El modelo constituye la base para la formación de la cavidad del molde. Éste y posteriormente la pieza provienen de la manipulación adecuada de un patrón. Los modelos pueden clasificarse en: sueltos, placas-modelo, modelos divididos, modelos con sistemas de alimentación y otros.

- *Modelos Suelos*: son réplicas macizas de las piezas que se quieren fabricar; incorporan las plantillas para corazones y las tolerancias necesarias para la contracción del metal. Las coladas y cargadores se forman generalmente a mano en el molde, pero también pueden construirse como partes sueltas y moldearse con la pieza. Las partes sueltas se usan para formar protuberancias o encajes u otras configuraciones que no "saldrían" con el modelo, pero que pueden retirarse fácilmente por separado, formando un ángulo en la cavidad del molde.
- *Placas-Modelo*: su objeto es obviar el manejo repetido de los modelos y acelerar la producción. En las placas-modelo, se monta la parte del modelo que corresponde a la mitad superior del molde en un lado de una placa de madera o de metal y la parte que corresponde a la mitad inferior se monta en el lado opuesto, en consonancia precisa. Se emplea para producción en masa o en serie justificando el costo.

- *Modelos Divididos o Placas Superior e Inferior*: para trabajos más pesados de los que puedan manejarse en el moldeo con placas-modelo o para volúmenes de producción mayor, los modelos se montan en dos placas. La parte superior del modelo se monta en la placa superior y la parte inferior en la placa inferior. Esto elimina la necesidad de voltear varias veces durante el moldeo el conjunto de las mitades superior e inferior de una placa-modelo; también permite que trabajen dos moldeadores en lados opuestos de una "línea" móvil de moldes, uno de ellos haciendo mitades inferiores y el otro mitades superiores.
- *Modelos con Sistemas de Alimentación*: incluye el sistema de canales de alimentación en el modelo y se elimina el trabajo manual adicional. Con este tipo de modelo se aumenta la velocidad de producción de piezas pequeñas.
- *Otros modelos*: son modelos especiales preparados cuando los modelos anteriormente mencionados no pueden utilizarse para una determinada pieza con complejidad variable.

### 1.3.1. Tolerancia

A fin de lograr una pieza final con las dimensiones preestablecidas, es necesario incluir, durante el diseño del modelo, algunos ajustes dimensionales para corregir distorsiones, movimientos y contracciones del metal; así como proveer márgenes para el mecanizado, si fuese necesario. Entre las tolerancias que se consideran durante el diseño del modelo, se incluyen:

- *Contracción*: aunque el efecto es volumétrico, la corrección se expresa linealmente en el aumento dimensional que debe incluirse para contrarrestar la contracción. Puede variar de dimensiones, dependiendo del metal y la naturaleza de la pieza. Para facilitar este trabajo, el modelista utiliza una regla especial, la cual incluye este factor.
- *Mecanizado*: dependiendo del metal y tipo de vaciado se provee un exceso de material para compensar las características superficiales de la pieza y pérdidas durante la limpieza y mecanizado.
- *Conicidad*: se refiere a la inclinación que se da a las paredes del modelo para extraerlo.

## 1.4. Aluminio y sus Aleaciones

Las propiedades del aluminio son su poco peso (ge: 2.7), la excelente conductividad eléctrica y térmica y su resistencia a la corrosión. El aluminio puro funde a los 1.220 °F (660 °C), es un metal blando y dúctil, de estructura cúbica centrada en las caras. Las propiedades mecánicas del aluminio son más bajas que las del acero; pero pueden mejorarse por medio de la aleación y el tratamiento térmico. La resistencia a la fluencia de las aleaciones de aluminio disminuye bruscamente cerca de los 350 °F (175 °C), por lo tanto, se utiliza principalmente para aplicaciones que deban someterse a temperaturas bastante bajas. Como sucede también con otros metales de estructura cúbica centrada en las caras, se sabe que las aleaciones de aluminio no pierden su ductilidad a temperaturas que se acercan al cero absoluto.

En ciertas fundiciones se utiliza la aleación de aluminio A356.0 debido a que su composición y procesamiento responde a la mayoría de las propiedades requeridas (Tabla 1.1, 1.2 y 1.3) de buena resistencia a la tracción y resistencia al impacto.

Composición Química (%)								
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Otros Elementos	
							Otros	Total
6,5-7,5	0,20	0,10	0,10	0,25-0,45	0,10	0,25	0,05	0,15

Tabla 1.1 Composición Química de la Aleación de Aluminio A356.0<sup>[3]</sup>

Propiedades Mecánicas			
Tensión (N/mm <sup>2</sup> )	Fluencia [0,2%] (N/mm <sup>2</sup> )	Elongación a 2 pulg (%)	Brinell Carga 500 kg (HB)
185	90	8,0	65

Tabla 1.2 Propiedades Mecánicas de la Aleación de Aluminio A356.0<sup>[3]</sup>

Propiedades Físicas				
Temperatura de Fusión (°C)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Promedio Coef. de expansión térmica (µm/m °C)	Conductividad Eléctrica (% IACS)	Conductividad Térmica (W/m °C)
675-815	2,68	11,9	40	159

Tabla 1.3 Propiedades Físicas de la Aleación de Aluminio A356.0<sup>[3]</sup>

Otra aleación de aluminio es la aleación 6063. (Al Mg Si 0,5), que tratada en caliente le da una excelente resistencia a esfuerzos y permite su montaje mecánicamente o soldando



perfiles entre sí. Las propiedades y características importantes de esta aleación de aluminio se señalan en la Tabla 1.4; Tabla 1.5 y Tabla 1.6:

Composición Química (%)									
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Otros	Al
0,30-0,60	0,10-3,30	0,10	0,30	0,40-0,60	0,05	0,15	0,20	0,15	Resto

Tabla 1.4 Composición Química de la Aleación de Aluminio 6063<sup>[3]</sup>

Propiedades Mecánicas			
Módulo Elástico (N/mm <sup>2</sup> )	Límite Elástico Rp 0,2. (N/mm <sup>2</sup> )	Elongación a 5,65 cm (%)	Brinell Carga 500 kg (HB)
69.000	175	14	65

Tabla 1.5 Propiedades Mecánicas de la Aleación de Aluminio 6063<sup>[3]</sup>

Propiedades Físicas			
Temperatura de Fusión (°C)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Coef. Expansión Lineal (µm/m °C)	Conductividad Térmica (W/m °C)
600 - 650	2,7	25,6	218

Tabla 1.6 Propiedades Físicas de la Aleación de Aluminio 6063<sup>[3]</sup>

La aleación de aluminio 6063 permite un excelente comportamiento al anodizado, proceso electrolítico mediante el cual el perfil extruido recibe una capa de óxido de aluminio que da al producto un atractivo y duradero acabado, con una amplia gama de colores y un tratamiento de pulido y lijado decorativo. Esta aleación ofrece resistencia mecánica, resistencia a la corrosión y buena maquinabilidad y soldabilidad.

#### 1.4.1. Efectos de los Elementos Aleantes sobre las Propiedades del Aluminio

El cobre se añade principalmente para formar un sistema de aleación que puede endurecerse por envejecimiento. Aunque el cobre perjudica la resistencia a la corrosión del aluminio, sus efectos dañinos se minimizan por medio de un tratamiento apropiado de disolución y precipitación.

El silicio se caracteriza sobre todo por mejorar la compactación gaseosa y la fluidez de las piezas de fundición, además reduce la disminución de tamaño de las piezas de fundición a

la mitad del valor correspondiente al aluminio puro. El silicio es perjudicial para la maquinabilidad, la ductilidad y la facilidad de trabajo de las aleaciones forjadas. Junto con el silicio se añade magnesio para mejorar la resistencia a la corrosión y formar una aleación de magnesio y silicio, que se puede endurecer por envejecimiento. Se añaden también otros elementos para lograr efectos similares.

#### 1.4.2. Clasificación de las aleaciones Aluminio-Silicio

Por motivaciones tecnológicas las aleaciones aluminio-silicio se clasifican en tres grupos que se corresponden con sus respectivos rangos de composición:

- Aleaciones hipoeutécticas: 0-10 % Si
- Aleaciones eutécticas: 10-13 % Si
- Aleaciones hipereutécticas: 13-25 % Si

##### 1.4.2.1. Aleaciones hipoeutécticas

En estas aleaciones se encuentran fases como cristales de solución sólida de silicio en aluminio y además estructura eutéctica aluminio-silicio<sup>[15]</sup>.

Al solidificar la aleación el crecimiento de cristales es competitivo, teniendo la mayor parte de aluminio en solución sólida con el silicio y rodeando cada grano formado de la solución sólida, se va a encontrar el microconstituyente eutéctico en poca cantidad.

Las propiedades mecánicas dependen del comportamiento de la solución sólida, ya que la influencia del microconstituyente eutéctico es insignificante.

Al añadir terceros aleantes que forman fases con el aluminio ó con el silicio existente, tanto el aluminio como el silicio que se encuentra en la solución sólida, como el que se encuentra en el eutéctico pasan a formar fases.

##### 1.4.2.2. Aleaciones eutécticas

Estas aleaciones están conformadas íntegramente por microconstituyente eutéctico, que se define como una mezcla íntima conformada por la solidificación simultánea y cooperativa de la solución sólida alfa ( $\alpha$ ) y la solución sólida beta ( $\beta$ ) con la composición que da el diagrama de equilibrio.<sup>[11]</sup>

El microconstituyente eutéctico presenta una estructura laminar, donde el silicio tiene forma de agujas filosas y ásperas, generando a estas aleaciones una pobre ductilidad, sobre todo en muestras coladas en moldes de arena.

Las propiedades mecánicas dependen exclusivamente del microconstituyente eutéctico, así la resistencia a la tracción, la dureza y la ductilidad depende del tamaño, número, distribución y propiedades de los cristales de ambas fases.<sup>[16]</sup>

### 1.4.3. Diagrama de Equilibrio

El diagrama de equilibrio permite establecer el nivel de temperatura y composición que ocupa cada fase posible del sistema y permite además analizar el proceso de solidificación.<sup>[15]</sup>

La Figura 1.1 representa el diagrama de equilibrio de aluminio y el silicio y se identifican las siguientes zonas de interés<sup>[12]</sup>:

- Temperatura eutéctica, temperatura por debajo de la cual no hay líquido. (1)
- Solución sólida rica en aluminio, con pocos átomos de silicio. (2)
- Solución sólida rica en silicio, con pocos átomos de aluminio.(3)
- Punto de equilibrio, intersección de dos líneas líquidas que se inclinan en direcciones opuestas.(4)
- Líneas liquidus, líneas por encima de las cuales no existe sólido.(5)
- Líneas sólidas, línea por debajo de la cual no existe líquido.(6)
- Curva de solubilidad.(7)
- Límite de solubilidad, intersección de dos curvas de solubilidad con la isoterma de cada elemento en el otro y corresponde a la máxima proporción de soluto disuelto.(8)
- Fase líquida.(9)
- Fase sólida.(10)

#### 1.4.3.1. Proceso de solidificación

Al analizar este proceso con la aleación en estado líquido se observa:

- A medida que la aleación se enfría, desciende por una línea vertical, como se muestra en la Figura 1.2.
- La solidificación empieza en el momento en que el sistema llega a la curva liquidus, es decir, el punto  $A_1$ , en ese momento se forma el primer sólido, sólido que tiene una composición  $B_1$ .

- Este sólido es una fase rica en aluminio, con poco contenido de silicio. La temperatura desciende al punto A<sub>2</sub>, el sólido que se empieza a formar tiene una composición B<sub>2</sub>, mientras que el líquido que está en contacto con él se enriquece y tiene una composición a<sub>2</sub>.
- La aleación sigue el proceso y el porcentaje en peso de silicio aumenta hasta que alcanza la composición eutéctica (7,0 % Si), en este instante finaliza la solidificación, ya que, ésta es una isoterma que define un cambio de estado, conformada íntegramente por microconstituyente eutéctico.
- Cuando el porcentaje en peso de silicio sobrepasa al 7,5 %, entra en la zona de las aleaciones hipereutécticas, el proceso de solidificación en esta zona es análogo al anterior, con la diferencia que el primer sólido formado es una fase rica en silicio.

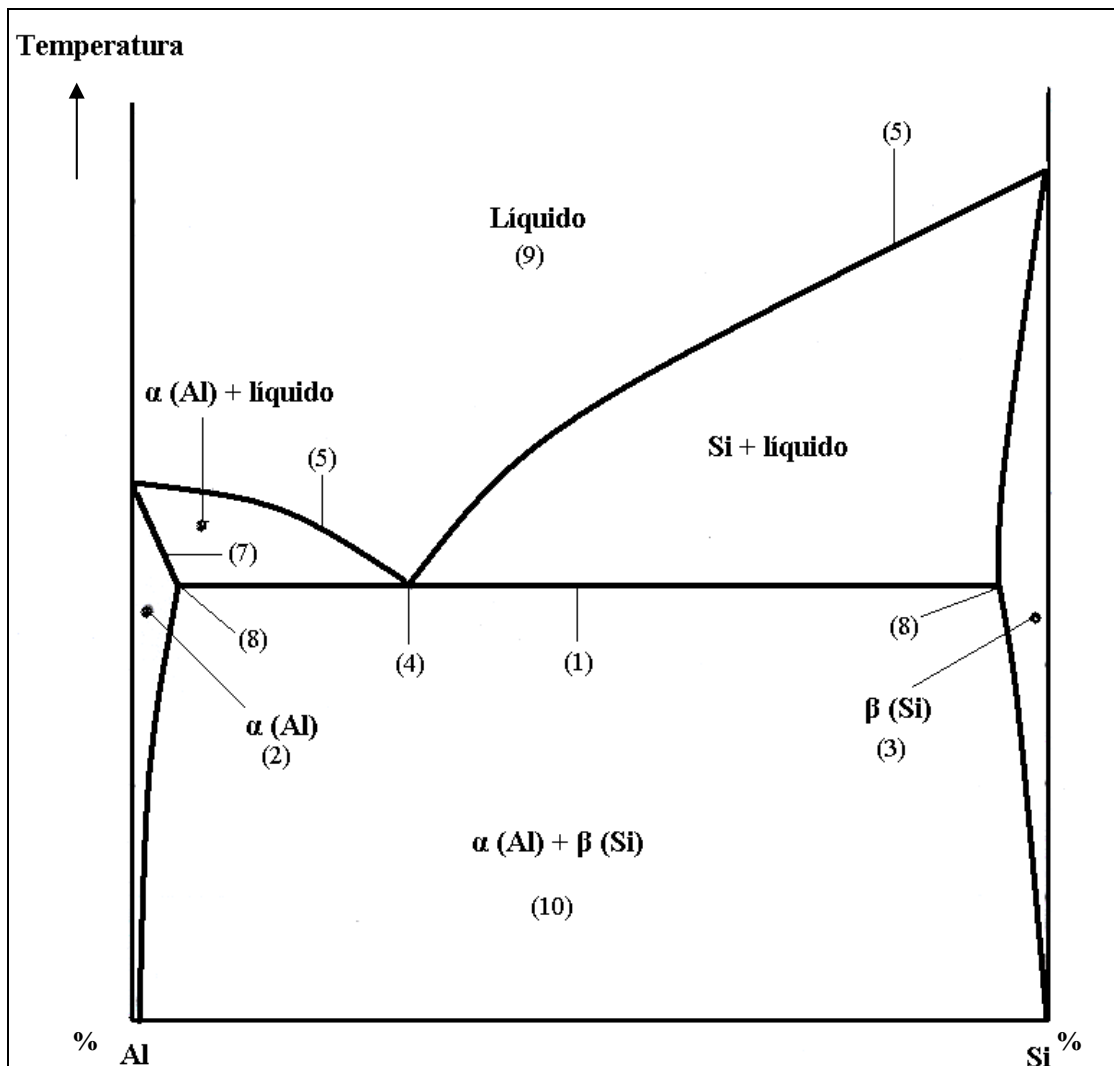


Figura 1.1 Diagrama de equilibrio Al-Si

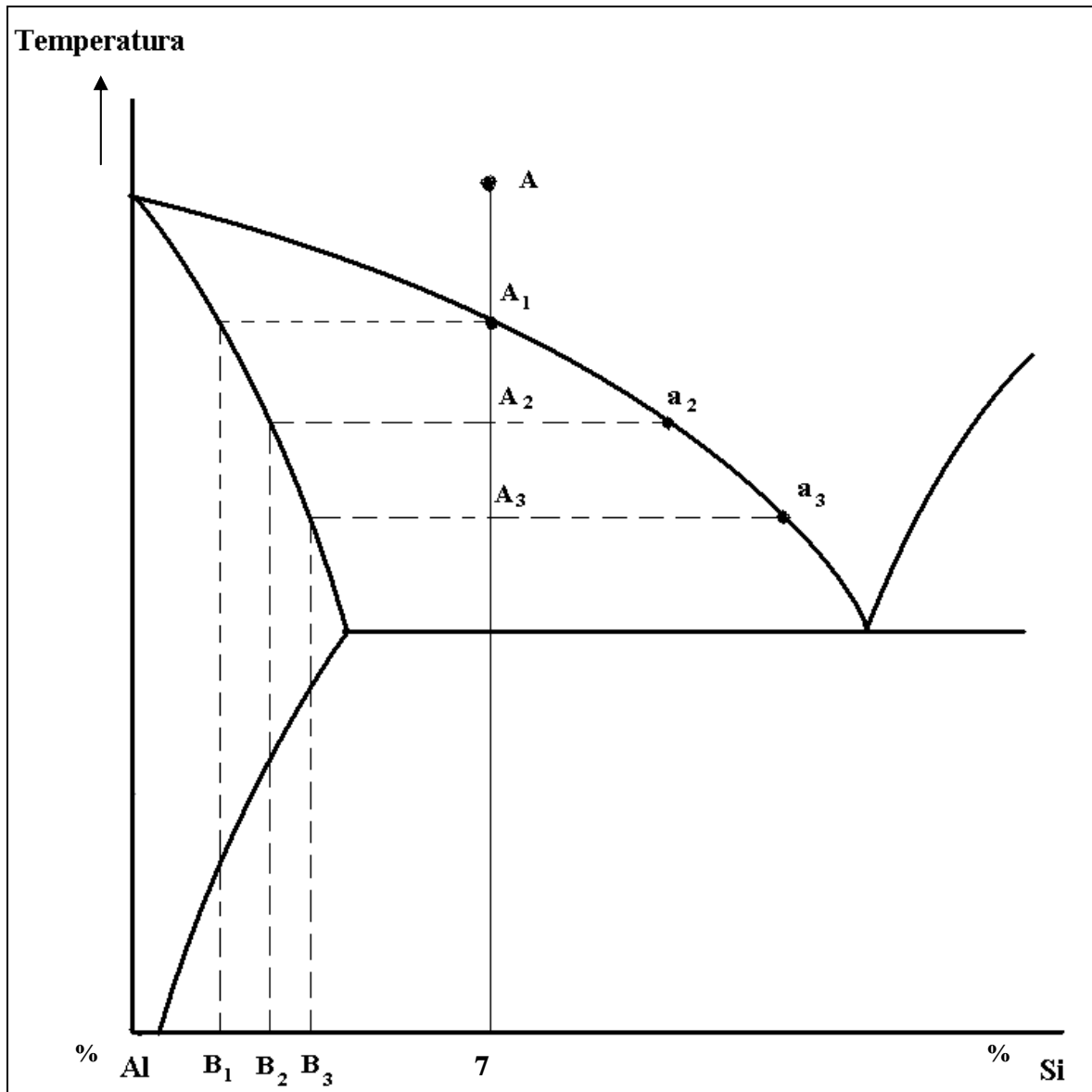


Figura 1.2 Proceso de Solidificación en Aleaciones Hipoeutécticas Al-Si

#### 1.4.4. Tratamiento Térmico

Una forma de mejorar las propiedades mecánicas de las aleaciones aluminio-silicio es mediante un tratamiento térmico.

El tratamiento térmico consiste en una operación o combinación de operaciones sucesivas, mediante las cuales un producto metalúrgico en estado sólido se somete a uno o varios ciclos térmicos entre niveles de temperaturas y tiempos determinados, al objeto de conseguir determinadas características.

Las variables a considerar en un tratamiento térmico son<sup>[12]</sup>:

- Agilidad tecnológica de la ejecución de calentamientos.
- Régimen de temperatura que debe alcanzar y mantenerse.
- Ley de enfriamiento de la temperatura del régimen.

Los tratamientos térmicos que se analizan son:

- Tratamiento de solubilización
- Temple de precipitación
- Envejecimiento artificial

#### 1.4.4.1. Tratamiento de solubilización

El objeto de la solubilización es poner en solución sólida la mayor cantidad de soluto endurecido, tales como: cobre, silicio, cinc.

Mientras mayor es la temperatura mayor es la cantidad de soluto que admite al solvente en solución sólida. De aquí se desprende que la temperatura de solubilización debe estar lo más cerca de la temperatura de fusión del eutéctico, sin llegar a dicha temperatura para no fundir ningún constituyente.

Al fenómeno de fundir el eutéctico se le denomina quemado, el quemado da origen a grietas al templar.

Cuanto mayor es la temperatura de solubilización, mayor es la resistencia mecánica que se puede alcanzar posteriormente con el envejecido.

Una vez fijada la temperatura de solubilización es necesario fijar el tiempo. El tiempo es función del tipo de aleación y del proceso de fabricación, es decir, de las condiciones de la aleación antes del tratamiento. El tiempo de solubilización no depende de la temperatura de solubilización.

La heterogeneidad estructural de las piezas fundidas, hace que requieran tiempos largos de mantenimiento. Como la homogeneización es tanto mejor cuanto menor son los granos, la pieza colada en arena requiere tiempos de solubilización mayores que las coladas por otro método.

Las temperaturas y tiempos recomendados para las aleaciones de fundición en cuanto a solubilización varían según el tipo de aleación, por ejemplo<sup>[3]</sup> para la aleación de aluminio A356.0 se recomienda una temperatura de 540 °C y un tiempo de 12 h.

#### 1.4.4.2. Temple de precipitación

Este tratamiento suele seguir al tratamiento de solubilización. El objetivo del tratamiento es conservar, tanto como sea posible, la solución sólida que se forma a la temperatura de solubilización. Para ello se disminuye dicha temperatura en forma brusca, hasta una temperatura cercana a la ambiental.

Las contracciones debidas al enfriamiento brusco introducen tensiones residuales. La magnitud de estas tensiones aumentan proporcionalmente con la velocidad de enfriamiento. Por esta razón se utiliza agua a temperaturas comprendidas entre 50 y 70 °C<sup>[12]</sup>.

El tiempo que transcurre desde la salida del horno hasta la inmersión, no debe exceder los ocho segundos ya que genera precipitaciones no deseadas.

Después de producido el temple, con el tiempo precipitan diminutas partículas, que dificultan el deslizamiento de los planos cristalinos de la solución sólida, esto es lo que se define como envejecimiento natural.

En la mayoría de las aleaciones durante el envejecimiento natural se observa un fuerte aumento en la solidez, lo que se puede explicar como por la gran resistencia al movimiento de dislocación que oponen los grupos de átomos coherentes<sup>[13]</sup>.

#### 1.4.4.3. Envejecimiento artificial

Este tratamiento se produce a temperaturas superiores a la ambiental. Se diferencia del envejecimiento natural tanto en el intervalo de temperatura como en los cambios estructurales que se producen a alta temperatura.

Para cada temperatura hay un tiempo de envejecimiento que se considera óptimo, una vez rebasado este tiempo de envejecimiento artificial las propiedades vuelven a ser inferiores.

Las temperaturas y tiempos recomendados para las aleaciones de fundición en cuanto a envejecimiento artificial varían según la aleación; por ejemplo<sup>[3]</sup> para la aleación de aluminio A356.0 se recomienda una temperatura de 155 °C y un intervalo de tiempo de 3 a 5 h.

### 1.4.5. Proceso de Endurecimiento

Durante el solubilizado y el templado no se observa la desintegración de la solución sólida y precipitaciones de las fases en exceso.

A la temperatura ambiente tiene lugar solo la aglomeración de átomos de soluto en distintos planos de la red cristalina de la solución sólida.

Durante el envejecimiento artificial, al principio se forman las zonas de Guinier-Preston de una magnitud mayor que las formadas en el solubilizado y templado.

El mantener durante unas horas elevadas temperaturas conduce a la formación en los límites de las formas Guinier-Preston de las partículas dispersas de fases intermedias que produce endurecimiento.<sup>[21]</sup>

En las aleaciones Al-Si-Mg el proceso de endurecimiento se resume así:

Zonas GPI ----- Zonas GPII ----- B'

Las zonas GPI y GPII son las responsables directas del endurecimiento; la fase intermedia B' produce endurecimiento por las zonas antes citadas.

### 1.4.6. Designación del Estado de Tratamiento del Material.

A continuación del tipo de la aleación y separado por un guión se expresa el estado en que se encuentra el material, bien sea este aluminio fundido o forjado, o aleaciones de aluminio.

Los distintos tratamientos básicos se indican mediante una letra, seguida por uno o más dígitos, excepto en los estados de recocido y de bruto, que no van seguidos por ninguno: Los estados básicos son cuatro, los cuales vienen representados por F, estado de bruto; O, estado de recocido; H, endurecido por deformación en frío o estado de acritud, y T tratado térmicamente.<sup>[3]</sup>

F: Estado de bruto. Se aplica en aquellos casos en que el material sufre alguna modificación como consecuencia de las operaciones normales de fabricación. En este estado no existe ninguna seguridad en cuanto a las características mecánicas.

O: Recocido, recristalizado. En este estado las aleaciones forjadas presentan la dureza mínima.

H: Estado de acritud. Se aplica a los materiales cuyas características mecánicas mejoran al someterlos solamente a una deformación en frío. La H va siempre seguida por dos



o más dígitos, de los cuales el primero indica en cada caso la serie de operaciones fundamentales a que se ha sometido el material, en la forma siguiente:

- H1: Estado de acritud solamente. El segundo dígito expresa el grado de deformación sufrido por el material, correspondiendo el número 8 a la calidad de duro. Por tanto, el H14 representa un material semiduro, el H12 un cuarto duro. La calidad extraduro se designa por el número 9. Para indicar dentro de cada calidad el grado de control de ésta, o para identificar un conjunto de características mecánicas especiales, se utiliza frecuentemente un tercer número.
- H2: Estado obtenido por acritud y recocido después parcialmente. Se utiliza en los casos en que la dureza con que queda el material tras la deformación en frío se reduce posteriormente al valor preciso mediante un recocido parcial. La deformación correspondiente a la dureza final del material se designa de igual manera que en las series H1.
- H3: Estado generado por acritud y estabilizado a continuación. Se aplica solamente a las aleaciones que contienen magnesio, las cuales son sometidas a un calentamiento a baja temperatura para estabilizar sus propiedades. El grado de deformación con que queda el material, indicado por su dureza, se expresa por uno o más dígitos.

W: Tratamiento térmico de disolución. Este es un estado metaestable, aplicable solamente a las aleaciones que envejecen espontáneamente a la temperatura ambiente después de sufrir un tratamiento térmico de disolución. Esta designación, como se aplica cuando se presenta el fenómeno de envejecimiento natural, solo estará completa cuando vaya seguida del período de tiempo necesario para que realice dicho envejecimiento; por ejemplo<sup>[21]</sup> 2.024 W (1/2 h).

T: Tratado térmicamente. Se utiliza esta designación en los casos en que los materiales se tratan térmicamente para obtener estados estables, con independencia de que posteriormente se sometan a una deformación en frío o no. A continuación de la T se añaden distintos números, del 2 al 10, inclusive, para expresar la serie de operaciones fundamentales sufridas por el material. Al variar deliberadamente las condiciones del tratamiento se obtienen en el material características totalmente distintas, viniendo expresadas dichas condiciones por uno o más dígitos que se añaden a la designación básica.

- T2: Recocido, se aplica solamente a los materiales fundidos.
- T3: Sometido a un tratamiento térmico de solubilización y deformado posteriormente en frío.
- T4: Sometido a un tratamiento térmico de solubilización y a un proceso de envejecimiento natural hasta conseguir una condición totalmente estable.
- T5: Sometido a un proceso de envejecimiento artificial solamente. Se aplica a los productos que en el proceso de fabricación se enfrían rápidamente desde temperaturas elevadas y se someten posteriormente a un proceso de envejecimiento artificial, como sucede con los obtenidos por extrusión o fundición.
- T6: Sometido a un tratamiento térmico de solubilización y posteriormente a un proceso de envejecimiento artificial.
- T7: Sometido a un tratamiento térmico de solubilización y posteriormente estabilizado, se aplica en los casos en que las condiciones de tiempo y temperatura del tratamiento de estabilización son tales que la aleación se lleva más allá del punto de dureza máxima, procurando controlar el crecimiento de grano y las tensiones residuales.
- T8: Sometido a un tratamiento térmico de solubilización y a una deformación en frío y, posteriormente, a un proceso de envejecimiento artificial.
- T9: Sometido a un tratamiento térmico de solubilización, a continuación a un proceso de envejecimiento artificial y, finalmente, a una deformación en frío.
- T10: Sometido a un proceso de envejecimiento artificial y a continuación a una deformación en frío. Este tratamiento es el mismo que el T5, aunque para aumentar la resistencia de la aleación se somete después a una deformación en frío.

### **1.5. Tutor Externo con Transportación Ósea Modelo CS-AR**

El Sistema de Fijación Externo modelo CS-AR está construido en un acero inoxidable austenítico (acero quirúrgico) y Duraluminio Anodinado. Su particular e innovador diseño favorece la confección de montajes que garantizan una óptima estabilidad, también permite la colocación de varios sistemas de rótulas a diferentes distancias y con distintas orientaciones en los tres planos del espacio, así como la capacidad de controlar pequeños fragmentos óseos, permitiéndole además realizar: compresión, dinamización y distracción de los fragmentos

óseos, transportación y alargamientos óseos y corrección gradual de deformidades óseas axiales.

### 1.5.1. Componentes

Los componentes que constituyen el Sistema de Fijación Externo modelo CS-AR son:

- *Llave de Transportación*, calibrada y de fácil manejo, permite el movimiento controlado milimétricamente de las rótulas CS-AR a lo largo de la barra de transportación (Figura 1.3).



Figura 1.3 Llave de Transportación

- *Rótula CS-AR*, que por su particular y único diseño permiten la compresión, dinamización, distracción y transporte de segmentos óseos con su sola existencia lo que reduce el número de componentes necesarios para el montaje. Cada una de ellas por su confección (mediante segmentos en T anclados a cada uno de sus lados), tiene la capacidad de alojar de uno a cuatro clavos de Schanz en diferentes planos (Figura 1.4).

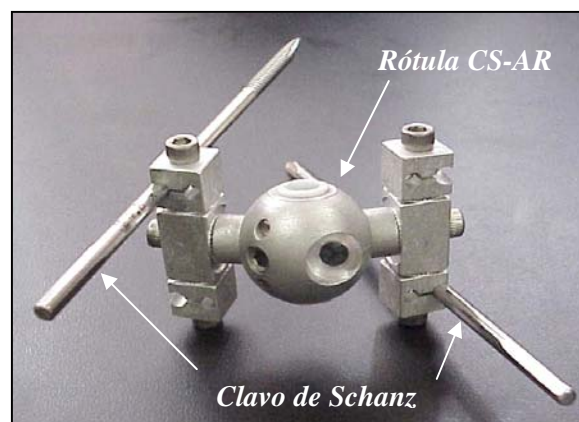


Figura 1.4 Rótula CS-AR y Clavos de Schanz

- *Barra Central o de Transportación*, de longitud variable según las necesidades del montaje, sirve de eje al fijador y en la cual se fijan las rótulas CS-AR, con un canal guía que evita su rotación y una sección “dentada” que garantiza una movilización precisa y controlada de cada rótula (Figura 1.5A).

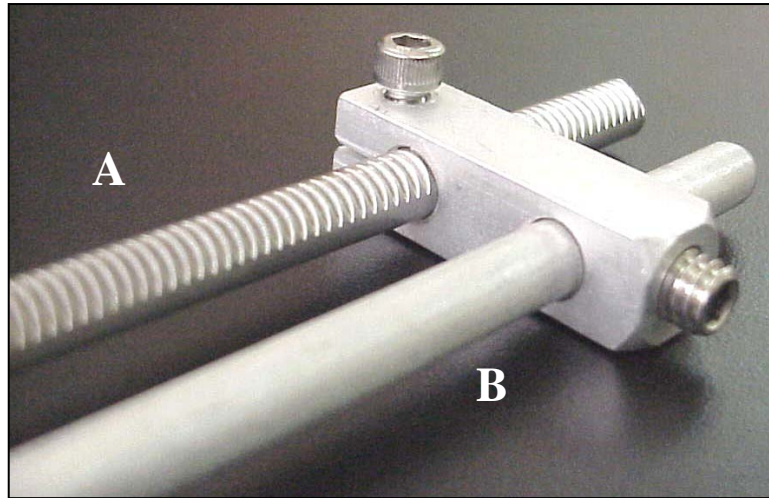


Figura. 1.5 A.-Barra central, B.-Barra Rigidizadora

- *Barra Rigidizadora*, resistente y paralela a la barra central (Figura 1.5B), permite mayor estabilidad y rigidez al montaje, unida a la barra central por rótulas tubo a tubo.
- *Rótula Proto*, sin capacidad de transportación, permite la fijación estable y rígida a la barra central de los fragmentos óseos; según se desee, con uno a dos clavos de Schanz (Figura 1.6).

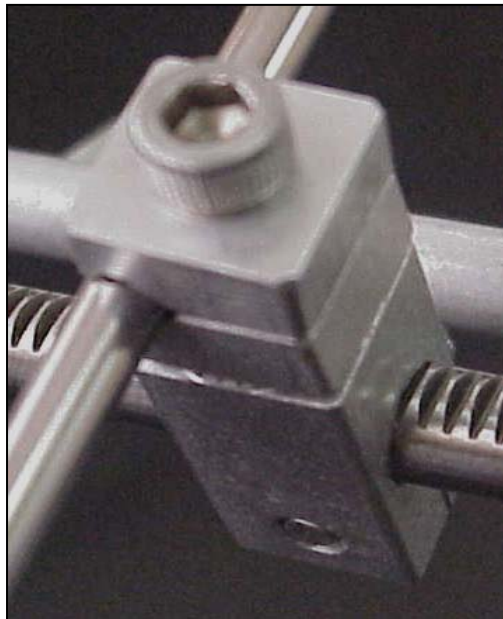


Figura 1.6 Rótula Proto

- *Clavos de Schanz*, de 4,0 y 4,5 mm de diámetro (Figura 1.4).

### 1.5.2. Aplicación

Por las características del tutor externo CS-AR, las indicaciones para su empleo son amplias e incluyen entre otras:

- Fijación de fracturas graves asociadas a daños extensos de partes blandas y/o lesiones vasculares (fracturas abiertas tipo III A, B y C de Gustilo y Anderson)
- Tratamiento de fracturas complejas en huesos largos con pérdidas segmentarias susceptibles de ser corregidas mediante transportación ósea.
- Fracturas periarticulares complejas de difícil manejo en donde se desee la fijación de fragmentos óseos en diferentes planos del espacio.
- Discrepancias de miembros inferiores corregibles mediante el alargamiento óseo.
- En el tratamiento quirúrgico de la osteomielitis crónica de huesos largos donde se precisa la resección segmentaria de hueso necrótico e infectado (Figura 1.5) y la posterior transportación ósea.

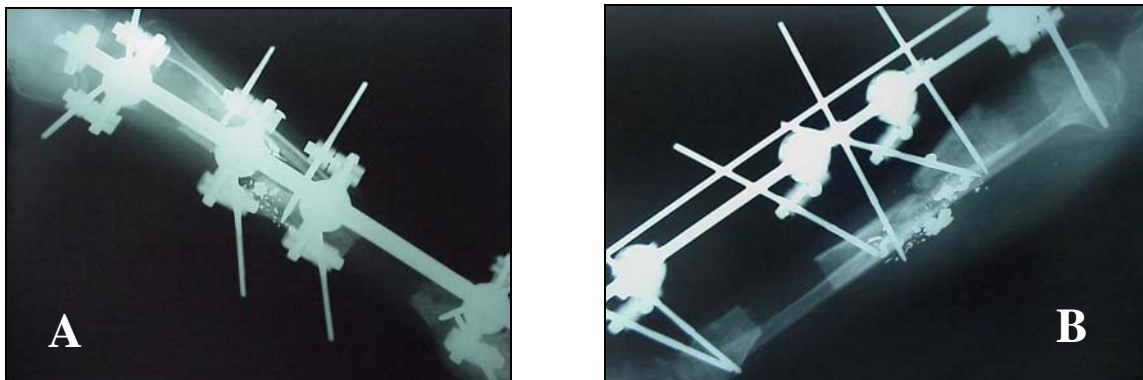


Figura 1.7. Paciente femenina de 42 años, con osteomielitis del tercio medio de la tibia derecha como complicación de una fractura abierta sometida a resección de aproximadamente 12 cm de la diáfisis de este hueso y colocación de fijador transportador CS-AR

- Tratamiento de trastornos del proceso de consolidación de fracturas (Pseudoartrosis y retardo de consolidación ósea) mediante compresión interfragmentaria y/o dinamización de los fragmentos fracturarios.

## 2 FUNDICIÓN DE PRECISIÓN

### 2.1. Reseña Histórica

La fundición a la cera perdida se conoce diversamente por los términos: molde fusible, revestimiento en caliente, microfusión y fundición de precisión. Es un método utilizado desde hace más de cuatro mil años sin grandes modificaciones. Los artesanos de la antigua India y de Egipto, la civilización Han de China, los maestros del Arte Griego, los etruscos, las fundiciones en oro de las civilizaciones suramericanas, los Bronces del Benino de África, dejan con este proceso una huella en las búsquedas estéticas y técnicas de los hombres. La civilización Han de China usa esta técnica para fabricar joyería e intrincadas piezas. La cera de abeja se adecua a sus propósitos, ya que a estos artesanos no les preocupa la producción o definición, ni mantener precios menores. Se adapta particularmente durante la Segunda Guerra Mundial, a la manufactura de fundiciones de ingeniería de muchos tipos con metales que no son susceptibles de fabricación por otros métodos diferentes al de colado. Su utilización hasta hace poco tiempo radica exclusivamente en la joyería y la bisutería, pero en la actualidad se emplea en otros campos, como apliques para muebles y lámparas, reproducción de maquetas a escala, figuras decorativas, trofeos deportivos, aderezos y otros tipos de complementos metálicos. Por la calidad en las reproducciones y la rapidez con que se pueden realizar, es el proceso más rentable en la fundición de piezas que requieren un acabado esmerado.

### 2.2. Proceso

Con este proceso se obtienen piezas con geometrías complejas, ya que parte de un modelo fabricado en cera que a su vez incluye al sistema de alimentación, formándose el molde al vaciarse una pasta refractaria alrededor de ella.

#### 2.2.1. Ventajas

1. Permite la producción en masa de piezas de geometría compleja que son difíciles o imposibles de producir por los procesos comunes de fundición o maquinado.
2. Permite la reproducción de detalles finos, una mayor precisión dimensional y superficies más lisas que las que se obtienen por otros procesos de fundición.
3. Aplicable a una amplia gama de metales que puedan ser fundidos y vaciados.

4. Puede ser adaptado para la producción de piezas pesadas, aunque generalmente este proceso se utiliza en la producción de piezas menores de 25 kg.
5. Las piezas coladas que se obtienen no presentan rebaba si se remueve la rebaba del modelo.
6. El proceso permite el control de las propiedades metalúrgicas del metal, como el tamaño de grano, orientación del grano y solidificación, lo cual resulta en un adecuado control de las propiedades mecánicas. Las piezas que se fabrican por este procedimiento son más densas, presentan una estructura de grano más compacto y son menos porosas que las que se obtienen por fundición de colada por gravedad.
7. La cantidad de metal de desecho o recortes queda reducido considerablemente.
8. Recuperación de la cera para reutilizarla

### **2.2.2. Limitaciones**

1. El tamaño y peso de las piezas coladas que se producen por este proceso están restringidas por consideraciones físicas y económicas, así como por la capacidad de los equipos disponibles. El proceso se aplica de manera ventajosa a la mayoría de las piezas coladas cuyo peso sea inferior a 5 kg.
2. Los costos iniciales de equipos y herramientas para el proceso son relativamente elevados.
3. Para satisfacer las exigencias actuales sobre la obtención de piezas fundidas, con una superficie lisa, libre de poros y cavidades, es imprescindible poseer un conocimiento de las técnicas de fundición para cada aleación.

## **2.3. El Modelo**

Para la preparación de los moldes para la fundición a la cera perdida es necesario un modelo que puede ser realizado en gran variedad de materiales (metal, plástico, madera, yeso, cera) calculando una contracción media de 1,5 a 2 % y un margen de tolerabilidad dimensional de +/- 0,8 %.<sup>[34]</sup>

El modelo es el punto de partida de un proceso de fundición, el aspecto y acabado del modelo de cera tienen gran importancia, entre otras cosas, porque de su grado de perfección depende, en parte, la calidad de la pieza resultante. En el caso de la fundición a la cera perdida,

después de recubrirse con un material refractario, se elimina por medio de calentamiento, para obtener una cavidad o molde que posteriormente debe llenarse con metal fundido.

## **2.4. Proceso para Modelar en Cera**

### **2.4.1. Fabricación del Molde para los Modelos**

Para pequeñas producciones, los modelos pueden ser maquinados usando un material desechable, normalmente plástico. Cuando se requiere un mayor número de coladas, los modelos se producen por inyección de cera o material plástico, utilizando moldes metálicos. La tolerancia dimensional del molde se controla severamente.

Los moldes fundidos se utilizan menos que los moldes maquinados. Estos requieren un modelo que es una representación dimensionalmente real, con menor contracción de la pieza a fundir. El modelo maquinado se usa para preparar los moldes. Se puede hacer de acero de bajo carbono, bronce, aluminio, aleación de magnesio, acero para herramientas, madera o plástico laminado.

La selección del material para el patrón depende del material del modelo, de la presión de inyección establecida y la cantidad de modelos a producir.

Si el molde se fabrica por maquinado se recomienda acero de bajo carbono (no endurecido), aleaciones de aluminio, aleaciones de magnesio o bronce. El maquinado de los moldes se justifica cuando la cantidad de modelos que se producen, tienen geometría compleja.

### **2.4.2. Ceras para Modelar**

La cera es uno de los componentes básicos del proceso a la cera perdida. En la moderna joyería y odontología se demanda en mayor proporción y es ésta la razón por la cual las actuales ceras no son mezclas simples sino fórmulas complejas diseñadas con estándares precisos. Principalmente se hacen de derivados del petróleo refinado, incluyendo parafinas, ceras micro-cristalinas, resinas de hidrocarburos y polímeros. Frecuentemente, se añaden aditivos a las ceras naturales, resinas e incluso ceras sintéticas. Algunas de las ceras naturales más costosas, se mezclan con derivados del petróleo, porque adicionan excelentes propiedades. Entre las ceras naturales se encuentran las ceras de origen animal y las ceras de origen vegetal. Es esencial la selección cuidadosa de cada material para crear una mezcla



homogénea. Esta mezcla saca ventaja de las propiedades de cada uno de los materiales que lo constituyen, de hecho no existe un sólo componente que incluya todas las propiedades que se requieren en una fórmula de calidad aceptable. Por ejemplo, las parafinas puras son de menor costo, fluyen bien, con puntos de fusión comprendidos entre 55 y 60 °C <sup>[27]</sup>; sin embargo, las parafinas están compuestas de cristales largos y por lo tanto son secas y quebradizas

Figura 2.1 Ceras para modelar<sup>[27]</sup>Figura 2.2 Modelo y Pieza Final<sup>[27]</sup>

#### 2.4.2.1. Características de las ceras

Las propiedades que deben ser consideradas en las ceras de inyección para una adecuada formulación o selección son:

- *Dureza de penetración:* la prueba determina la profundidad a la que penetra una aguja en la cera a una presión determinada y en un tiempo específico. A menor número resultante, mayor la dureza de la cera. Se mide en milímetros.
- *Viscosidad:* entre menor sea la viscosidad mayor es la fluidez de la cera caliente. La cera con mayor fluidez logra copiar más detalles del molde y se inyecta mejor en secciones delgadas sin endurecerse ni obstruirse.
- *Color:* frecuentemente se identifican las características de la cera por su color (Tabla 2.1)

Color	Características de la Cera.
Aguamarina	Extremadamente flexible. Excelente para piezas con geometría compleja. Se inyecta a 74 °C.
Naranja	Muy flexible, fluye con facilidad, óptima retención de la forma y depresiones por contracción mínima. Para usos generales; recomendada para piezas con áreas delgadas. Se inyecta a 68 °C.
Roja	Uso para una amplia variedad de piezas. Se enfria con rapidez. Flexibilidad media. Se inyecta a 74 °C.
Oro	Dura, de flexibilidad reducida. Fluye con facilidad. Mantiene una excelente definición de los detalles. Prácticamente no se contrae ni produce depresiones por contracción. Admite que se le talle. Recomendada para plantillas de amplias dimensiones con detalles menudos. Se usa para moldes metálicos. Se inyecta a 76 °C.
Verde	Flexible, con un lento tiempo de enfriamiento. Contracción mínima. Depresiones por contracción prácticamente inexistentes. para usos generales y óptima para piezas planas de gran superficie. Se inyecta a 65 °C.

Tabla 2.1 Propiedades de la cera según su color<sup>[23]</sup>

- *Contenido de ceniza:* la ceniza está compuesta por residuos microscópicos que deja la cera al derretirse y escurrirse del revestimiento. Estos residuos contienen restos metálicos, sales, silicatos y otros elementos inorgánicos. Normalmente, estos residuos no deben ser mayores al 0,015 % en peso, ya que causan porosidad e inclusiones en el vaciado.
- *Contracción:* la cera que menos se contrae tiende a ser dura y menos dúctil. Poca contracción es un factor importante cuando se vacían piezas largas o secciones gruesas.
- *Ductilidad, Resistencia y Flexibilidad:* se relacionan con la extracción de la cera del molde y con el manejo del modelo final. Si el modelo no es suficientemente resistente, las secciones pequeñas se rompen o no mantienen su forma. Las ceras a pesar de ser muy dúctiles pueden no registrar el detalle.
- *Auto-Lubricación:* ceras pegajosas no se separan correctamente del molde. Un desprendimiento inadecuado puede resultar en distorsiones o rompimiento del modelo.
- *Duración:* si su duración no es la adecuada, después de la inyección, el modelo se seca y se vuelve quebradizo.

### 2.4.3. Inyección de Cera

Los moldes mecanizados precisan de una inyección mecánica de la cera fundida. El llenado del molde puede ser con una inyectora de cera o por medio de una máquina centrífuga, tal como se hace con el metal; sólo que, en vez inyectar metal fundido en un molde de revestimiento, se inyecta la cera fundida en uno de caucho o metálico. La técnica que más se emplea es la de inyección de cera. El concepto básico del sistema de duplicar un modelo matriz se desarrolla mediante la utilización de compuestos que pueden moldearse con calor. La cera, cuando se calienta, asume la forma del recipiente que la contiene y al enfriarse solidifica, copiando la forma prevista.

Este método resulta idóneo para obtener series de reproducciones exactas de un determinado modelo, reduciendo los costos de producción.

### 2.4.4. Elaboración de los Modelos

Los modelos están sujetos al canal de colada principal por medio de unos conductos, los cuales pueden estar integrados al modelo de cera o se pueden unir derritiendo la cera y presionándolos contra dicho canal hasta que la cera solidifique. Se debe tener cuidado al derretir la cera ya que se pueden dañar los modelos.

Los modelos también se pueden unir por medio de fijadores. Esto se usa generalmente para piezas grandes y de formas complejas que requieren varios conductos.

### 2.4.5. Defectos en los Modelos

Los defectos que aparecen en los modelos de cera ocurren porque alguna etapa del proceso de inyección de cera no se controla apropiadamente. Entre los defectos más comunes que se detectan en los modelos están:

- *Burbujas de aire atrapadas*: puede ocurrir debido a cuatro razones: a) escasez de cera dentro de la inyectora, b) cera demasiado caliente o fría, c) mal contacto entre el inyector de cera y el molde y d) sobre presión de aire durante la inyección.
- *Llenado incompleto del molde*: se debe a reducidas presiones de trabajo, reducidas temperaturas de trabajo de la cera, molde frío, reducidas dimensiones del alimentador del molde, aire atrapado dentro del molde o respiraderos obstruidos, obstrucción en la boquilla del inyector.

- *Sobrellenado del molde:* se debe a excesiva presión de aire en el momento de inyectar, molde cerrado incorrectamente, cera demasiado caliente, prolongado tiempo de inyección.
- *Contracción excesiva:* se debe a elevadas de temperaturas de trabajo de la cera, reducidas presiones de trabajo, alimentador estrecho, molde frío, cera con elevadas propiedades de contracción.

## 2.5. Revestimiento

### 2.5.1. Material

La obtención de un molde de material refractario, cubriendo los modelos de cera, recibe el nombre de revestido y el material que se utiliza, revestimiento.

El significado literal de “revestir” es rodear, envolver o embeber. Esto es lo que ocurre en la fundición con revestimiento, en la que el material del molde de revestimiento, rodea el modelo formando un cuerpo compacto. El revestimiento, al enfriarse, deberá contraerse en la misma proporción que se contrae el metal al solidificar.

La naturaleza viscosa del revestimiento, cuando se prepara como una suspensión, es lo que posibilita la fundición de un modelo de forma concebible. En los métodos de fundición en los que se emplea el modelo de cera revestido, la pieza fundida no puede extraerse del molde sin destruirlo. En los métodos citados, el molde puede utilizarse una sola vez.

### 2.5.2. Composición

La composición del revestimiento consiste en:

- Aglutinante
- Refractario
- Aditivos

#### 2.5.2.1. Aglutinante

El aglutinante que mantiene al refractario en suspensión es yeso, un mineral ampliamente distribuido en la naturaleza, bajo forma de sulfato de calcio hidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).

Calentándolo en autoclave se transforma en sulfato de calcio semihidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ), que es más duro y más fuerte, debido al cambio que se opera en su estructura cristalina. El producto que se obtiene se comercializa bajo el nombre de “Hydrocal” o cal hidratada. Es el principal componente del revestimiento, formando parte de la mezcla del mismo en un 25 al 30 %.

El sulfato de cal actúa como un astringente, ligando rígidamente los componentes que forman el revestimiento. Es el ingrediente principal del revestimiento destinado a la fundición dental, utilizado porque después de calcinado pierde el 75 % de su contenido de agua, por lo que requiere menos agua y sus cristales alargados son densos, lo que lo hace, aproximadamente, dos veces y media más resistente que el yeso ordinario.

#### 2.5.2.2. Refractario

La cristobalita en su forma pura, sin aditivos, se utiliza como material de revestimiento. Es un mineral de origen volcánico, llamado así porque procede del cerro de San Cristóbal, en Pachuca, México; es una forma alotrópica de sílice, en octaedros blancos. Actualmente, se prepara por calcinación selectiva del cuarzo a temperaturas comprendidas entre 1.470 y 1.670 °C. Cuando la sílice se enfría queda la cristobalita.

Permite que el revestimiento pueda calentarse sin que, al dilatarse, se agriete o se rompa. La expansión térmica del revestimiento de cristobalita es de, aproximadamente, el 1,2 %, desde la temperatura ambiente a 400 °C, y del 1,4 % a 700 °C. Este porcentaje de dilatación es suficiente para compensar la contracción normal de los metales fundidos cuando se enfrían, de forma que las piezas que se obtienen en la fundición son de tamaño aproximado a los correspondientes modelos de cera.

El revestimiento de cristobalita presenta una resistencia a la compresión de unos  $105 \text{ kg/cm}^2$ , que resulta suficiente para soportar el impacto del material fundido cuando es mezclado adecuadamente y llevado a la temperatura de fundición establecida. Por este motivo, aunque el molde se dilate durante el quemado de la cera queda compensado por la contracción del metal fundido durante la solidificación.

El revestimiento de cristobalita, que se utiliza más frecuentemente, se compone de:

- *Yeso*: se utiliza como aglutinante.
- *Sílice*: propiedades altamente refractarias.
- *Ácido bórico*: para el cambio térmico uniforme al eliminar la cera.

- *Grafito*: para evitar la oxidación.

#### 2.5.2.2.1. Sílice

La harina de sílice es un material refractario infusible, es decir, que no se funde ni se transforma con el calor de los metales fundidos o con los que entran en contacto en su interior.

El dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ), es arena de playa finamente triturada. La sílice actúa como estabilizador del revestimiento, tanto al calentarse durante el quemado como cuando se enfría, inmediatamente después de la fundición.

La dilatación de la sílice, unida a la del yeso, compensa las contracciones de los patrones de cera y/o contracciones del metal durante su solidificación en el molde. La dilatación y la contracción de moldes y modelos son un problema crítico solo en aquellos casos que requieren tolerancias definidas.

Las cuatro formas alotrópicas de la sílice son:

- Cuarzo
- Arena de cuarzo
- Tridimita
- Cristobalita

#### 2.5.2.3. Aditivos

Los modificadores o aditivos se añaden al revestimiento con la finalidad de:

- Reducir la dilatación
- Ajustar el tiempo de fraguado
- Controlar la viscosidad
- Aumentar la resistencia
- Evitar la contracción cuando se calienta por encima de 300 °C.

### **2.5.3. Condiciones de Trabajo**

#### 2.5.3.1. Uso

El revestimiento se debe mantener seco y almacenado dentro de una bolsa de plástico cerrada, que se debe colocar en el interior de un tambor tapado herméticamente, antes y después de que se utilice, para evitar que absorba humedad del aire, la cual, modifica sus características de trabajo y por ende proporciona:

- Superficie rugosa a la pieza
- Fisuras en el molde, que se transforman en rebabas en la pieza
- Fundiciones defectuosas

#### 2.5.3.2. Proporción yeso-agua.

La proporción yeso-agua que se utiliza al mezclar la suspensión determina las propiedades físicas y el tiempo de fraguado del revestimiento. Los fabricantes de yeso especifican la proporción yeso-agua que debe utilizarse, generalmente recomiendan la relación 100:40 para piezas de tamaño regular y 100:38 para piezas mayores<sup>[22]</sup>. Una desviación de las proporciones sugeridas da por resultado cambios en el grado de dilatación y, por lo tanto, una modificación en la dimensión de la pieza y posiblemente un revestimiento débil que puede agrietarse.

El exceso de agua debilita la resistencia del revestimiento fraguado y genera marcas de agua en la pieza. Una suspensión demasiado espesa, debido a un exceso de yeso, genera un contacto deficiente con la superficie del modelo o que el cilindro no se llene adecuadamente.

La mezcla del revestimiento debe hacerse cuidadosamente para disponer del máximo tiempo de trabajo antes de que fragüe y que adquiera la consistencia adecuada para asegurar la precisión.

#### 2.5.3.3. Tiempo de trabajo útil

La mezcla del revestimiento debe hacerse cuidadosamente para disponer del máximo tiempo de trabajo antes de que fragüe y que adquiera la consistencia adecuada para garantizar la precisión.

En la mayoría de los casos el tiempo de trabajo útil es de 10 a 12 min aproximadamente<sup>[22]</sup>, desde el momento en que el yeso se mezcla hasta que empieza a endurecer el revestimiento (Figura 2.3); el mismo se describe a continuación:

- 3 a 3,5 min para mezclar el revestimiento.
- 2 a 3 min para eliminar las burbujas de aire de la mezcla.
- 1 min para vaciar el revestimiento en el cilindro hasta un 60 o 70 % del nivel total.
- 1,5 min para eliminar las burbujas del revestimiento.
- 0,5 min para completar el llenado del cilindro haciendo llegar el revestimiento hasta la parte superior.

- 2 min para que el revestimiento se asiente.

Si se emplea menos tiempo del necesario el agua se separa del revestimiento. Si el tiempo es demasiado largo, el revestimiento endurece antes de que cubra adecuadamente los patrones de cera.

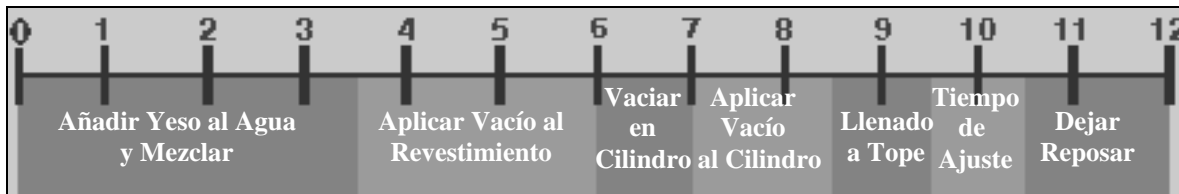


Figura 2.3 Tiempo de Trabajo Útil (min)<sup>[22]</sup>

## 2.5.4. Quemado o Sinterizado

El quemado consiste en el tratamiento térmico que se le aplica al revestimiento para aumentar su resistencia al calor, su refractariedad y hacerlo insoluble al metal fundido. Para ello se sigue un ciclo de sinterizado; las temperaturas y el tiempo al que se somete el revestimiento depende de las dimensiones del cilindro refractario o del fabricante del yeso para el revestimiento.

### 2.5.4.1. Ciclo de quemado

Para lograr el quemado se sigue un ciclo de sinterizado que depende de la cantidad de revestimiento contenido en el cilindro, lo que es función de las dimensiones del mismo.

El ciclo consiste básicamente en aumentar la temperatura gradualmente por lapsos de tiempos establecidos.

#### 2.5.4.1.1. Control de temperatura en el proceso de sinterizado

- Durante el ciclo de quemado debe evitarse abrir la puerta del horno ya que esto genera un descenso brusco de la temperatura. Este descenso acelerado de temperatura tiende a provocar grietas en el revestimiento y además el molde puede agrietarse debido a la contracción del cilindro.
- Las variaciones de temperatura deben programarse con un controlador, para evitar que el revestimiento se agriete.
- El cilindro debe dejarse dentro del horno un tiempo después de alcanzar la temperatura deseada, ésta es la temperatura del horno y no la del revestimiento. El revestimiento



debe mantenerse a la temperatura establecida en cada etapa, por lo menos durante una hora, para permitir que la temperatura del revestimiento se iguale a la temperatura del horno.

- Si es necesario retrasar la fundición, el revestimiento se puede mantener dentro del horno durante más tiempo a la temperatura de colada.
- Si a continuación del ciclo de quemado sigue un lapso de tiempo en el que no se protege el molde en una atmósfera húmeda, éste se agrieta y, al recalentarlo para admitir el metal fundido, las grietas se abren y las piezas aparecen con rebabas y salientes.

#### 2.5.4.1.2. Remoción de la cera

El revestimiento se introduce en el horno con el extremo que muestra la cera en la parte inferior, a la temperatura de 150 °C por el tiempo establecido para esta etapa del ciclo de quemado.

Se debe usar una bandeja recolectora de cera para colocar el revestimiento dentro del horno de manera que permita recolectar la cera derretida, para su posible reutilización.

#### 2.5.4.1.3. Color del revestimiento en la zona de alimentación

Puede detectarse si la acción de quemado está completa, simplemente se observa el color del revestimiento en la zona de alimentación, si en la superficie del revestimiento y alrededor de la abertura de alimentación se aprecian manchas de color gris oscuro y en el agujero de alimentación aparece una llama (Figura 2.4), indican que la acción de quemado es insuficiente. Por el contrario, si el revestimiento adquiere un color claro sin que se aprecie la llama en el agujero del alimentador, es indicativo que el quemado es completo.

Si no se elimina la cera y el residuo de carbón tapa los poros del revestimiento, el aire desplazado y los gases que se forman al entrar el metal fundido en el molde no pueden escapar a través del revestimiento y hacen que éste se agriete o que quede atrapado en la pieza.



Figura. 2.4 Pirolización de la Cera

#### 2.5.4.1.4. Descenso de la temperatura del revestimiento

Una vez que se alcanza la mayor temperatura que se establece en el ciclo de quemado y después de mantenerla durante el tiempo suficiente para asegurar el sinterizado y la pirolización de los residuos de cera, se disminuye gradualmente la temperatura del horno hasta llegar a una temperatura superior a la temperatura de colada establecida en la etapa final del ciclo. Luego de ser sometido el revestimiento al ciclo de sinterizado queda listo para recibir el metal fundido.

A partir del momento en que se extrae el revestimiento del horno y se coloca en el cabezal de la centrífuga, transcurre un intervalo de tiempo durante el cual se producen pérdidas de calor, por lo cual debe retirarse el revestimiento del horno a una temperatura 20 °C mayor a la temperatura establecida de colada.

## 2.6. Gases en los Metales Fundidos

Los gases son universalmente más solubles en metales líquidos que en metales sólidos. Al enfriarse el metal, particularmente en el momento de la solidificación, los gases disueltos tienden a ser expulsados de la solución, formando bolsas de gas. Estas pueden aparecer en la forma de grandes sopladuras, como cavidades de punta de alfiler o como microporosidad, dependiendo de la cantidad de gas presente y de la manera en que solidifica el metal o aleación. Estas bolsas pueden ser, en sus diversas formas, nocivas para las propiedades mecánicas, la impermeabilidad a la presión y el acabado de la superficie de piezas fundidas.

Los gases se disuelven en los metales no como moléculas, ejemplo: H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, sino como elementos, ejemplo: H, C, O. Al solidificarse, los elementos se recombinan para formar gases moleculares y formar bolsas de gas. La Tabla 2.2 presenta una lista de los elementos que se disuelven en algunos de los metales o sus aleaciones y que luego se combinan para formar gases. El hidrógeno es el más común de los elementos, es soluble en todos los metales en mayor o menor cantidad. El gas es bastante soluble a altas temperaturas en la aleación líquida. Al decrecer la temperatura, la solubilidad del gas también decrece hasta que se alcanza la temperatura de solidificación. Aquí ocurre una caída discontinua en la solubilidad, y esta caída es la que cuenta en mayor parte en la porosidad gaseosa de las fundiciones.

Metal	Elementos disueltos	Gases que se desprenden durante la solidificación
Mg	H	H <sub>2</sub>
Al	H	H <sub>2</sub>
Cu	H, C, O, S	SO, SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, CO, CO <sub>2</sub>
Fe	H, O, N, C	H <sub>2</sub> O, CO, CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , H <sub>2</sub>

Tabla 2.2 Elementos que se disuelven en diversos metales y que se desprenden durante la solidificación formando bolsas de gas<sup>[18]</sup>

### 2.6.1. Previsión contra la Absorción de Gases

Los gases son absorbidos en los metales fundidos en:

- El horno, de la atmósfera y de cargas húmedas
- El horno o en las cucharas, de revestimientos mal secados o de herramientas húmedas
- Al pasar a través de aire, desde el horno a la cuchara o desde la cuchara al molde
- El molde, de atmósferas húmedas o de exceso de humedad o de hidrocarburos volátiles en los materiales del molde

Algunas de las precauciones a tomar contra el gas son:

- Fundir bajo escorias o en atmósferas protectoras o en vacío
- Reducir las posibilidades para la absorción del gas manteniendo secos todos los objetos que deban estar en contacto con el metal
- Fundir y colar a temperaturas tan bajas como sea posible para disminuir la solubilidad del gas
- Desnatar, batir o transferir el metal lo menos posible.

## 2.6.2. Eliminación de los Gases

Cuando no es posible impedir la absorción de gases, pueden reducirse los riesgos que representa su disolución eliminando el gas o gases o eliminando o aislando uno o más de los componentes del gas.

### 2.6.2.1. Lingotear y refundir

Este método de eliminación depende del hecho de que los gases son, menos solubles en el metal sólido y frío. Entonces pueden eliminarse los gases por una secuencia de fusión, solidificación y refusión (Figura 2.5). En casos especiales, este método es demasiado costoso, causa desperdicio de tiempo y pérdidas por oxidación como para usarlo en la práctica. Las técnicas comunes para la eliminación de los gases estriban en el hecho de que la cantidad de gas disuelto en un metal fundido depende de la presión de ese gas sobre y alrededor del metal. En el caso de gases biatómicos, tales como H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> o N<sub>2</sub>, la cantidad disuelta a cualquier temperatura en particular puede expresarse por la ecuación<sup>[18]</sup>

$$V = K\sqrt{P}$$

Donde:

$V$ : Volumen del gas biatómico disuelto     $K$ : es una constante     $P$ : Presión del gas contra el metal

Esta ecuación demuestra que, si se elimina completamente el hidrógeno de la atmósfera que hay alrededor de un metal fundido, cualquier gas hidrógeno disuelto tenderá a escapar. Entonces, fundiendo y colando bajo un vacío se tiene un método, aunque costoso, para obtener fundiciones libres de gas.

### 2.6.2.2. Desgasificación al vacío

La desgasificación al vacío constituye un intento para combinar las ventajas de la fusión en el vacío con la economía de la fusión en aire. Aquí el metal se funde en aire y luego se coloca dentro de una cámara evacuada, para efectuar la desgasificación, antes de colar; la colada tiene lugar en atmósfera abierta (Figura 2.5).

### 2.6.2.3. Lavado con gas inerte

Este método es más común para eliminar gases empleando el principio descrito arriba. En este método, el gas inerte se hace pasar a través del metal en forma de burbujas; la presión del gas disuelto, usualmente hidrógeno, dentro de cada burbuja de gas es nula y

cualquier gas disuelto viaja rápidamente hacia la burbuja, en donde se reúne y se "lava" de los baños de metal (Figura 2.5).

Los gases inertes como el argón y otros como el cloro, el nitrógeno, se usan para desgasificar metales, especialmente el aluminio y las aleaciones de magnesio. Los gases se conducen simplemente desde tanques de almacenamiento por medio de tuberías introducidas directamente en los baños de metal.

#### 2.6.2.4. Desgasificador sólido

El desgasificador sólido se emplea como fuente de gas inerte; aquí se mantiene sumergido bajo la superficie del metal un compuesto sólido, hexacloroetano ( $C_2Cl_6$ ), descomponiéndose para producir una acción de lavado (Figura 2.5).

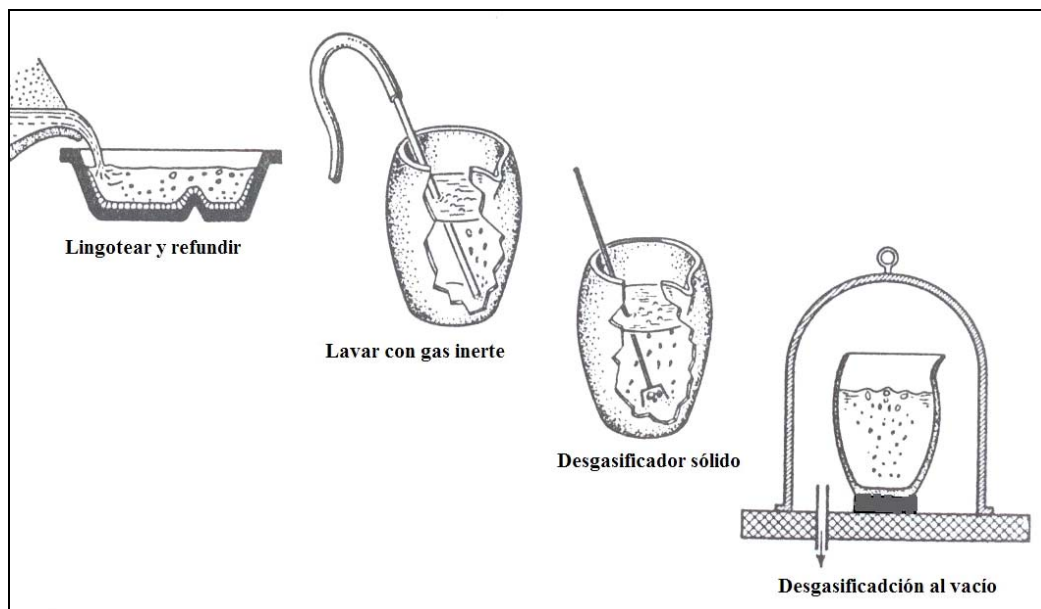


Figura 2.5 Métodos de Desgasificación<sup>[18]</sup>

## 2.7. Defectos de Fundición

Los defectos que aparecen en la pieza ocurren porque alguna etapa del proceso de manufactura no se controla apropiadamente. La fusión, colado, el quemado del molde y la solidificación del metal comprenden varias operaciones intrincadas y el control idóneo es irrealizable; es común que las fundiciones tengan mayor variedad de defectos que los productos que se obtienen por otros métodos de fabricación.

### **2.7.1. Imperfecciones Superficiales**

Las superficies de la pieza son a veces rugosas o ásperas a causa de que la temperatura es superior a la temperatura óptima de colada, debido al mezclado inapropiado, insuficiente vacío y vibrado del revestimiento, presencia de grasa en los moldes de los modelos de cera o en estos últimos.

Los traslapes, las costuras y las piezas incompletas por falta de fluidez resultan de colar el metal por debajo de la temperatura óptima de colada, temperatura del cilindro menor a la temperatura óptima de colada, alimentadores insuficientes o quemado insuficiente del molde de revestimiento. Usualmente, estas imperfecciones ocurren en piezas con secciones relativamente delgadas, en las que se encuentran dos superficies del metal que está llenando el molde y no se fusionan con propiedad; pueden distinguirse por la apariencia limpia y la carencia de revestimiento u otras impurezas que dan motivo a un indeseado acabado de la superficie. Generalmente, estos defectos pueden minimizarse por medio de temperaturas ligeramente mayores a la temperatura de colada o por el uso de alimentadores ahusados que proporcionan una mayor fluidez, aumentando el tiempo de quemado del molde o aumentando la temperatura del cilindro o una combinación de ellos.

### **2.7.2. Alimentación Incompleta**

Los defectos comunes en la pieza resultan directamente del rechupado de solidificación. El rechupado de la pieza se nota de diversas formas. El tipo más común se localiza en forma de cavidades que aparecen en focos calientes no alimentados en la fundición. Cuando la alimentación sea visiblemente inadecuada, se tiene por lo general una debilidad interna que origina alguna imperfección externa; ya sea que la pared se perfora o deforma por hundimiento en el punto más débil o aparecen sopladuras alargadas en la base del cargador, en ángulos internos o a veces en las superficies que corresponden al medio molde superior.

Otro defecto, menos obvio, que resulta de la alimentación imperfecta es el agrietamiento interno en caliente. Las grietas internas en caliente son discontinuidades dispuestas radialmente dentro de la pieza, más comúnmente en las de acero, que pueden ser descubiertas sin destruir la pieza por medio de los rayos X. Las discontinuidades se asemejan a las grietas exteriores, excepto que son radiales en lugar de más o menos paralelas. Las grietas

emanan de un área de menor densidad, dando a la radiografía una apariencia de pulpo. Es usual asociar cualquier forma de grietas y rajaduras en caliente con los esfuerzos de contracción y corregir esta falla considerando medidas que alivien estos esfuerzos. La solución para las grietas internas en caliente es modificar el sistema de alimentación.

### **2.7.3. Porosidad**

#### **2.7.3.1. Porosidad por contracción**

Generalmente aparece en la forma de agujeros en la superficie de la pieza. Al inspeccionar estos agujeros se ven angulares, no redondos, generalmente con una estructura dendrítica interior. La porosidad por contracción es el tipo de porosidad más común y generalmente se encuentra en piezas con:

- Superficies amplias
- Formas que se van incrementando en grosor
- Múltiples ángulos y cambios de sección.

#### **2.7.3.2. Porosidad por gases**

Se manifiesta por poros sobre la superficie y en el interior de la pieza. A diferencia de los poros por porosidad por contracción, éstos son generalmente circulares y lisos. A veces estos poros se concentran en una capa justo debajo de la superficie de la pieza. Son invisibles después de fundir pero aparecen en el pulido. Hay dos razones principales para este tipo de defecto, por una reacción con el revestimiento o por impurezas que se introducen en el metal reciclado.

### **2.7.4. Marcas por Agua**

Son marcas irregulares en la superficie de la pieza que se extienden verticalmente de arriba hacia abajo, según se llena el cilindro de revestimiento, generalmente estas marcas son más pronunciadas en piezas planas.

### **2.7.5. Incrustaciones**

Pueden ser de dos maneras:

- Cuerpos extraños que provengan del exterior; por ejemplo: partículas de revestimiento.

- Inclusiones formadas por reacciones con elementos de la aleación; por ejemplo: óxidos, sulfitos de cobre o plata.



## 3 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### 3.1. Metodología de la Fundición de Precisión

En el proceso de fundición de precisión se sigue la siguiente metodología:

- Cada patrón procede de un molde de aluminio, en el cual se copia el modelo de la pieza, por lo tanto se diseña y se construye dicho molde.
- Se inyecta la cera fundida en el interior del molde de aluminio.
- Se prepara la superficie del modelo de cera, tratando de minimizar huellas o defectos de la superficie.
- Se obtiene el cilindro de cera, mediante la colada en un molde de silicona.
- Se construye el árbol, adhiriendo los modelos al cilindro de cera.
- Se coloca el árbol en la base de goma y ésta a su vez en el cilindro refractario.
- Se prepara la mezcla de yeso-agua en la proporción adecuada para formar el revestimiento.
- Se desairea la mezcla aplicando vacío.
- Se vierte el revestimiento dentro del cilindro refractario que contiene al árbol de cera hasta cubrirlo y se le aplica vacío nuevamente.
- Luego de dejar reposar el revestimiento por el tiempo establecido se introduce en el horno, ya calentado a la temperatura prevista, para que la cera fluya a través del canal, previamente dispuesto. Al abandonar el molde la cera deja una cavidad que corresponde a la forma del modelo.
- El revestimiento se somete a un proceso de sinterizado.
- Una vez sinterizado, se disminuye gradualmente la temperatura del horno que contiene al molde hasta una temperatura ligeramente superior a la establecida para la colada.
- Se extrae el molde del horno y se coloca en la máquina centrífuga.
- Se inicia la centrifugación y simultáneamente se vierte el aluminio fundido en el molde.
- Cuando el aluminio vertido solidifica, se mantiene la centrifugación por el tiempo mínimo requerido de enfriamiento y luego se sumerge en agua. Esto fractura y disuelve el revestimiento, lo cual permite la obtención del árbol de aluminio.

- Se eliminan los canales de alimentación y se procede al acabado final: rectificación de diámetros (si es necesario), tallado de roscas y pulido.

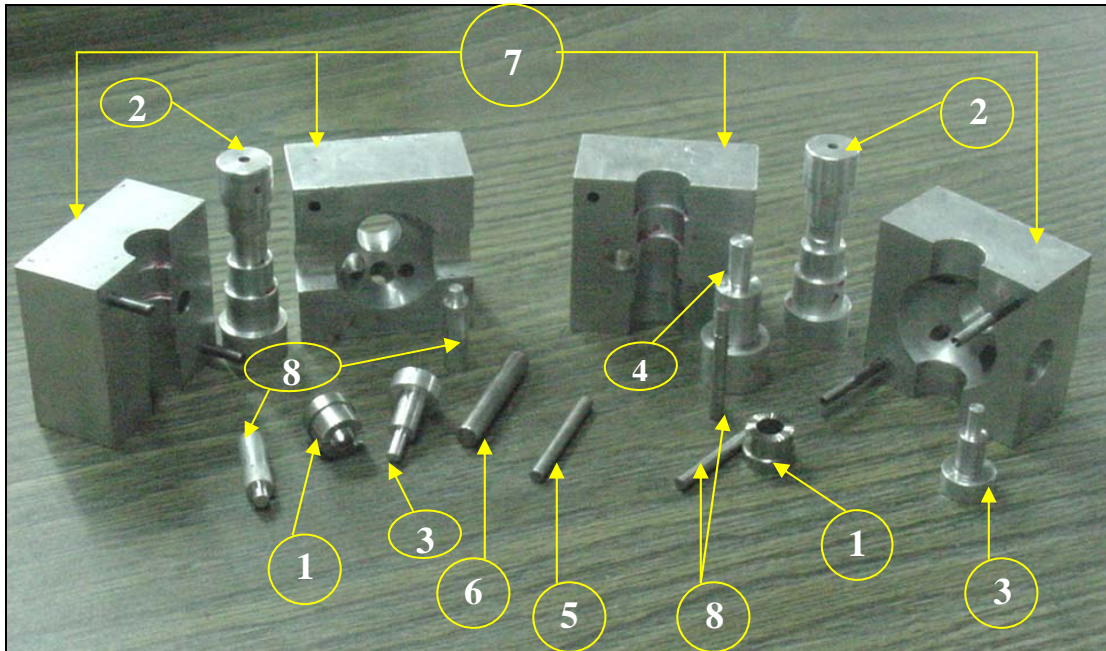
### 3.1.1. Diseño del Molde para los Modelos

A partir de la pieza que se desea fabricar por fundición de precisión, es necesario el diseño del molde para su fabricación, considerando:

1. La contracción lineal que se produce tanto en el metal a fundir (aleación de aluminio A356.0) como en la cera que se utiliza (Castaldo Supercera de color rojo) para la elaboración de los modelos.
2. Al diseño original de la pieza se le realizan ciertas modificaciones, tales como:
  - El ángulo en que debe estar expuesta la corona de estrías, siendo éste de 90° medido con respecto al eje central de la rótula y visto desde la sección transversal.
  - El número de dientes de la corona de estrías de la rótula CS-AR de 32 dientes por una corona de 34 dientes.
  - Algunas dimensiones de la rótula CS-AR original.
  - El diseño original de la rótula CS-AR por un diseño en el que la rótula está dividida en dos partes.

Los materiales con que se fabrican los moldes son: aleación de aluminio 6063 y acero inoxidable 304. Tomando en cuenta la geometría de la pieza es necesario diseñar unos moldes conformados por 17 elementos (Figura 3.1), los cuales se mencionan a continuación:

- Corona de estrías de 34 dientes (2). (Plano 0104)
- Pasador Central (2). (Plano 0105 y 0205)
- Pasador de la corona de estrías (2). (Plano 0102)
- Pasador de llave de transportación (1). (Plano 0203)
- Pasador guía de la cremallera (1). (Plano 0103)
- Pasador del tornillo de fijación punta de bronce (1). (Plano 0108)
- Tapas (4). (Plano 0101, 0201, 0107 y 0207)
- Pasador de tornillo de sujeción de la rótula CS-AR (4). (Plano 0108 y 0206)



1-Corona de estria; 2-Pasador central; 3-Pasador de la corona; 4-Pasador de llave de  
 transportación; 5-Pasador guía de la cremallera; 6-Pasador del tornillo de fijación punta de bronce;  
 7-Tapas; 8-Pasador de tornillo de sujeción de la rótula CS-AR

Figura 3.1 Moldes Permanentes para los Modelos

### 3.1.2. Fabricación de los Modelos de Cera

Con el empleo de una máquina inyectora y los moldes mencionados en la sección 3.1.1, se obtienen los modelos de cera (Figura 3.2 y 3.3).

Para fabricar el modelo de cera es necesario ensamblar el molde con los elementos e inyectar la cera por el orificio provisto para tal fin, se limpia la depresión del bebedero del molde que entra en contacto con la boquilla del inyector.

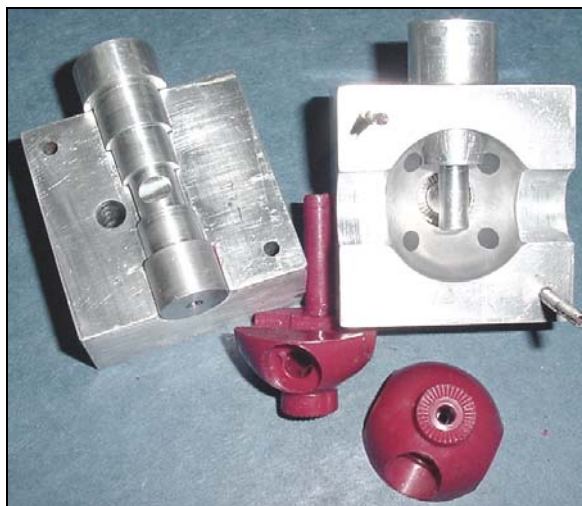


Figura 3.2 Modelo y Molde I

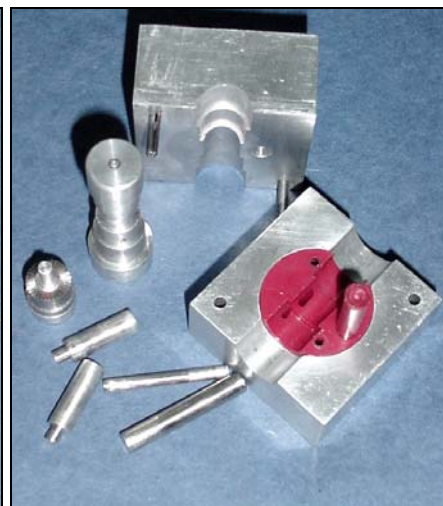


Figura 3.3 Modelo y Molde II

El conjunto, con la apertura del bebedero delante, se presiona contra la boquilla de la inyectora de modo que se acoplen. La cera se inyecta en el molde, presionando el molde sobre la boquilla de la inyectora por un tiempo aproximado de 15 a 20 s, para garantizar el llenado de la cavidad; esto se realiza con la cera a una temperatura de  $85 \pm 5$  °C; Para forzar la entrada de la cera en el molde de aluminio, se utiliza aire a presión. Esta presión debe ser tal que garantice el llenado de cera en el molde, con la menor turbulencia posible. En este caso se usa una presión de  $17 \pm 2$  psi. Después de inyectar la cera, esperar 10 min para permitir el endurecimiento y el enfriamiento de la cera dentro del molde, luego desmontar cada uno de los componentes del molde para extraer por último el modelo de cera.

La cera que se utiliza para hacer los moldes refractarios, tiende a contaminarse fácilmente de partículas. Debe tomarse en cuenta que cualquier rastro de partícula que pueda quedar adherido al patrón de cera, se reproduce en la pieza. Así pues, estas impurezas deben removerse antes de proceder a la inserción de la cera en la base de alimentación.

### 3.1.3. Preparación del Árbol de Cera

Una vez que se obtienen los modelos de cera con la forma establecida en el diseño, se elabora el árbol, en el cual se utiliza un cilindro de cera, conformado por tres anillos para adherir los modelos y que se obtiene colando cera por gravedad en el molde de silicona (Figura 3.4).

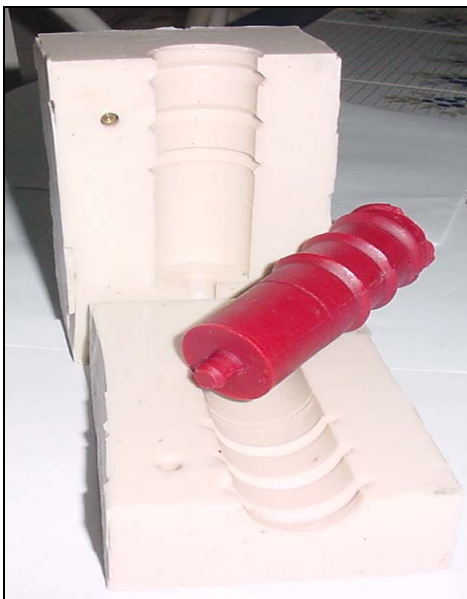


Figura 3.4 Molde de silicona y cilindro de cera



Figura 3.5 Montaje del árbol encajado en la base de goma

Después de tener los patrones de cera, se procede a adherirlos al cilindro por medio de un caudín, colocándolos en forma simétrica alrededor de los anillos previamente dispuestos. Por la geometría de los modelos, se utilizan dos de los tres anillos para evitar la superposición de los modelos en el árbol; para adherir la tercera hilera de modelos se utiliza el espacio restante del cilindro de cera. Luego se encaja el árbol en la base de goma (Figura 3.5) y posteriormente se coloca dentro del cilindro refractario.

Cuando se elige el cilindro refractario debe tenerse en cuenta que, entre la pared interior y el árbol, debe quedar un espacio necesario para asegurar la presencia de una cantidad suficiente de revestimiento que soporte: a) los esfuerzos que se generan durante el quemado de la cera y b) la presión del aluminio fundido provocada por la acción de la fuerza centrífuga.

### 3.1.4. Preparación del Revestimiento

#### 3.1.4.1. Preparación de la mezcla para el revestimiento

El yeso que se utiliza es Satin Cast 20 de los laboratorios Kerr. En este estudio se utilizan 1.550 g de yeso por 620 g de agua, para una proporción 100:40.

Para la preparación del revestimiento, se miden 620 ml de agua y se vierte en un tazón para mezclar, se pesan 1.550 g de yeso y se añade por partes en el agua, mezclando durante 3,5 min (Figura 3.6).

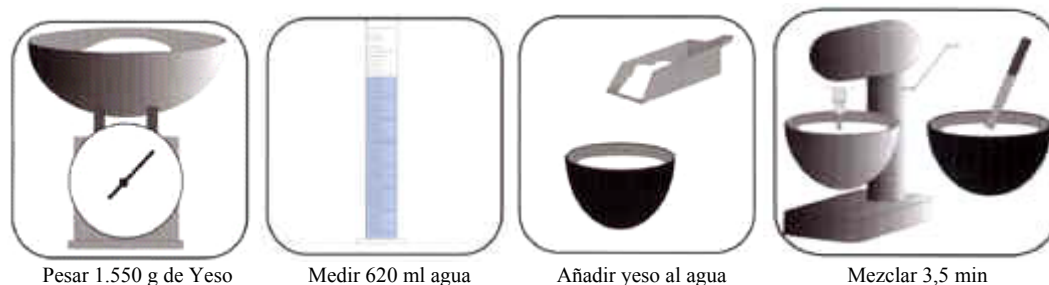


Figura 3.6 Mezclado del Yeso-Agua<sup>[24]</sup>

Para eliminar las burbujas de aire contenidas en la mezcla, se aplica a la cámara que contiene la mezcla 24'' Hg de vacío por 20 s después de hervir; una vez minimizado el contenido de aire en la mezcla se procede a llenar el cilindro refractario. El llenado del cilindro debe efectuarse inclinándolo y con la menor turbulencia posible, el revestimiento debe desplazarse por los lados del cilindro hacia la parte más baja del mismo e ir subiendo lentamente hasta cubrir el árbol de cera, evitando así la formación de burbujas de aire; luego

se coloca el cilindro en la cámara de vacío y se aplica nuevamente 24" Hg de vacío por 1,5 min para eliminar las burbujas de aire contenidas dentro de la mezcla, inmediatamente después se somete el cilindro a vibración para ayudar al revestimiento a que fluya, recubriendo los patrones de cera contenidos en el mismo; se iguala la presión de la cámara a la presión atmosférica para que comprima las burbujas de vapor de agua.. Finalmente se extrae el cilindro de la cámara de vacío y se deja reposar por 2 h (Figura 3.7).



Figura 3.7 Preparación del revestimiento<sup>[24]</sup>

#### 3.1.4.2. Tiempo de fraguado

El tiempo de trabajo útil que se emplea es de 11 min y se distribuye de la siguiente manera:

- 3,5 min para mezclar el revestimiento
- 2,5 min para eliminar las burbujas de aire de la mezcla
- 1,0 min para vaciar el revestimiento en el cilindro hasta un 60 o 70 % del nivel total
- 1,5 min para eliminar las burbujas del cilindro
- 0,5 min para completar el llenado del cilindro hasta la parte superior
- 2,0 min para que el revestimiento se asiente

### 3.1.5. Proceso de Quemado o Sinterizado

#### 3.1.5.1. Ciclo de quemado

Previo al ciclo de quemado se realiza:

- Pre calentamiento del horno a 150 °C.
- Introducción del cilindro en el horno (Figura 3.8).

El ciclo de quemado consiste en aumentar la temperatura desde 150 °C hasta 730 °C y luego descenderla hasta 580 °C, en 4 etapas (Tabla 3.1), de la siguiente manera:



- 1<sup>ra</sup> Etapa: remoción de la cera contenida en el revestimiento por 2 h a 150 °C
- 2<sup>da</sup> Etapa: quemado de residuos de cera por 2 h a 370 °C
- 3<sup>ra</sup> Etapa: quemado de residuos por 3 h a 730 °C
- 4<sup>ta</sup> Etapa: descenso gradual de la temperatura dentro del horno por 1 h a 580 °C



Figura 3.8 Preparación del cilindro para el ciclo de quemado<sup>[24]</sup>

<b>Temperatura (°C)</b>	150	370	730	580
<b>Tiempo (h)</b>	2	2	3	1

Tabla 3.1 Control de Temperatura en el ciclo de quemado.

En caso necesario, el revestimiento se mantiene dentro del horno a la temperatura de 580 °C durante algunas horas sin provocar algún cambio aparente en sus propiedades.

#### 3.1.5.2. Remoción de la cera

El cilindro, con el revestimiento y los patrones de cera en su interior, se introduce en el horno, con el extremo que muestra la cera hacia abajo. A una temperatura de 150 °C por 2 h.

Para recuperar la cera contenida en el cilindro dentro del horno se utiliza una bandeja recolectora con rejilla.

Para manipular el cilindro dentro del horno se utilizan pinzas largas y guantes con recubrimiento de amianto.

#### 3.1.5.3. Color del revestimiento en la zona de alimentación

Se observa el color del revestimiento en la zona de alimentación y se aprecia un color claro sin llama en el agujero del alimentador, indicativo de que se completa el quemado.

#### 3.1.5.4. Descenso de la temperatura del cilindro

Una vez alcanzada la temperatura de 730 °C se mantiene durante 3 h y se extrae el molde de revestimiento del horno, se coloca en otro horno previamente estabilizado a la temperatura de 580 °C y se deja ahí por 1 h para concluir el ciclo de quemado.

### 3.1.6. Colada del Aluminio

En el momento en que transcurren las 2 h de la 3<sup>ra</sup> etapa del ciclo a la temperatura de 730 °C, se introduce en el horno el crisol que contiene al aluminio junto al molde de revestimiento, hasta transcurrir 1 h para finalizar la etapa.

Al finalizar el ciclo de quemado se extrae el crisol del horno para retirar la escoria, desnatar y aplicar desgasificante hexacloroetano; el crisol se introduce de nuevo en el horno por un tiempo de 15 min para que alcance la temperatura de colada del metal de 720 °C.

Finalizado los 15min se retira el molde de revestimiento del horno, se coloca en el cabezal de la centrífuga y se mide la temperatura. Se espera hasta que alcance la temperatura de 560 °C, momento en el cual se vierte el aluminio hasta que se llene el molde y en ese instante se enciende la centrifugadora sin dejar de verter aluminio. Cuando se aprecia que el volumen vaciado es parecido al volumen desechado de aluminio en el cilindro, debido a la acción de la fuerza centrífuga, se detiene la colada, luego se esperan 15 min a que solidifique el aluminio sin detener la centrifugación. Se retira el cilindro del cabezal, se sumerge en agua para disolver el molde y obtener el árbol de aluminio (Figura 3.9).



Figura 3.9 Árbol de Aluminio

## 3.2. Acabado

### 3.2.1. Remoción del Alimentador

Para separar la rótula del árbol de aluminio se corta con una segueta el canal de alimentación que comunica la rótula con el árbol de aluminio.



Para remover el canal de alimentación sobrante de la rótula, se coloca en la fresadora de manera que quede nivelada horizontalmente y que el sobrante del canal de alimentación quede hacia arriba, luego con una fresa cilíndrica de 10 mm de diámetro se mecaniza el sobrante hasta hacer tope con la rótula (Figura 3.10).



Figura 3.10 Remoción del Alimentador

### 3.2.2. Elaboración de Roscas

Se usan tres tipos diferentes de machos para roscar: un macho de 8-32 UNC para los agujeros de los tornillos que unen las dos partes de la rótula, uno de 10-24 UNC para los agujeros de los tonillos que van en las coronas de estrías y otro de 5/16" NC para el agujero del tornillo prisionero punta de bronce.

### 3.2.3. Pulido de la Rótula CS-AR

Se usan varios tipos de lijas de agua que van desde 300 hasta 1.200 granos; una vez terminado el proceso de lijado se procede a pulir la rótula con un paño impregnado de pasta de alúmina lo que le da el acabado final, similar a una superficie espejo.

### 3.3. Ensayos

#### 3.3.1. Cambio Dimensional del Modelo

Con la finalidad de determinar el cambio dimensional, contracción, que ocurre durante el proceso de solidificación de la cera, se miden las dimensiones representativas de los patrones de cera y se comparan con las dimensiones del molde.

Las dimensiones representativas son:

- Diámetro de la corona de estría
- Diámetro de la rótula
- Longitud de la rótula
- Altura de la rótula
- Diámetro del agujero en la rótula para el tornillo de fijación punta de bronce
- Diámetro externo e interno del agujero en la rótula para la llave de transportación

#### 3.3.2. Porosidad

En este estudio se preparan ocho (8) muestras (Figura 3.11), el corte se hace en el plano medio que pasa por el eje de la proyección lateral y perpendicular al agujero central. Luego se embuten las muestras, a fin de facilitar su manipulación.

Para el pulido de las muestras, se pasan por dos lijas de agua, una de 240 granos y otra de 600 granos y luego por un paño con solución de alúmina de  $1,0 \mu\text{m}$ . Por último, en el analizador de imágenes, se examinan las muestras para observar la presencia de poros y posteriormente el analizador de imágenes determina el porcentaje de los mismos.



Figura 3.11 Muestras para estudio de porosidad

### 3.3.3. Microdureza Vickers

Se coloca la pieza a ensayar en el microscopio (Figura 3.26), se enfoca la imagen para establecer la distancia que existe entre la muestra y la lente, se coloca una carga de 200 g y se procede a indentar la muestra, se enfoca de nuevo la imagen pero ahora con referencia a la huella de indentación dejada en la muestra, se miden las diagonales de la huella y se procede al cálculo de la dureza.

### 3.3.4. Torsión

La finalidad de este ensayo es medir el momento torsor máximo que soportan los dientes de la corona, sometiendo a torsión el segmento T anclado a la corona.

El ensayo consiste en fijar la rótula y el segmento T en los cabezales por medio de las mordazas (Figura 3.12), fijar el cabezal móvil, encerrar la balanza sin carga y el contador de vueltas, luego encerrar los diales de los ángulos de manera que el nivel este centrado sin ninguna carga, se gira la probeta en ángulos de  $0,5^\circ$ ; se nivela el brazo por medio del volante que sostiene la balanza (Figura 3.13) y se procede a realizar las mediciones de ángulo y torque hasta que se aprecia que el momento torsor disminuye, el cual representa el torque máximo.

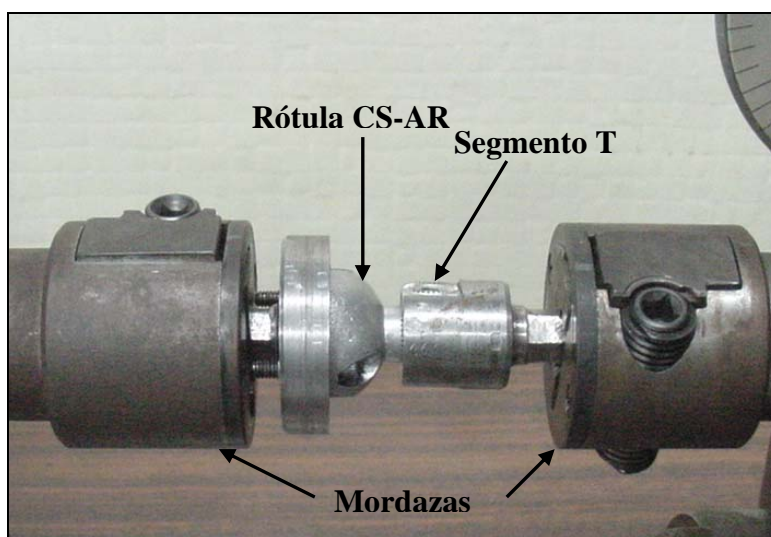


Figura 3.12 Rótula y segmento T en las mordazas de la máquina de torsión

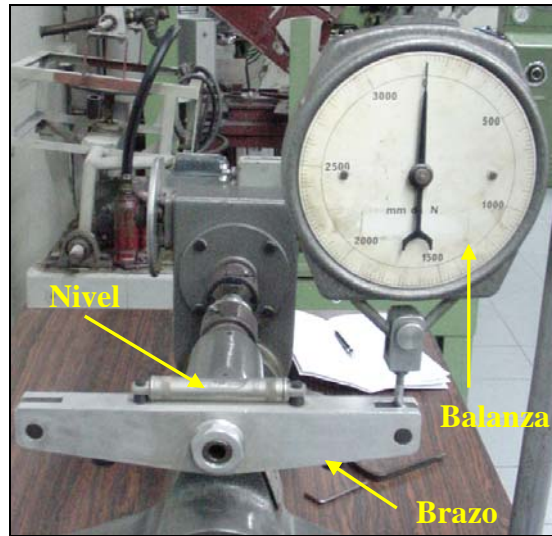


Figura 3.13 Brazo, Nivel y Balanza de torque

### 3.3.5. Montaje “In Vitro”

Este tipo de montaje se realiza para visualizar el Tutor Externo CS-AR con las rótulas que se obtienen por el proceso de fundición de precisión (Figura 3.14).

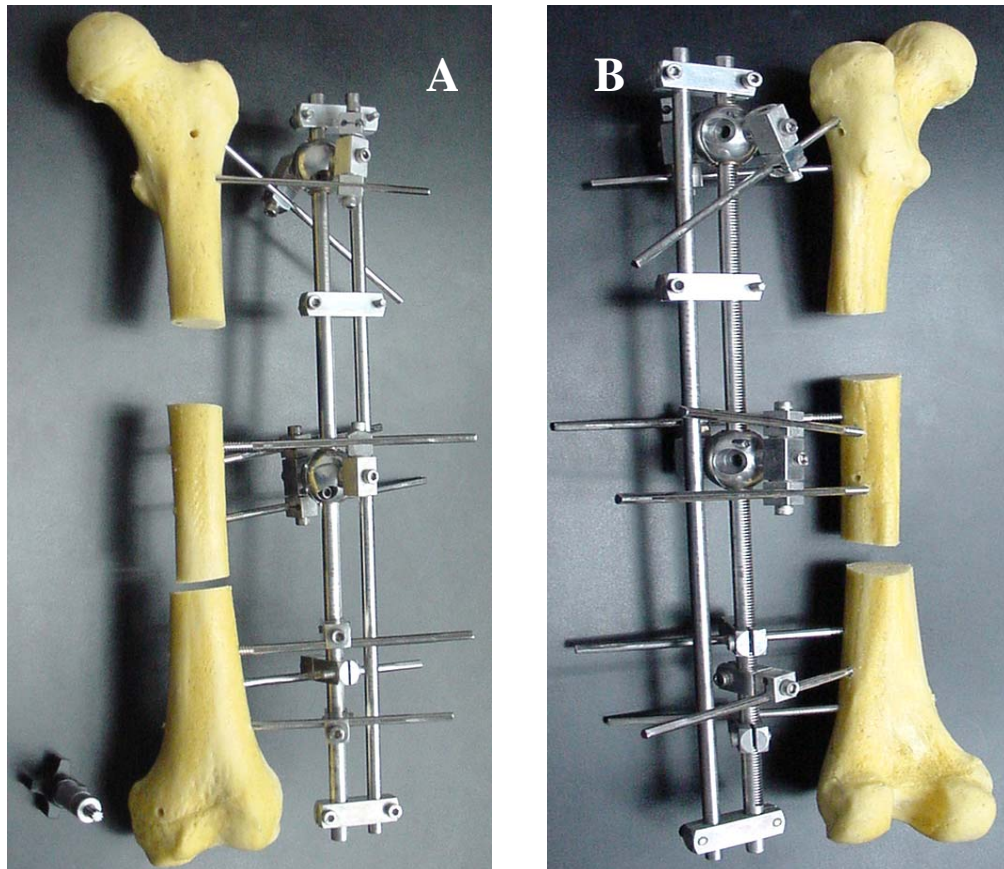


Figura 3.14 Tutor Externo CS-AR con rótulas CS-AR obtenidas por fundición de precisión  
 A.-Vista frontal  
 B.- Vista Posterior

### 3.4. Equipos

#### 3.4.1. Mecanizado del Molde

Para mecanizar el molde para los modelos en cera se utilizan los siguientes equipos:

- **Tornos de puntos**

Se utilizan para cilindrar, a la medida especificada, los pasadores que componen el molde y la corona de estría.

Especificaciones: Marca Meuser &C.O. modelo Mool-34817 (Figura 3.15), marca Student 6 Colchseter England (Figura 3.16).



Figura 3.15 Torno de punto



Figura 3.16 Torno de punto

- **Fresadora CNC**

Se emplea para refrentar y taladrar las tapas del molde, para hacer la cavidad esférica y mecanizar los 34 dientes de la corona de estría.

Especificaciones: Marca Bridgeport, modelo Torq-Cut 22 (Figura 3.17)





Figura 3.17 Fresadora CNC

### 3.4.2. Preparación de los Modelos en Cera y el Molde de Revestimiento

Proceso para obtener los modelos de cera y producir el revestimiento:

- **Inyectora de cera**

Se utiliza para derretir e inyectar la cera dentro del molde y obtener los modelos.

Especificaciones: temperatura de 20 a 130 °C, capacidad 0,439 l, calienta la cera contenida en 45 min (80 °C), presión de aire de 0 a 30 psi (Figura 3.18).

- **Cámara de vacío**

Se emplea en conjunto con la bomba de vacío para extraer las burbujas de aire contenidas en la mezcla de revestimiento

Especificaciones: presiones de vacío hasta 30" Hg, recipientes hasta 8" de diámetro por 7" de alto (Figura 3.19).



Figura 3.18 Inyectora de cera

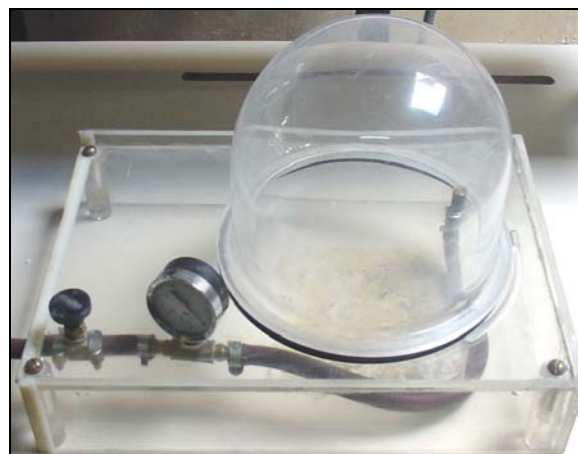


Figura 3.19 Cámara de Vacío

- **Bomba de vacío**

Se utiliza en combinación con la cámara de vacío para extraer las burbujas de aire contenidas en la mezcla de revestimiento

Especificaciones: marca Arthur Thomas C.O., modelo 1.402, potencia de 0,5 hp, 1.725 rpm. (Figura 3.20).

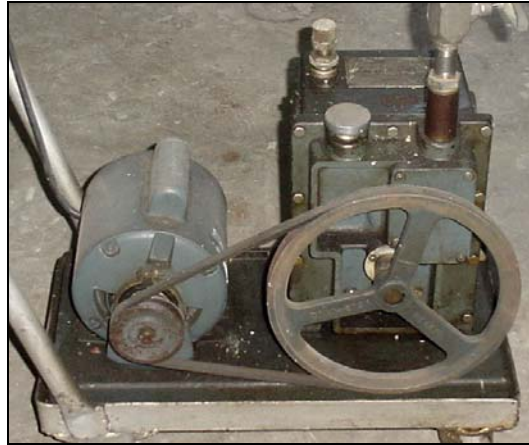


Figura 3.20 Bomba de Vacío

### 3.4.3. Ciclo de Sinterizado y Fundición del Metal

Para el aumento gradual de temperatura del revestimiento y fundir el metal se utilizan hornos de inducción y para realizar la colada se emplea una centrifugadora.

- **Hornos de Inducción Eléctrica**

Para realizar el ciclo de quemado y fundir la aleación de aluminio A356.0

Especificaciones: información no disponible para el horno vertical (Figura 3.21), horno horizontal marca Naber, modelo 41/5, potencia de 12 kW, temperatura 20 a 1.200 °C (Figura 3.22).



Figura 3.21 Horno Cilíndrico Vertical



Figura 3.22 Horno Horizontal

- **Máquina Centrífuga**

Para realizar la colada centrífuga y el enfriamiento antes de sumergir el molde en agua.

Especificaciones: recipientes hasta 4" de diámetro por 6" de alto, 986 r.p.m, potencia de 1,8 hp (Figura 3.23).



Figura 3.23 Máquina Centrífuga



### 3.4.4. Mecanizado de la Pieza

- **Fresadora Mixta**

Empleada para remover el canal de alimentación de la rótula CS-AR (Figura 3.24).

Especificaciones: información no disponible.



Figura 3.24 Fresadora Mixta

### 3.4.5. Preparación de muestras para Análisis Metalográfico

Proceso para cortar, embutir y pulir las muestras para el análisis metalográfico.

- **Corte de Piezas**

Se emplea para realizar el corte en el plano medio que pasa por el eje de la proyección lateral y perpendicular al agujero central (Figura 3.25).

Especificaciones: marca Buehler, modelo Abrasimet 2.



Figura 3.25 Cortadora

- **Embutido de Piezas**

Máquina empleada para embutir las piezas a fin de facilitar la manipulación de las mismas (Figura 3.26).

Especificaciones: marca Buehler, modelo Economet 5.

- **Pulido de Piezas**

Máquina que se utiliza para pulir las muestras con la finalidad de lograr una superficie espejo para facilitar su estudio en el microscopio (Figura 3.27).

Especificaciones: marca Buehler, modelo Simplimet 3.



Figura 3.26 Embutidora



Figura 3.27 Pulidora

### 3.4.6. Microdureza estática Vickers

Microscopio que se utiliza acoplado al sistema de microindentación estática, para determinar la dureza Vickers de la aleación de aluminio después de la fundición (Figura 3.28).

- **Microscopio de Microdureza Estática**

Para visualizar la huella del indentador en la pieza y determinar la dureza Vickers.

Especificaciones: marca Leitz, modelo Metallux



Figura 3.28 Microscopio

### 3.4.7. Torsión

Ensayo para determinar el momento torsor que soportan los dientes de la corona de estría.

- **Máquina de torsión**

Máquina que permite aplicar y medir el momento torsor en los dientes de la corona de estrías (Figura 3.29).

Especificaciones: marca Tecquipment, capacidad nominal 3.000 Nmm.

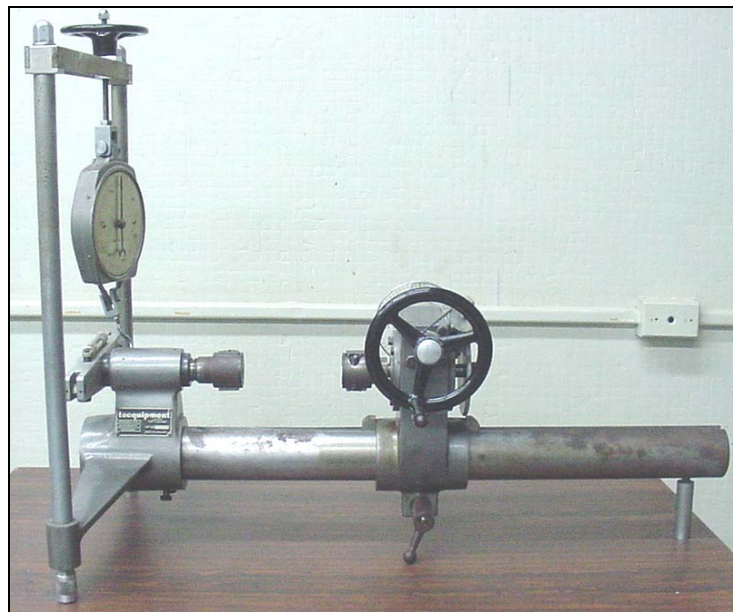


Figura 3.29 Máquina de torsión

## 4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1. Geometría de la Rótula

El rediseño de la rótula CS-AR obtenida en este trabajo por el proceso de fundición de precisión presenta cambios importantes en la geometría y dimensiones que, al compararse con el diseño original se aprecian mejoras en el funcionamiento, principalmente en lo que respecta a:

- La división de la rótula en dos partes facilita el montaje en el tutor externo CS-AR en aquellas situaciones donde el traumatólogo necesita incorporar una rótula adicional luego de existir un montaje terminado. En la situación actual, esto no es posible pues las rótulas actuales son sólidas y solo permiten el montaje introduciéndolas por uno de los extremos del eje, lo cual no es posible pues ya existen otros dispositivos de por medio. Con esta modificación simplemente se desatornilla la rótula CS-AR y se ubica en el lugar a donde se desea desplazar sin necesidad de desmontar el tutor externo CS-AR.
- Se ha creado un asiento central en el agujero central mediante un cambio de diámetro que garantiza el deslizamiento de la barra central y además sirve de asiento a las bocinas de bronce.
- El cambio del número de dientes en la corona permite una mayor estabilidad en el agarre, minimizando el deslizamiento entre la corona de estrías con el segmento T que se ancla en ella.

### 4.2. Registro de Dimensiones Obtenidas

Los valores dimensionales que se generan en los modelos de cera (Tabla 4.2) se comparan con las dimensiones del molde para la obtención del modelo de cera (Tabla 4.1), a fin de determinar la contracción que presentan los modelos de cera.

<b>Molde de Aluminio para Modelos</b>		
<b>Elemento</b>	<b>Dimensión (mm)</b>	
	<b>Molde I</b>	<b>Molde II</b>
Diámetro de la corona de estrías	12,70	12,70
Diámetro de la rótula	31,75	31,70
Longitud de la rótula	28,10	28,00
Altura de la rótula	19,00	18,00
Diámetro de la llave de transportación	12,70	N/A
Diámetro interno de la llave de transportación	6,50	N/A
Diámetro interno del tornillo de fijación punta de bronce	N/A	6,50

*N/A: No Aplica*

Tabla 4.1 Dimensiones Referenciales del Molde de Aluminio

<b>Modelo de Cera</b>		
<b>Elemento</b>	<b>Dimensión (mm)</b>	
	<b>Molde I</b>	<b>Molde II</b>
Diámetro de la corona de estrías	A	A
Diámetro de la rótula	B	B
Longitud de la rótula	C	C
Altura de la rótula	D	D
Diámetro de la llave de transportación	a	N/A
Diámetro interno de la llave de transportación	b	N/A
Diámetro interno del tornillo de fijación punta de bronce	N/A	c

*N/A: No Aplica*

Tabla 4.2 Referencia de las Dimensiones de los Modelos de Cera

Los modelos I (Tabla 4.3) y modelos II (Tabla 4.4) corresponden a los modelos que se obtienen del molde I y molde II respectivamente.

<b>Dimensiones</b>						
<b>Modelo I</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>a</b>	<b>b</b>
<b>1</b>	12,50	31,00	27,75	19,30	12,75	6,45
<b>2</b>	12,50	31,15	27,90	19,20	12,70	6,65
<b>3</b>	12,50	31,10	27,75	19,10	12,70	6,45
<b>4</b>	12,55	31,10	27,80	19,20	12,70	6,40
<b>5</b>	12,50	31,45	27,90	19,00	12,60	6,30
<b>6</b>	12,50	31,30	27,80	19,15	12,60	6,30
<b>7</b>	12,55	31,50	28,00	19,10	12,65	6,35
<b>8</b>	12,50	31,45	28,00	19,15	12,65	6,35
<b>9</b>	12,50	31,45	28,05	19,30	12,65	6,35
<b>10</b>	12,55	31,40	28,10	19,30	12,65	6,35
<b>11</b>	12,50	31,30	27,95	19,20	12,60	6,35
<b>12</b>	12,60	31,50	27,95	19,30	12,70	6,50
<b>13</b>	12,65	31,20	27,85	19,35	12,70	6,35
<b>14</b>	12,65	31,40	28,00	18,50	12,70	6,40
<b>15</b>	12,65	31,40	27,80	19,00	12,70	6,40
<b>16</b>	12,55	31,35	27,90	19,10	12,70	6,35
<b>Promedio (mm)</b>	<b>12,55</b>	<b>31,32</b>	<b>27,91</b>	<b>19,14</b>	<b>12,67</b>	<b>6,39</b>
<b>Contracción (%)</b>	<b>1,18</b>	<b>1,35</b>	<b>0,68</b>	<b>NPC</b>	<b>0,24</b>	<b>1,69</b>
<b>Desv. Estand.</b>	<b>0,06</b>	<b>0,16</b>	<b>0,11</b>	<b>0,20</b>	<b>0,04</b>	<b>0,09</b>

*NPC: No Presenta Contracción*

Tabla 4.3 Dimensiones, Contracción y Desviación Estándar con respecto al Molde I

Para calcular la desviación estándar no se toma en cuenta el valor que no presenta contracción, posiblemente este valor es producto de una sujeción inadecuada del pasador de la corona a la hora de inyectar, al observar la Tabla 4.3 se tiene que la dimensión con mayor porcentaje de contracción es la que corresponde al diámetro interno de la llave de transportación con un valor de 1,69 % y una desviación estándar de 0,09; mientras que la que presenta un menor cambio dimensional es el diámetro de la llave de transportación con un valor de 0,24 % y una desviación estándar de 0,04.

<b>Dimensiones</b>					
<b>Modelo II</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>c</b>
<b>1</b>	12,50	31,05	27,70	18,30	6,35
<b>2</b>	12,50	31,00	27,65	18,15	6,50
<b>3</b>	12,50	31,10	27,60	18,20	6,50
<b>4</b>	12,50	31,00	27,70	18,25	6,50
<b>5</b>	12,55	31,30	27,75	18,30	6,40
<b>6</b>	12,50	31,30	28,00	18,95	6,40
<b>7</b>	12,50	31,30	27,95	18,90	6,40
<b>8</b>	12,50	31,10	27,75	18,10	6,40
<b>9</b>	12,50	31,15	27,70	18,10	6,40
<b>10</b>	12,50	31,10	27,80	18,10	6,40
<b>11</b>	12,50	31,10	27,70	18,10	6,40
<b>12</b>	12,60	31,50	27,95	19,00	6,40
<b>13</b>	12,60	31,30	27,70	18,50	6,40
<b>14</b>	12,60	31,30	27,90	18,40	6,45
<b>15</b>	12,60	31,50	27,70	18,40	6,60
<b>16</b>	12,60	31,40	28,00	18,30	6,40
<b>Promedio (mm)</b>	<b>12,54</b>	<b>31,23</b>	<b>27,79</b>	<b>18,37</b>	<b>6,44</b>
<b>Contracción (%)</b>	<b>1,26</b>	<b>1,48</b>	<b>0,75</b>	<b>NPC</b>	<b>0,92</b>
<b>Desv. Estand.</b>	<b>0,05</b>	<b>0,17</b>	<b>0,13</b>	<b>0,30</b>	<b>0,06</b>

*NPC: No Presenta Contracción*

Tabla 4.4 Dimensiones, Contracción y Desviación Estándar con respecto al Molde II

Al observar la Tabla 4.4 se aprecia que la dimensión que presenta mayor porcentaje de contracción es la que corresponde al diámetro de la rótula CS-AR con un valor del 1,48 % y una desviación estándar de 0,17; mientras que la que presenta un menor cambio dimensional es la longitud de la rótula con un valor de 0,75 % y una desviación estándar de 0,13. Para calcular la desviación estándar no se toma en cuenta el valor que no presenta contracción, posiblemente este valor es producto de una sujeción inadecuada del pasador de la corona a la hora de inyectar

Al considerar los valores de la Tabla 4.3 y los que se presentan en la Tabla 4.4 se tiene que las contracciones registradas son aceptables y no se salen del rango establecido para las contracciones de los modelos que son del 1,5 al 2 %.



### 4.3. Microdureza Vickers

A las cinco (5) muestras que se ensayan se le realizan dos indentaciones (I y II), cada indentación con una carga de 200 g. Lo que da origen a los valores mostrados en la Tabla 4.6.

Muestra		Hv a 200 g (Hv)
1	I	61,00
	II	60,36
2	I	67,81
	II	71,15
3	I	66,00
	II	60,62
4	I	57,63
	II	59,85
5	I	57,63
	II	59,85
<b>Hv Promedio</b>		<b>62,39</b>
<b>Desv Estand.</b>		<b>4,77</b>

Tabla 4.6 Valores de Dureza Vickers

En promedio la dureza Vickers de las muestras es de 62,39 Hv y la desviación estándar de 4,77. Los valores que se obtienen muestran que la dureza de las piezas varían ligeramente entre ellas y además estos valores se ajustan a los suministrados por la American Society for Metals (ASM) para la aleación de aluminio A356.0. Posiblemente esta variación se deba a la falta de tratamiento térmico de la pieza.

### 4.4. Porosidad

Las imágenes que se observan en el analizador son áreas de 82,56 mm<sup>2</sup> y de 110,80 mm<sup>2</sup> y un aumento de 50x, estas dan como resultado los valores que se muestran en la Tabla 4.5:

Muestra		Porosidad del campo (%)	Área del campo de estudio (mm <sup>2</sup> )	Área total (mm <sup>2</sup> )	Porosidad (%)
1	Campo 1	8,33	82,56	4.127,80	20,73
	Campo 2	2,31			
	Campo 3	24,03			
	Campo 4	70,32			
	Campo 5	0,48			
2	Campo 1	30,89	82,56	4.127,80	16,78
	Campo 2	9,82			
	Campo 3	12,83			
	Campo 4	20,12			
	Campo 5	10,24			
3	Campo 1	11,32	82,56	4.127,80	17,19
	Campo 2	35,11			
	Campo 3	8,12			
	Campo 4	21,30			
	Campo 5	10,11			
4	Campo 1	62,72	82,56	4.127,80	28,38
	Campo 2	11,41			
	Campo 3	38,07			
	Campo 4	26,78			
	Campo 5	2,92			
5	Campo 1	40,62	82,56	4.127,80	10,19
	Campo 2	6,66			
	Campo 3	0,58			
	Campo 4	2,96			
	Campo 5	0,11			
6	Campo 1	87,58	82,56	4.127,80	37,12
	Campo 2	46,51			
	Campo 3	51,26			
	Campo 4	0,22			
	Campo 5	0,04			
7	Campo 1	9,04	110,80	7.775,60	7,46
	Campo 2	1,81			
	Campo 3	5,99			
	Campo 4	20,15			
	Campo 5	9,90			
	Campo 6	1,50			
	Campo 7	3,73			
8	Campo 1	18,07	110,80	5.554	24,13
	Campo 2	20,42			
	Campo 3	49,82			
	Campo 4	32,31			

Tabla 4.5 Porosidad

Al observar los valores de la Tabla 4.5 se aprecia que el porcentaje de poros es elevado obteniendo valores hasta un 37,12 %, sin embargo estos valores no afectan de manera significativa las propiedades mecánicas de la pieza.

En las muestras ensayadas se aprecian poros concentrados en sectores específicos de la muestra, posiblemente las concentraciones de poros y los valores que se obtienen en la Tabla 4.5 se deban a que alguna etapa del proceso no fue controlada, que el sistema de alimentación es insuficiente o a una excesiva temperatura del metal en el momento de colar.

#### 4.5. Torsión

La Tabla 4.7 presenta los valores de torque máximo para cada una de las seis (6) muestras ensayadas.

Muestra	Torque Máximo (N mm)
1	80.010
2	77.470
3	60.325
4	76.835
5	59.373
6	64.135
<b>Torque Máximo Promedio (N mm)</b>	<b>69.691</b>

Tabla 4.7 Torque Máximo Promedio

Al observar la tabla 4.7 se tiene que el valor promedio de torque máximo que soportan los dientes de la corona de estrías es de 69.691 N mm.

#### 4.6. Desgasificación

Al momento de desgasificar el operador debe evitar entrar en contacto directo con los gases que se generan al desgasificar, debido a la reacción que experimenta el hexacloroetano a la temperatura del metal líquido, ya que estos gases, básicamente compuestos clorados, emiten gran cantidad de contaminantes que causan irritación a la piel, la nariz, los pulmones y los ojos y además daños en la capa de ozono.

#### 4.7. Cera

Las propiedades de las ceras influyen directamente con la pieza final, la cera verde posee buena flexibilidad pero no es práctica para este trabajo ya que tiene un tiempo de enfriamiento lento y además es óptima para piezas planas; la cera amarilla fluye con facilidad, prácticamente no presenta contracción pero no se ajusta a las necesidades en este trabajo por

ser de flexibilidad reducida y muy costosa; en cambio la cera roja se ajusta a gran variedad de piezas y presenta una flexibilidad media por lo tanto es la cera que cumple con los requerimientos para su utilización y además de su disponibilidad en el taller.

La excesiva reutilización y la combinación inadecuada entre la cera reciclada y la cera roja pueden traer como consecuencia modificaciones en sus propiedades y por ende imperfecciones en la pieza.

#### **4.8. Aleación de Aluminio A356.0**

No reutilizar en exceso la aleación de aluminio que queda para refusión, ya que esto puede traer como consecuencia modificaciones en las propiedades del mismo por el gran contenido de óxidos que generan resultados insatisfactorios en la pieza, sin embargo se sugiere estudiar la cantidad máxima de aluminio reutilizable para combinarse con la aleación de aluminio A356.0.

#### **4.9. Refractario**

El yeso representa el 76,3 % del costo de materia prima, por tanto se presenta la posibilidad de estudiar la factibilidad de su recuperación y reutilización con la finalidad de optimizar los costos de producción.

#### **4.10. Proceso de Fundición de Precisión**

Los equipos que se requieren para realizar este proceso se presentan en una amplia variedad en el mercado nacional e internacional, lo cual facilita su adquisición. Aunque la disponibilidad de la materia prima presenta ciertas restricciones, es conveniente aclarar que existe la posibilidad de prepararla en función de sus elementos constituyentes.

El grado de complejidad de la rótula CS-AR no impide que el metal fundido ocupe el volumen de la cavidad del molde.

La combinación del proceso de fundición de precisión con el proceso de colada centrifuga mejoran el acabado, garantiza el llenado del molde y disminuye la porosidad.

La adquisición de conocimientos con la bibliografía especializada y el desarrollo de destrezas en un reducido lapso de tiempo, posibilita obtener piezas por el proceso de fundición de precisión.

Lo mencionado en los párrafos anteriores permite producir la rótula CS-AR con la calidad establecida (Anexo-Foto 6 y Anexo-Foto 7).

## 5 ANÁLISIS ECONÓMICO

### 5.1. Generalidades

En este capítulo se realiza un análisis económico que permite evaluar y comparar la fabricación de rótulas CS-AR utilizando el proceso de fundición de precisión con el proceso exclusivamente por mecanizado.

Los costos de producción se distribuyen de la siguiente manera:

#### Costos Directos:

Fijos:

- Alquiler del local para taller
- Equipos y herramientas
- Personal técnico de producción

Variables:

- Materia prima.
- Servicios Generales.

#### Costos Indirectos:

Fijos:

- Mobiliario y equipos de Oficina.
- Bienes inmuebles.
- Personal administrativo y ventas.
- Servicios Generales.

Para la determinación de los costos de producción se consideran las siguientes premisas:

- Se establece una producción de 3.000 rótulas CS-AR al año. Sujeto a estudio de oferta y demanda.
- Para el cálculo de salarios se incluye un 40 % adicional al salario básico por concepto de beneficios y deducciones salariales como: prestaciones, vacaciones, utilidades, bono vacacional y retenciones de: Seguro Social Obligatorio (SSO), Ley Política

Habitacional (LPH), Seguro de Paro Forzoso (SPF) e Instituto Nacional de Cooperación Educativa (INCE).

- Se estima un 3 % de la inversión para el cálculo de gastos imprevistos.
- Los ingresos se estiman en un 40 % adicional del costo de producción.
- Para calcular el seguro de los equipos, se estima una prima anual del 5 % sobre el valor de los mismos.
- Los costos estimados corresponden a costos netos de fabricación, por lo que no se incluyen costos de distribución, así como tampoco el impuestos sobre la renta, flujo de caja ni tasas de retribución.
- Para calcular el costo de máquina por hora y determinar el costo por unidad fabricada, se utiliza el costo de depreciación.
- Para finalidad de este trabajo solo se comparan los costos directos de producción ya que los costos indirectos de ambos procesos, mecanizado y fundición de precisión, se compensan
- Para llevar la contabilidad de la empresa se contrata un servicio externo administrativo- contable por un valor de 300.000 Bs/mes
- Los precios se encuentran en Bolívares (Bs).
- En el caso de los materiales y equipos procedentes de importación, las cifras mostradas incluyen los costos de nacionalización tales como: derechos arancelarios, flete aéreo, seguro, agente aduanal, flete terrestre, almacenamiento.
- Para calcular el mantenimiento de los equipos se estima el 5 % de la inversión de los mismos.
- Para obtener el Factor del Valor Actual (FA) se utiliza como referencia la tasa promedio activa (i) de los cinco bancos principales, este valor es 35 %.
- Se estima una dotación de agua de 250 l/persona día.
- El Impuesto Sobre La Renta (I.S.L.R) se calcula en base a un 15 % debido a que la utilidad bruta no excede las dos mil unidades tributarias (2.000 UT).
- Los precios de productos importados, se llevan a bolívares según la tasa oficial cambiaria vigente a la fecha, 1\$ = 1.920 Bs.

- El año hábil es de 220 días y cada jornada es de nueve horas (9 h) efectivas y cinco días (5 días) por semana para la parte de producción y para la administrativa la establecida en la Ley Orgánica del Trabajo (LOT) ocho horas (8 h).
- Para el tiempo de contingencia se establece un 75 % de rendimiento para la producción de rótulas CS-AR.
- La organización de la empresa se establece como se presenta en la Figura 5.1

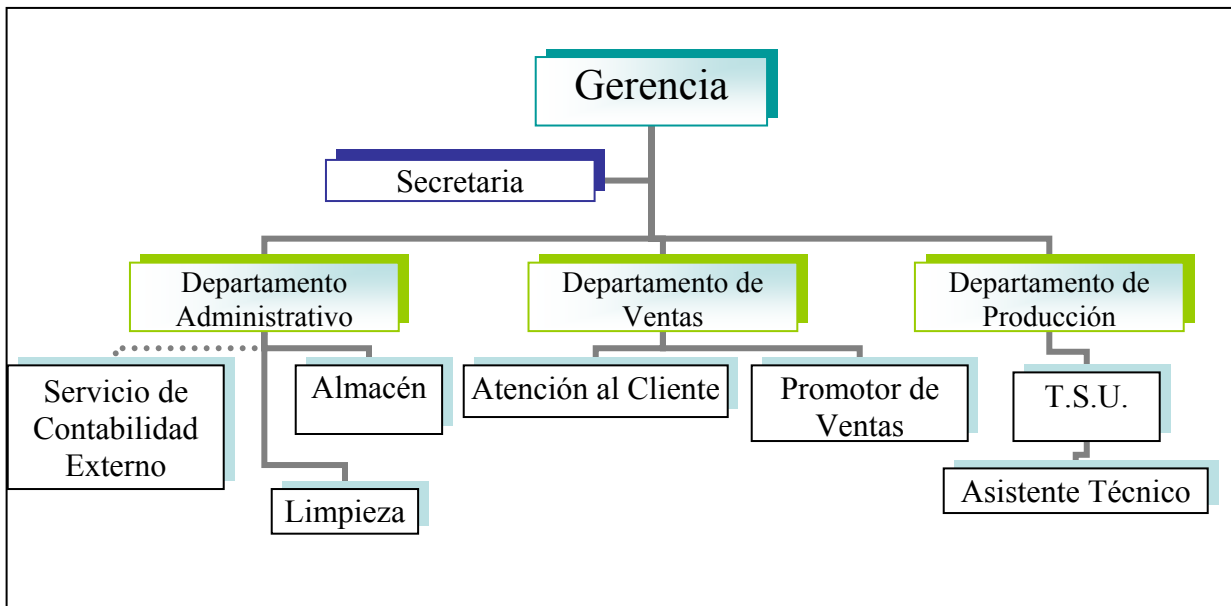


Figura 5.1 Organigrama de la empresa

## 5.2. Inversión

### 5.2.1. Materia prima

Aluminio A356.0, precio suministrado por la Empresa Rualca. (Figura 5.2).



Figura 5.2 Aluminio en mazarotas

$$CAI = P$$



Donde:

*CAI*: Costo de Aluminio (Bs/kg)    *P*: Precio unitario (Bs/kg)

$$CAI = 1.440 \frac{Bs}{kg}$$

Revestimiento Satin Cast 20<sup>[22]</sup> (Figura 5.3).



Figura 5.3 Satin Cast 20 de 100 lb<sup>[22]</sup>

$$CY = P$$

Donde:

*CY*: Costo de Revestimiento (Bs/kg)    *P*: Precio unitario (\$/lb)

$$CY = 105,55 \frac{\$}{100lb} \cdot 2,2 \frac{lb}{kg} \cdot 1.920 \frac{Bs}{\$} = 445.843,2 \frac{Bs}{45kg} = 9.907,62 \frac{Bs}{kg}$$

Cera roja Castaldo (Figura 5.4), precio suministrado por DUWE srl. Presentación en bloques de 2,27 kg.



Figura 5.4 Ceras Castaldo en bloques<sup>[23]</sup>

$$CCR = P$$

Donde:

*CCR*: Costo de Cera Roja (Bs/kg)    *P*: Precio unitario (\$/lb)

$$CCR = 7,72 \frac{\$}{lb} \cdot 2,2 \frac{lb}{kg} \cdot 1.920 \frac{Bs}{kg} = 32.609,3 \frac{Bs}{kg}$$

### 5.2.2. Equipos y Herramientas

#### 5.2.2.1. Equipos

Horno “Cress” (Figura 5.5), Precios proporcionados por EPS, Engineered Product System.



Figura 5.5 Horno tipo mufla marca Cress<sup>[29]</sup>

Modelo	Dimensiones		Temperatura Maxima (°F)	Energía (kW)	Peso (lb)
	Cámara W x L x H (pulg)	Externas W x L x H (pulg)			
C-122412	12 x 24 x 12	26 x 37 x 32	2.250	8,6	500

Tabla 5.1 Especificaciones del horno Cress<sup>[29]</sup>

$$CH = n \cdot P$$

Donde:

CH: Costo De Hornos (Bs)    n: Cantidad de hornos (horno)    P: Precio unitario (\$/horno)

$$CH = 2 \text{ horno} \cdot 5.581,93 \frac{\$}{\text{horno}} \cdot 1.920 \frac{Bs}{\$} = 21.434.611,2 Bs$$

Inyectora de cera<sup>[24]</sup> (Figura 5.6).



Figura 5.6 Inyectora de cera<sup>[24]</sup>

Dimensiones		Temperatura Máxima (°F)	Capacidad (lb)	Voltaje (V)	Peso (lb)
Cámara H x Ø (pulg)	Externas H x Ø (pulg)				
5,5 x 4,6	13 x 8	200	2	110	15,5

Tabla 5.2 Especificaciones de la inyectora<sup>[24]</sup>

$$CI = n \cdot P$$

Donde:

CI: Costo de Inyectora (Bs)    n: Cantidad de inyectoras (inyectora)    P: Precio unitario(\$/inyectora)

$$CI = 1 \text{ inyectora} \cdot 390,5 \frac{\$}{\text{inyectora}} \cdot 1.920 \frac{Bs}{\$} = 749.711,8 \text{ Bs}$$

Maquina Lijadora

$$CML = n \cdot P$$

Donde:

CML: Costo de Máquina Lijadora (Bs)    n: Cantidad de Máquinas (máquina)    P: Precio unitario (\$/máquina)

$$CSV = 1 \text{ máquina} \cdot 576,5 \frac{\$}{\text{máquina}} \cdot 1.920 \frac{Bs}{\$} = 1.106.880 \text{ Bs}$$

Sistema de vacío<sup>[24]</sup> (Figura 5.7)



Figura 5.7 Máquina de Vacío<sup>[24]</sup>

Dimensiones		Aire Desplazado (pie <sup>3</sup> /min)	Voltaje (V)	Presiones de Vacío (” Hg)	Peso (lb)
Campana H x Ø (pulg)	Externas W x L (pulg)				
8,5 x 8,25	10,5 x 10,5	4	110	27-29	4

Tabla 5.3 Especificaciones de la Máquina de Vacío<sup>[24]</sup>

$$CSV = n \cdot P$$

Donde:

CSV: Costo de Sistema de Vacío (Bs)    n: Cantidad de Máquinas (máquina)    P: Precio unitario (\$/máquina)

$$CSV = 1 \text{ máquina} \cdot 1038 \frac{\$}{\text{máquina}} \cdot 1.920 \frac{Bs}{\$} = 1.992.857,6 \text{ Bs}$$

Máquina centrífuga (Figura 3.21), construida en el taller del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales de la U.C.V.

$$CMC = n \cdot P + IVA$$

Donde:

CMC: Costo de Máquina Centrífuga (Bs)    n: Cantidad de Máquinas (centrífuga)  
 P: Precio unitario (\$/centrífuga)    IVA: Impuesto al Valor Agregado (Bs)

$$CMC = 1 \text{ centrífuga} \cdot 1.630.000 \frac{Bs}{\text{centrífuga}} + IVA = 1.810.000 \text{ Bs}$$

Mezcladora de Yeso-Agua<sup>[32]</sup> (Figura 5.8)



Figura 5.8 Mezcladora Rosenthal<sup>[32]</sup>

$$CM = n \cdot P$$

Donde:

*CM*: Costo de Mezcladora (Bs)    *n*: Cantidad de mezcladoras (mezcladora)    *P*: Precio unitario (\$/mezcladora)

$$CM = 1 \text{ mezcladora} \cdot 965 \frac{\$}{\text{mezcladora}} \cdot 1.920 \frac{Bs}{\$} = 1.852.800 \text{ Bs}$$

Balanza<sup>[24]</sup> (Figura 5.9).



Figura 5.9 Balanza<sup>[24]</sup>

$$CB = n \cdot P$$

Donde:

*CB*: Costo de Balanza (Bs)    *n*: Cantidad de Balanzas (balanza)    *P*: Precio unitario (\$/balanza)

$$CB = 1 \text{ balanza} \cdot 60,5 \frac{\$}{\text{balanza}} \cdot 1.920 \frac{Bs}{\$} = 116.160 \text{ Bs}$$

Cilindro refractario<sup>[32]</sup> (Figura 5.10).



Figura 5.10 Cilindros Refractarios<sup>[24]</sup>

$$CCR = n \cdot PA$$

Donde:

CCR: Costo de Cilindro Refractario (Bs)     $n$ : Cantidad de Cilindros (cilindro)     $P$ : Precio unitario (\$/cilindro)

$$CCR = 2 \text{ cilindro} \cdot 43,5 \frac{\$}{\text{cilindro}} \cdot 1.920 \frac{Bs}{\$} = 167.040 Bs$$

Base de goma para cilindro<sup>[32]</sup> (Figura 5.11)

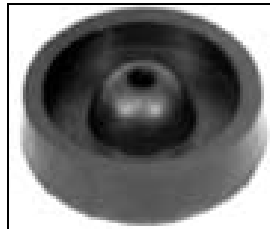


Figura 5.11 Base de Goma<sup>[32]</sup>

$$CGC = n \cdot P$$

Donde:

CGC: Costo de Base de Goma para Cilindro (Bs)     $n$ : Cantidad de bases (base)     $P$ : Precio unitario (\$/base)

$$CGC = 4 \text{ base} \cdot 3,55 \frac{\$}{\text{base}} \cdot 1.920 \frac{Bs}{\$} = 13.593,6 Bs$$

Crisol de grafito A.C.F. 6 (Figura 5.12), precio suministrado por SUMIGAR, C:A.



Figura 5.12 Crisol de Grafito<sup>[24]</sup>

$$CC = n \cdot P + IVA$$

Donde:

CC: Costo de Crisol (Bs)      *n*: Cantidad de Crisoles (crisol)  
*P*: Precio unitario (Bs/crisol)      IVA: Impuesto al Valor Agregado (Bs)

$$CC = 4 \text{ crisol} \cdot 60.000 \frac{\text{Bs}}{\text{crisol}} + IVA = 139.200 \text{ Bs}$$

Cautín con puntas intercambiables<sup>[24]</sup> (Figura 5.13)

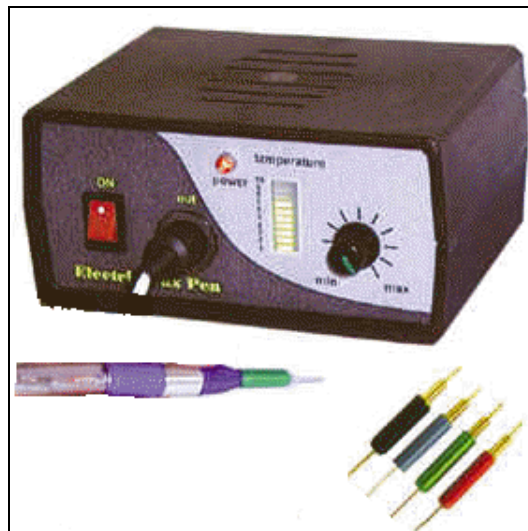


Figura 5.13 Cautín con puntas intercambiables<sup>[24]</sup>

$$CCS = n \cdot P$$

Donde:

CCS: Costo de Cautín para Soldar (Bs)      *n*: Cantidad de Cautines (cautín)      *P*: Precio unitario (\$/cautín)

$$CCS = 1 \text{cautín} \cdot 268,5 \frac{\$}{\text{cautín}} \cdot 1.920 \frac{Bs}{\$} = 515.503,33 Bs$$

### 5.2.2.2. Herramientas

Pinzas para manipular el crisol y el cilindro, precio suministrado por Arajoy

$$CP = n \cdot P$$

Donde:

$CP$ : Costo de Pinza (Bs)       $n$ : Cantidad de Pinzas (pinza)       $P$ : Precio unitario (\$/pinza)

$$CP = 2 \text{ pinzas} \cdot 110,75 \frac{\$}{\text{pinzas}} \cdot 1.920 \frac{Bs}{\$} = 425.309,42 Bs$$

Vara de grafito<sup>[24]</sup>

$$CVG = n \cdot P$$

Donde:

$CVG$ : Costo de Vara de Grafito (Bs)       $n$ : Cantidad de Varas (vara)       $P$ : Precio unitario (\$/vara)

$$CVG = 2 \text{ var } a \cdot 5,25 \frac{\$}{\text{var } a} \cdot 1.920 \frac{Bs}{\$} = 20.160 Bs$$

Herramienta para trabajar la cera<sup>[24]</sup> (Conjunto de 6 piezas) (Figura 5.14)

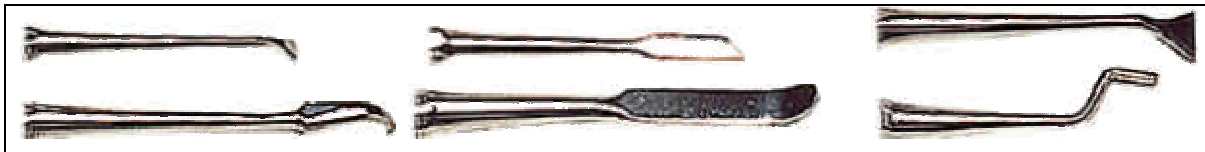


Figura 5.14 Set de 6 piezas para modelar<sup>[24]</sup>

$$CHC = n \cdot P$$

Donde:

$CHC$ : Costo de Herramienta para Ceras (Bs)       $n$ : Cantidad de Herramientas (conjunto)       $P$ : Precio unitario (\$/conjunto)

$$CHC = 1 \text{conjunto} \cdot 55,95 \frac{\$}{\text{conjunto}} \cdot 1.920 \frac{Bs}{\$} = 107.424 Bs$$

### 5.2.2.3. Equipo de Seguridad

Protector de brazos, precio proporcionado por SUMIGAR C.A



$$CPB = n \cdot P + IVA$$

Donde:

*CPA*: Costo Protector de Antebrazos (Bs)    *n*: Cantidad de Protectores (protector)

*P*: Precio por par (Bs/protector)    *IVA*: Impuesto al Valor Agregado (Bs)

$$CPB = 2 \text{ protector} \cdot 23.000 \frac{Bs}{\text{protector}} + IVA = 53.360 Bs$$

Cubre botas en rayón aluminizado Gentex 1019, precio proporcionado por Proseinca.

$$CCB = n \cdot P + IVA$$

Donde:

*CCB*: Costo Cubre Botas (Bs)    *n*: Cantidad de Protectores (protector)

*P*: Precio por par (Bs/protector)    *IVA*: Impuesto al Valor Agregado (Bs)

$$CCB = 2 \text{ protector} \cdot 120.000 \frac{Bs}{\text{protector}} + IVA = 278.400 Bs$$

Capucha tipo ninja en rayón aluminizado Gentex 1019, precio proporcionado por Proseinca.

$$CCN = n \cdot P + IVA$$

Donde:

*CCN*: Costo de Capucha Ninja (Bs)    *n*: Cantidad de Capuchas (capucha)

*P*: Precio unitario (Bs/protector)    *IVA*: Impuesto al Valor Agregado (Bs)

$$CCN = 2 \text{ capucha} \cdot 110.000 \frac{Bs}{\text{capucha}} + IVA = 255.200 Bs$$

Delantal, precio proporcionado por SUMIGAR C.A.

$$CD = n \cdot P + IVA$$

Donde:

*CD*: Costo de Delantal (Bs)    *N*: Cantidad de Delantales (delantal)

*P*: Precio unitario (Bs/delantal)    *IVA*: Impuesto al Valor Agregado (Bs)

$$CD = 2 \text{ delantal} \cdot 31.000 \frac{Bs}{\text{delantal}} + IVA = 71.920 Bs$$

Guantes aluminizados en kevlar 14”, precio suministrado por Proseinca.

$$CG = n \cdot P + IVA$$

Donde:

CG: Costo de Guantes (Bs)                      n: Cantidad de Guantes (par de guantes)

P: Precio por par (Bs/par de guantes)    IVA: Impuesto al Valor Agregado (Bs)

$$CG = 2 \text{ par de guantes} \cdot 150.000 \frac{Bs}{\text{par de guantes}} + IVA = 348.000 Bs$$

#### 5.2.2.4. Molde

El costo del molde para los modelos, se estima por el tiempo empleado para mecanizar cada uno de los elementos de los moldes (Tabla 5.4).

$$CMM = n \cdot P$$

Donde:

CMM: Costo de Moldes de Modelos (Bs)                      n: Tiempo de Mecanizado (h)                      P: Precio unitario (Bs/h)

Elemento	Cantidad	Tiempo de Mecanizado (h)	
Corona de estría	2	3,8	4
Pasador de Corona de Estría	2	1,5	1,5
Pasador de Llave de Transportación	1	0,75	1
Pasador Guía de la Cremallera	1	1	1
Pasador Tornillo de Fijación Punta de Bronce	1	1	1
Pasador de Tornillo de Sujeción de la Rótula CS-AR	4	1,42	1,5
Pasador Central	2	3	3
Tapas	4	3,43	3,5
<b>Total de Horas Mecanizadas (h)</b>			<b>16,5</b>

Tabla 5.4 Tiempo de Mecanizado de los Moldes

$$CMM = 16,5 h \cdot 50.000 \frac{Bs}{h} = 825.000 Bs$$

### 5.2.3. Mobiliario

#### 5.2.3.1. Mobiliario del Taller:

- Mesones

Mesón de pared con tope de formica LVP-760 (Figura 5.15), dimensiones: 300 cm largo, 93 cm alto, 70 cm ancho, precio suministrado por La Vasconia.

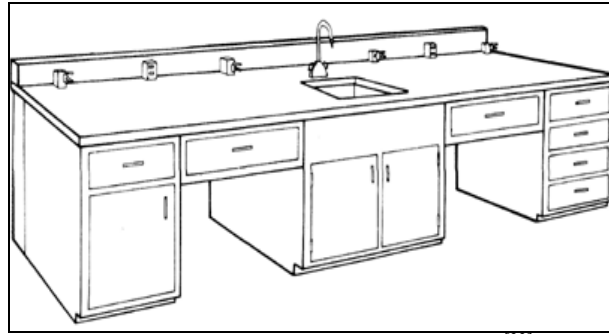


Figura 5.15 Mesón de Pared LVP-760<sup>[33]</sup>

$$CMT_{LVP-760} = 3.550.923Bs + IVA = 4.119.070,68Bs$$

Donde:

$CMT_{LVP-760}$ : Costo de Mesón para Taller (Bs)     $IVA$ : Impuesto al Valor Agregado (Bs)

Mesón de pared con tope de formica lvp-810 (Figura 5.16), dimensiones: 305 cm largo, 93 cm alto, 70 cm ancho, precio suministrado por La Vasconia.

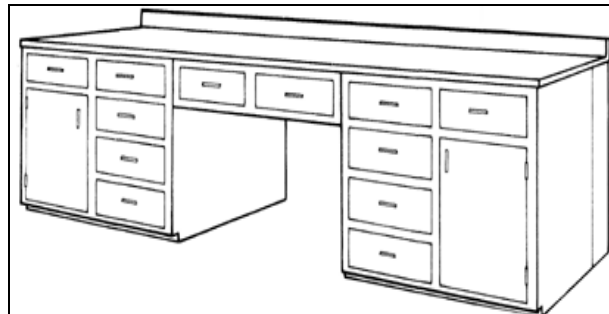


Figura 5.16 Mesón de Pared LVP-810<sup>[33]</sup>

$$CMT_{LVP-810} = 2.282.865Bs + IVA = 2.648.123,4Bs$$

Donde:

$CMT_{LVP-810}$ : Costo de Mesón para Taller (Bs)     $IVA$ : Impuesto al Valor Agregado (Bs)

Mesa modelo MB-V-76 (Figura 5.17), dimensiones: 75 cm largo, 75 cm alto, 75 cm ancho, precio suministrado por La Vasconia.



Figura 5.17 Mesa MB-V-76<sup>[33]</sup>

$$CMT_{MB-V-76} = 825.455Bs + IVA = 957.527,8Bs$$

Donde:

$CMT_{MB-V-76}$ : Costo de Mesón para Taller (Bs)     $IVA$ : Impuesto al Valor Agregado (Bs)

Mesón central LVC-480, (Figura 5.18) de 240 cm de largo, 120 cm de ancho, 93 cm de alto. Precio suministrado por La Vasconia.

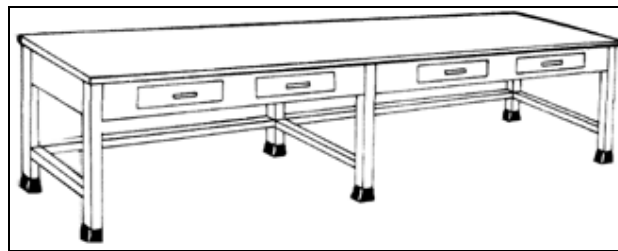


Figura 5.18 Mesón LVC-480<sup>[33]</sup>

$$CMT_{LVC-480} = 755.995Bs + IVA = 876.954,2Bs$$

Donde:

$CMT_{LVC-480}$ : Costo de Mesón para Taller (Bs)     $IVA$ : Impuesto al Valor Agregado (Bs)

- Sillas

$$CST = n \cdot P + IVA$$

Donde:

$CST$ : Costo de sillas para Taller (Bs)     $P$ : Precio Unitario (Bs/silla)

$IVA$ : Impuesto Valor Agregado (Bs)     $n$ : Número de sillas (silla)

$$CST = 2silla \cdot 60.000 \frac{Bs}{silla} + IVA = 139.200Bs$$

- Vitrina

Vitrinas de piso V-VGC-12-4 (Figura 5.19), de 120 cm de ancho, 40 cm de profundo, 210 cm de alto, precio suministrado por La Vasconia.

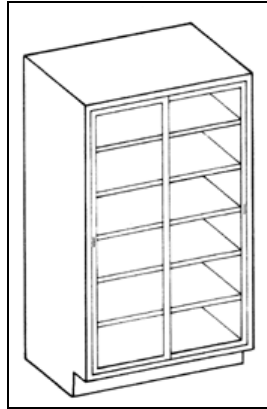


Figura 5.19 Vitrina V-VGC-12-4<sup>[33]</sup>

$$CMT_{V-VGC-12-4} = 528.825Bs + IVA = 613.437Bs$$

Donde:

$CMT_{V-VGC-12-4}$ : Costo de Vitrina para Taller (Bs)     $IVA$ : Impuesto al Valor Agregado (Bs)

- Estante

Estante metálico tipo esqueleto, dimensiones 200 cm de alto, 90 cm de ancho, 45 cm de profundo.

$$CET = n \cdot P + IVA$$

Donde:

$CET$ : Costo de Estante para Taller (Bs)     $P$ : Precio Unitario (Bs/estante)

$IVA$ : Impuesto Valor Agregado (Bs)     $n$ : Número de Estantes (estante)

$$CET = 3 \text{ es tan te} \cdot 50.000 \frac{Bs}{\text{es tan te}} + IVA = 174.000 Bs$$

### 5.2.3.2. Mobiliario de Oficina

- Escritorios

$$CEO = n \cdot P + IVA$$

Donde:

*CEO*: Costo de Escritorio de Oficina (Bs)    *P*: Precio Unitario (Bs/escritorio)  
*IVA*: Impuesto Valor Agregado (Bs)        *n*: Número de Escritorios (escritorio)

$$CEO = 4_{escritorio} \cdot 200.000 \frac{Bs}{escritorio} + IVA = 928.000Bs$$

- Computadoras

$$CCO = n \cdot P + IVA$$

Donde:

*CCO*: Costo de Computadoras (Bs)        *P*: Precio Unitario (Bs/pc)  
*IVA*: Impuesto Valor Agregado (Bs)        *n*: Número de Computadoras (pc)

$$CCO = 4_{pc} \cdot 1.500.000 \frac{Bs}{pc} + IVA = 6.960.000Bs$$

- Sillas

$$CS = n \cdot P + IVA$$

Donde:

*CS*: Costo de sillas (Bs)                    *P*: Precio Unitario (Bs/silla)  
*IVA*: Impuesto Valor Agregado (Bs)        *n*: Número de sillas (silla)

$$CS = 6_{silla} \cdot 60.000 \frac{Bs}{silla} + IVA = 417.600Bs$$

- Archivadores

$$CAO = n \cdot P + IVA$$

Donde:

*CAO*: Costo de Archivador de Oficina (Bs)    *P*: Precio Unitario (Bs/archivador)  
*IVA*: Impuesto Valor Agregado (Bs)        *n*: Número de Archivadores (archivador)

$$CAO = 4_{archivador} \cdot 100.000 \frac{Bs}{archivador} + IVA = 464.000Bs$$

### 5.2.4. Inversión en Equipos

Inversión			
Equipo	Costo (Bs)	Equipo	Costo (Bs)
Hornos	21.434.611,20	Herramienta de modelar	107.424,00
Lijadora	1.106.880,00	Inyectora de cera	749.711,80
Sistema de vacío	1.992.857,60	Molde	825.000,00
Máquina centrífuga	1.810.000,00	Cilindro refractario	167.040,00
Mezcladora	1.852.800,00	Bases de gomas para cilindros	13.593,60
Mobiliario de taller	8.702.858,80	Crisol	139.200,00
Balanza	116.160,00	Vara de grafito	20.160,00
Cautín	515.503,30	Equipos de seguridad	1.006.880,00
Pinzas	425.309,40	Mobiliario de oficina	8.769.600,00
<b>Costo Total de Inversión en Equipo (Bs)</b>			
49.755.589,70			

Tabla 5.5 Inversión en Equipos

$$CTIE = 49.755.589,70Bs$$

Donde:

*CTIE*: Costo Total de Inversión en Equipos (Bs)

### 5.2.5 Capital de Trabajo

El costo de capital de trabajo se estima para los dos primeros meses, tomando en cuenta la materia prima en existencia, la mano de obra directa e indirecta y los gastos de alquiler. Por lo tanto el Capital de trabajo es:

$$CAPT = 14.155.118,86Bs$$

Donde:

*CAPT*: Costo de Capital de Trabajo (Bs)

### 5.2.6. Inversión

$$II = CTIE + CAPT$$

Donde:

*II*: Gasto en Inversión Inicial (Bs)

*CTIE*: Costo Total de Inversión en Equipos (Bs)

*CAPT*: Costo de Capital de Trabajo (Bs)

$$II = 49.755.589,70Bs + 14.155.118,86Bs = 63.910.708,56Bs$$

### 5.3. Costo Directo

Costo que se relaciona con la producción y que se le hace un seguimiento de manera económicamente factible. Estos a su vez se dividen en costos directos fijos y variables.

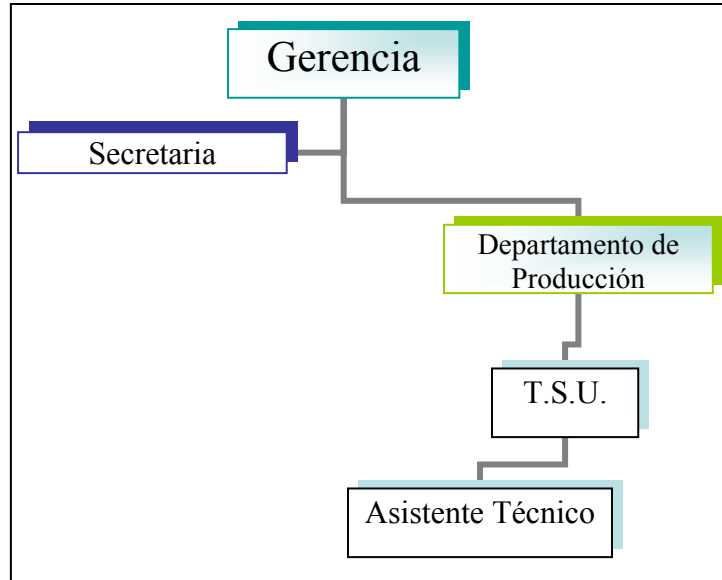


Figura 5.20 Organigrama parcial de la empresa (Departamento de Producción)

#### 5.3.1. Materia prima

Materia prima	Precio Unitario (Bs/kg)	Cantidad (kg/día)	Costo Anual (Bs/año)
Cera	32.609,30	0,268	1.922.644,33
Revestimiento	9.907,62	3,100	6.756.996,84
Aluminio	1.440,00	0,540	171.072,00
<b>Costo Total de Materia Prima (Bs/año)</b>			<b>8.850.713,17</b>

Tabla 5.6 Costo Anual de Materia Prima

$$CMPA = 8.850.713,17 \frac{Bs}{año}$$

Donde:

CMPA: Costo de Materia Prima Anual (Bs/año)



### 5.3.2. Depreciación

$$CTD = \sum \frac{\text{Costo de Equipos}}{\text{Vida Útil}}$$

Equipos	Costo (Bs)	Vida Útil (años)	Depreciación (Bs/año)
Hornos	21.434.611,20	15	1.428.974,08
Lijadora	1.106.880,00	15	73.792,00
Sistema de Vacío	1.992.857,60	15	132.857,17
Máquina Centrífuga	1.810.000,00	15	120.666,67
Mezcladora	1.852.800,00	15	123.520,00
Mobiliario de Taller	8.702.858,80	8	1.087.857,35
Balanza	116.160,00	5	23.232,00
Cautín	515.503,30	5	103.100,66
Pinzas	425.309,40	5	85.061,88
Herramienta para Modelar	107.424,00	5	21.484,80
Inyectora de Cera	749.711,80	5	149.942,36
Molde	825.000,00	5	165.000,00
Cilindro Refractario	167.040,00	2	83.520,00
Base de Gomas para Cilindro	13.593,60	2	6.796,80
Crisol	139.200,00	2	69.600,00
Vara de Grafito	20.160,00	2	10.080,00
Equipo de Seguridad	1.006.880,00	2	503.440,00
<b>Total de Costos de Depreciación (Bs/año)</b>			<b>4.188.925,77</b>

Tabla 5.7 Depreciación

$$CTD = 4.188.925,77 \frac{\text{Bs}}{\text{año}}$$

Donde:

CTD: Costo Total de Depreciación (Bs/año)

### 5.3.3. Nómina del Personal de Producción

Personal de Producción	Cantidad	Salario (Bs)	Meses	Beneficio (%)	Costo Anual (Bs/año)
Técnico Superior Universitario	1	550.000	12	40	9.240.000
Asistente Técnico	1	330.000	12	0	5.544.000
<b>Costo Total Anual</b>					<b>14.784.000</b>

Tabla 5.8 Costo Total Anual de Personal de Producción

$$CNPP = 14.784.000 \frac{Bs}{año}$$

Donde:

*CNPP*: Costo Nómina de Personal de Producción (Bs/año)

### 5.3.4. Servicios Generales

#### 5.3.4.1. Consumo eléctrico

Consumo eléctrico promedio (Tabla 5.9) tomando en cuenta que la C.A., Electricidad de Caracas para servicio general 1, tarifa 4, publicada en Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 37.415 de fecha 03/04/2002, el precio del kWh es de 62,032 Bs/kWh

Equipo	Potencia promedio (kW)	Tiempo de Uso (h)	Consumo (kWh/día)
Horno	17,2	9	154,8
Inyectora	1	9	9
Iluminación	3	9	27
Otros	1	2	2
<b>Consumo Eléctrico(kWh/día)</b>			<b>192,8</b>

Tabla 5.9 Consumo Eléctrico Promedio

$$CEE = CE \cdot P$$

Donde:

*CEEA*: Costo de Energía Eléctrica Anual (Bs/año)    *CE*: Consumo de Energía (kWh/día)

*P*: Precio unitario (Bs/kWh)

$$CEE = CE \cdot P = 192,8 \frac{kWh}{día} \cdot 62,032 \frac{Bs}{kWh} \cdot 220 \frac{día}{año} = 2.631.149,31 \frac{Bs}{año}$$

#### 5.3.4.2. Consumo de agua potable

El consumo de agua potable para la fabricación de la rótula es de 0,620 l de agua por cilindro para mezclar el revestimiento, 3 l aproximados para la limpieza de los equipos después de mezclar y 10 l para disolver el molde de revestimiento, por lo tanto el consumo de agua estimado para producir un árbol diario es de 13,62 l (0,014 m<sup>3</sup>).

La tarifa de agua para el sistema metropolitano, tarifa 6, es de 600 Bs/m<sup>3</sup> y la tarifa que se aplica a todos los sistemas, tarifa social, es de 231 Bs/m<sup>3</sup>, dando como resultado una tarifa total de 831 Bs/m<sup>3</sup>. Por lo tanto el costo del consumo de agua anual en el área de producción se presenta en la tabla 5.10:

Concepto	Consumo de Agua (m <sup>3</sup> /día)	Precio (Bs/m <sup>3</sup> )	Costo Anual (Bs/año)
Empleados	0,500	831	91.410
Producto	0,028	831	5.119
<b>Costo Total Anual de Agua (Bs/año)</b>			<b>96.529</b>

Tabla 5.10 Costo de Agua Anual (Departamento de Producción)

$$CATA = 96.529 \frac{Bs}{año}$$

Donde:

*CATA*: Costo de Agua del Taller Anual (Bs/año)

#### 5.3.4.3. Telefonía Fija

Las tarifas son proporcionadas por CANTV

$$RBT = P + IVA$$

Donde:

*RBT*: Renta Básica Telefónica (Bs/mes)      *P*: precio unitario (Bs/mes)

*IVA*: Impuesto Valor Agregado (Bs/mes)

$$RBT = 55.992 \frac{Bs}{mes} + IVA = 64.950,72 \frac{Bs}{mes} \cdot 12 \frac{mes}{año} = 779.408,64 \frac{Bs}{año}$$

#### 5.3.4.4. Aseo Urbano

El servicio del aseo urbano y de relleno sanitario vigente a la fecha es:

$$SAURS = (P + p) + IVA$$

Donde:

*SAURS*: Servicio de Aseo Urbano y Relleno Sanitario (Bs/mes)      *P*: Precio Aseo Urbano (Bs/mes)

*IVA*: Impuesto Valor Agregado (Bs/mes)      *p*: Precio Relleno Sanitario (Bs/mes)

$$SAURS = (11.900 + 1.198) \frac{Bs}{Mes} + IVA = 15.193,68 \frac{Bs}{mes} \cdot 12 \frac{mes}{año} = 182.324,16 \frac{Bs}{año}$$

## 5.3.4.5. Costo total de servicios generales

Servicio General	Costo Anual (Bs/año)
Electricidad	3.052.133,20
Agua Potable	96.529,00
Telefonía Fija	779.408,64
Aseo Urbano	182.324,16
<b>Costo Total de Servicios Generales (Bs/año)</b>	<b>4.110.395,00</b>

Tabla 5.11 Costo Total de Servicios Generales

$$CTSP = 4.110.395 \frac{Bs}{año}$$

Donde:

$CTSP$ : Costo Total de Servicios Generales (Bs/año)

## 5.3.5. Otros

## 5.3.5.1. Arrendamiento

$$CALA = P = 750.000 \frac{Bs}{mes} \cdot 12 \frac{mes}{año} = 9.000.000 \frac{Bs}{año}$$

Donde:

$CALA$ : Costo del Alquiler de Taller Anual (Bs/año)       $P$ : Precio Mensual (Bs/mes)

## 5.3.5.2. Mantenimiento de equipos

$$CMET = 0,05 \cdot (CH + CI + CMC + CM + CSV + CML)$$

Donde:

$CMET$ : Costo de Mantenimiento (Bs/año)

$CH$ : Costo Horno (Bs)

$CM$ : Costo de Mezcladora (Bs)

$CSV$ : Costo Sistema de Vacío (Bs)

$CI$ : Costos Inyectora (Bs)

$CMC$ : Costo Máquina Centrifuga (Bs)

$CML$ : Costo de Máquina Lijadora (Bs)

$$CMET = 0,05 \cdot (21.434.611,20 + 749.711,8 + 1.810.000 + 1.852.800 + 1.992.857,6 + 1.106.880) \frac{Bs}{año}$$

$$CMET = 1.447.343 \frac{Bs}{año}$$

## 5.3.5.3. Seguro de equipos e inmueble

Concepto	Costo (Bs)
Inversión de Equipos	40.955.989,70

Tabla 5.12 Costo Total de Equipos

$$CST = 0,05 \cdot CTEI$$

Donde:

*CST*: Costo de Seguro del Taller (Bs/año)      *CTEI*: Costo Total de Equipos (Bs)

$$CST = 0,05 \cdot 40.955.989,70Bs = 2.047.799,5 \frac{Bs}{año}$$

## 5.3.6. Costos Directos Fijos

- Depreciación
- Nómina de personal de producción
- Servicios Generales (telefonía fija y aseo urbano)
- Otros

## 5.3.7. Costos Directos Variables

- Materia Prima
- Electricidad y Agua potable

## 5.4. Costo Indirecto

Costo que se relaciona con la producción, pero no se le hace seguimiento de manera económicamente factible.

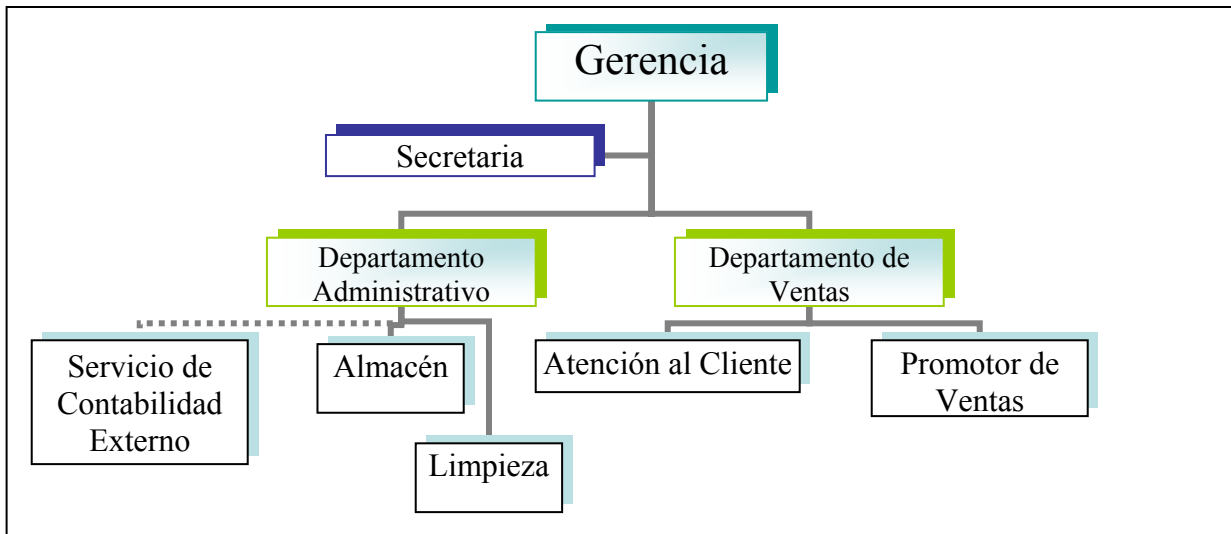


Figura 5.21 Organigrama parcial de la empresa (Departamento Administrativo y Ventas)

### 5.4.1. Depreciación

Equipos	Costo (Bs)	Vida Útil (años)	Depreciación (Bs/año)
Escritorios	928.000	8	116.000
Computadoras	6.960.000	5	1.392.000
Sillas	417.600	8	52.200
Archivadores	464.000	8	58.000
<b>Total de Costos de Depreciación (Bs/año)</b>			<b>1.618.200</b>

Tabla 5.13 Depreciación Equipos de oficina

$$CTD = 1.618.200 \frac{Bs}{año}$$

Donde:

CTD: Costo Total de Depreciación (Bs/año)

### 5.4.2. Nómina de Personal Indirecto

#### 5.4.2.1. Gerencia

$$SG = 25.200.000 \frac{Bs}{año}$$

Donde:

SG: Salario del Gerente (Bs/año)

## 5.4.2.2. Secretaria

$$SSG = 5.880.000 \frac{Bs}{año}$$

Donde:

*SSG*: Salario de Secretaria del Gerente (Bs/año)

## 5.4.2.3. Departamento Administrativo

Departamento Administrativo	Cantidad	Salario (Bs)	Meses	Beneficios (%)	Costo Anual (Bs/año)
Servicio de Contabilidad Externo	1	300.000	12	N/A	3.600.000
Almacén	1	330.000	12	40	5.544.000
Limpieza	2	250.000	12	40	8.400.000
<b>Costo Total Departamento Administrativo (Bs/año)</b>					<b>17.544.000</b>

*N/A*: No Aplica.

Tabla 5.14 Costo Total de Nómina del Departamento Administrativo

$$CTDA = 17.544.000 \frac{Bs}{año}$$

Donde:

*CTDA*: Costo Total Departamento Administrativo (Bs/año)

## 5.4.2.4. Departamento de Ventas

Departamento de Ventas	Cantidad	Salario (Bs)	Meses	Beneficios (%)	Costo Anual (Bs/año)
Promotor de Ventas	1	650.000	12	40	11.700.000
Atención al Cliente	1	330.000	12	40	5.940.000
<b>Costo Total Departamento de Ventas (Bs/año)</b>					<b>17.640.000</b>

Tabla 5.15 Costo Total de Nomina del Departamento de Ventas

$$CTDV = 17.640.000 \frac{Bs}{año}$$

Donde:

*CTDA*: Costo Total Departamento de Ventas (Bs/año)

### 5.4.3. Servicios Generales

#### 5.4.3.1. Agua Potable

La tarifa de agua potable para el sistema metropolitano, tarifa 6, es de 600 Bs/m<sup>3</sup> y la tarifa que se aplica a todos los sistemas, tarifa social, es de 231 Bs/m<sup>3</sup>, dando como resultado una tarifa total de 831 Bs/m<sup>3</sup>. Por lo tanto el costo del consumo de agua anual en el área administrativa es de:

Concepto	Consumo de Agua (m <sup>3</sup> /día)	Precio (Bs/m <sup>3</sup> )	Costo Anual (Bs/año)
Empleados	1,750	831	319.935
<b>Costo Total Anual de Agua (Bs/año)</b>			<b>319.935</b>

Tabla 5.16 Costo de Agua (Departamento Administrativo y Venta)

$$CTAO = 319.935 \frac{Bs}{año}$$

Donde:

*CTAO*: Costo de servicio de agua Anual de Oficina (Bs/mes)

#### 5.4.3.2. Electricidad

Para el cálculo de electricidad se estima un consumo de 150 kWh/día, por lo tanto:

$$CEEO = CE \cdot P = 150 \frac{kWh}{día} \cdot 62,032 \frac{Bs}{kWh} \cdot 220 \frac{día}{año} = 2.047.056 \frac{Bs}{año}$$

#### 5.4.3.3. Telefonía Fija e Internet

Las tarifas son proporcionadas por CANTV

Servicio	Renta Básica (Bs/mes)	Costo Anual (Bs/año)
Telefonía Fija	55.992	779.408,64
Internet	225.900	3.144.528,00
<b>Costo Total Anual de Telefonía Fija e Internet (Bs/año)</b>		<b>3.923.936,64</b>

Tabla 5.17 Costo Total Anual de Telefonía e Internet

$$CTATI = 3.923.936,64 \frac{Bs}{año}$$



Donde:

*CTATI*: Costo Total Anual de Telefonía e Internet (Bs/año)

#### 5.4.3.4. Aseo Urbano

El servicio del aseo urbano y de relleno sanitario vigente a la fecha es:

$$SAURS = (P + p) + IVA$$

Donde:

*SAURS*: Servicio de Aseo Urbano y Relleno Sanitario (Bs/mes)      *P*: Precio Aseo Urbano (Bs/mes)

*IVA*: Impuesto Valor Agregado (Bs/mes)      *p*: Precio Relleno Sanitario (Bs/mes)

$$SAURS = (11.900 + 1.198) \frac{Bs}{Mes} + IVA = 15.193,68 \frac{Bs}{mes} \cdot 12 \frac{mes}{año} = 182.324,16 \frac{Bs}{año}$$

#### 5.4.4. Otros

##### 5.4.4.1. Arrendamiento

El arrendamiento del local para la oficina se estima según ofertas clasificadas

$$CAO = 1.000.000 \frac{Bs}{mes} \cdot 12 \frac{mes}{año} = 12.000.000 \frac{Bs}{año}$$

Donde:

*CAO*: Costo de Alquiler de Oficina (Bs/año)

##### 5.4.4.2. Mantenimiento de equipos de Oficina

$$CMEO = 0,05 \cdot (CCO)$$

Donde:

*CMEO*: Costo de Mantenimiento de Equipos (Bs/año)      *CCO*: Costo de Computadoras (Bs)

$$CMEO = 0,05 \cdot (6.960.000Bs) = 348.000 \frac{Bs}{año}$$

##### 5.4.4.3. Seguro de equipos

Concepto	Costo (Bs)
Inversión en Equipos	8.769.600

Tabla 5.18 Costo Total de Equipos

$$CSO = 0,05 \cdot CTEI$$

Donde:

*CSO*: Costo de Seguro del Taller (Bs/año)      *CTEI*: Costo Total de Equipos (Bs)

$$CSO = 0,05 \cdot 8.769.600Bs = 438.480 \frac{Bs}{año}$$

#### 4.4.4.4. Útiles de Oficina

Se estima en 10 % del costo de los equipos de oficina, por lo tanto:

$$CUO = 0,10 \cdot (CIO)$$

Donde:

*CUO*: Costo de Útiles de Oficina (Bs/año)      *CIO*: Costo de Inversión de Equipos (Bs)

$$CUO = 0,10 \cdot (8.769.600Bs) = 876.960 \frac{B}{año}$$

## 5.5. Costo Total

Se presenta en la Tabla 5.19 el costo total de producción, este se desglosa en costos de fabricación y costos administrativos y ventas, y estos a su vez en costos fijos y variables.

<b>COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN</b>			
<b>Concepto</b>	<b>Fijo (Bs/año)</b>	<b>Variable (Bs/año)</b>	<b>Total (Bs/año)</b>
<b>Costo de Fabricación</b>			
Materia Prima		8.850.713,17	8.850.713,17
Personal	14.784.000,00		14.784.000,00
Arrendamiento	9.000.000,00		9.000.000,00
Electricidad		3.228.806,60	3.228.806,60
Agua Potable		96.529,00	96.529,00
Depreciación	4.188.925,77		4.188.925,77
Mantenimiento de Equipos	1.447.343,00		1.447.343,00
Seguro de Equipos	2.047.799,50		2.047.799,50
Servicios Generales	961.732,80		961.732,80
<b>Total de Costo de Fabricación</b>	<b>32.429.801,07</b>	<b>12.176.048,77</b>	<b>44.605.849,84</b>
<b>Costo Administrativo y Ventas</b>			
Personal	65.088.000,00		65.088.000,00
Depreciación	1.618.200,00		1.618.200,00
Arrendamiento	12.000.000,00		12.000.000,00
Útiles de Oficina	876.960,00		876.960,00
Electricidad	2.047.056,00		2.047.056,00
Mantenimiento de Equipos	348.000,00		348.000,00
Seguro de Equipos	438.480,00		438.480,00
Servicios Generales	4.426.195,80		4.426.195,80
<b>Total Costo Administrativo y Ventas</b>	<b>86.842.891,80</b>		<b>86.842.891,80</b>
<b>Total Costo de Producción</b>	<b>119.272.692,87</b>	<b>12.176.048,77</b>	<b>131.448.741,64</b>

Tabla 5.19 Costo Total de Producción

$$CTF = 119.272.692,87 \frac{Bs}{año}$$

$$CTV = 12.176.048,77 \frac{Bs}{año}$$

$$CTP = 131.448.741,64 \frac{Bs}{año}$$

Donde:

CTP: Costo Total de Producción (Bs/año)    CTF: Costo Total Fijo (Bs/año)

CTV: Costo Total Variable (Bs/año)

### 5.6. Punto de Equilibrio

Es el nivel de producción y venta donde los ingresos y costos son iguales, por tanto determina el nivel mínimo de producción y/o venta para el cual puede funcionar un proyecto sin poner en riesgo su estabilidad financiera (Figura 5.23).

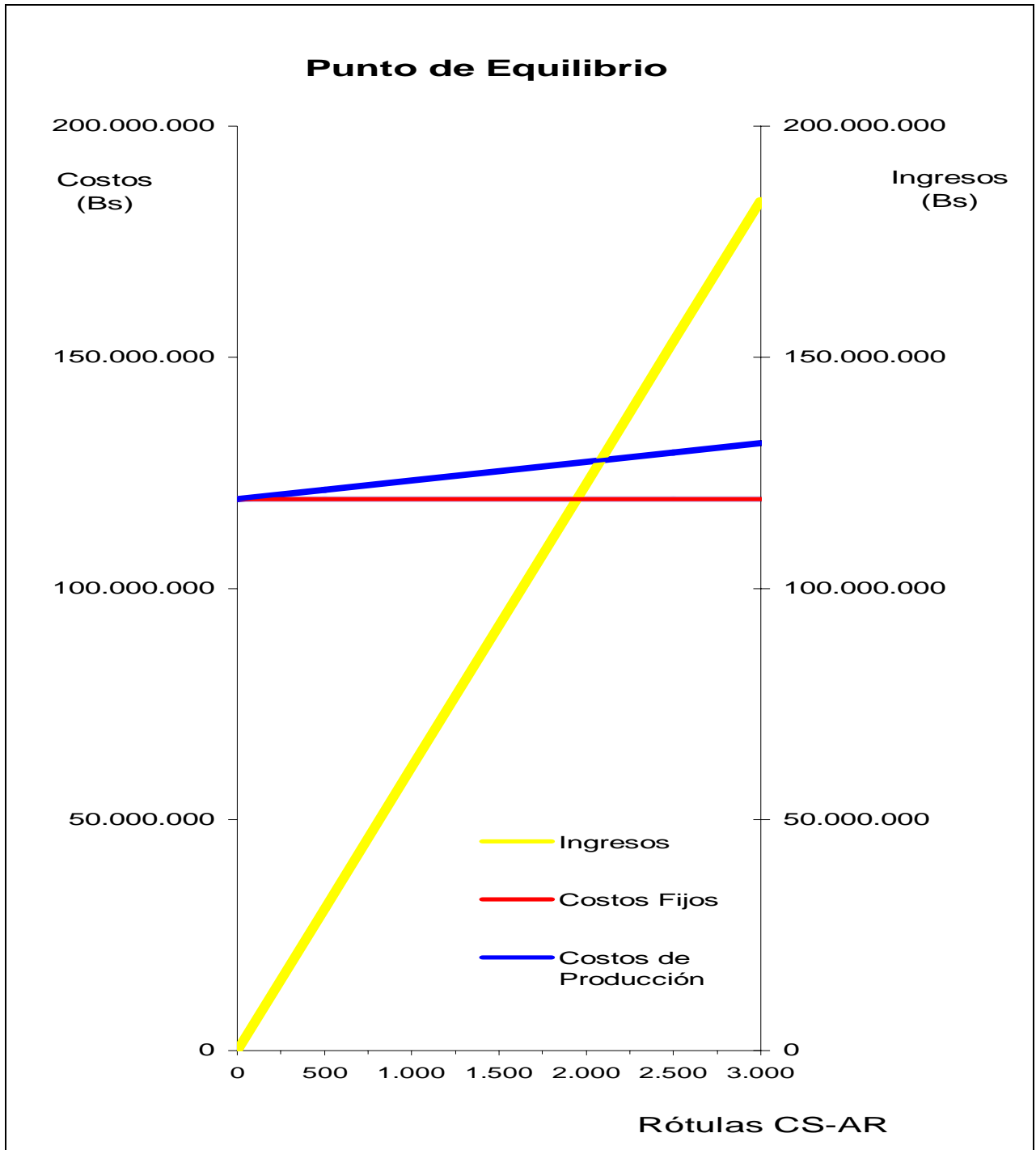


Figura 5.22 Punto de equilibrio

El punto donde los ingresos igualan a los costos es cuando se producen 2083 piezas.

## 5.7. Comparación de Costos

En base a los resultados que se obtienen se presentan los costos unitarios del proceso de fundición de precisión y el proceso de mecanizado que permitan establecer la comparación entre ellos (Tabla 5.20; Tabla 5.21; Tabla 5.22).

Costo de Fabricación	
Fabricación	Costo Unitario (Bs)
Proceso de Fundición de Precisión	14.868,62
Proceso de Mecanizado	41.312,33**

\*\* Costo directo Suministrado por CORPOREA UCV, C.A.

Tabla 5.20 Costo Directo Unitario

Costo Administrativo y Ventas**	
Fabricación	Costo Unitario (Bs)
Proceso de Fundición de Precisión	28.947,63
Proceso de Mecanizado	28.947,63

\*\* Costo igual para ambos procesos

Tabla 5.21 Costo Indirecto Unitario

Costo de Producción	
Fabricación	Costo Unitario (Bs)
Proceso de Fundición de Precisión	43.816,25
Proceso de Mecanizado	70.259,96

Tabla 5.22 Costo de Producción Unitario

Al comparar el costo de producción por pieza (Tabla 5.22), de la rótula producida mediante el proceso de mecanizado con respecto a la producida por el proceso de fundición de precisión, se aprecia que los costos de producción disminuyen en un 37,63 %.

## 5.8. Tiempo de Contingencia

$$T_r = \frac{P}{CP \cdot \eta}$$

Donde:

$T_r$ : Tiempo Real de Producción (día/año)     $P$ : Producción (rótula/día)

$CP$ : capacidad de Producción (rótula/día)     $\eta$ : Eficiencia

$$T_s = T_u - T_r \quad \text{y} \quad T_f = T_r - T_u$$

Donde:

$T_s$ : Tiempo Sobrante (día/año)     $T_f$ : Tiempo Faltante (día/año)

$T_r$ : Tiempo Real de Producción (día/año)     $T_u$ : Tiempo Útil (día/año)

### 5.8.1. 100 % de Rendimiento

Para dos cilindros:

$$T_r = \frac{3.000 \frac{\text{rótulas}}{\text{año}}}{14 \frac{\text{rótulas}}{\text{día}} \cdot 1} = 215 \frac{\text{día}}{\text{año}}$$

$$T_s = 220 \frac{\text{día}}{\text{año}} - 215 \frac{\text{día}}{\text{año}} = 5 \frac{\text{día}}{\text{año}}$$

Para cuatro cilindros:

$$T_r = \frac{3.000 \frac{\text{rótulas}}{\text{año}}}{28 \frac{\text{rótulas}}{\text{día}} \cdot 1} = 108 \frac{\text{día}}{\text{año}}$$

$$T_s = 220 \frac{\text{día}}{\text{año}} - 108 \frac{\text{día}}{\text{año}} = 112 \frac{\text{día}}{\text{año}}$$

### 5.8.2. 75 % de Rendimiento

Para dos cilindros:

$$T_r = \frac{3.000 \frac{\text{rótulas}}{\text{año}}}{14 \frac{\text{rótulas}}{\text{día}} \cdot 0,75} = 286 \frac{\text{día}}{\text{año}}$$

$$T_f = 286 \frac{\text{día}}{\text{año}} - 220 \frac{\text{día}}{\text{año}} = 66 \frac{\text{día}}{\text{año}}$$

Para cuatro cilindros:

$$T_r = \frac{3.000 \frac{\text{rótulas}}{\text{año}}}{28 \frac{\text{rótulas}}{\text{día}} \cdot 0,75} = 143 \frac{\text{día}}{\text{año}}$$

$$T_s = 220 \frac{\text{día}}{\text{año}} - 143 \frac{\text{día}}{\text{año}} = 77 \frac{\text{día}}{\text{año}}$$

Por lo tanto estos 77 días/año de tiempo sobrante, se pueden utilizar para la fabricación de otros dispositivos en traumatología que puedan ser obtenidas por el proceso de fundición de precisión, como por ejemplo: rótulas proto, segmentos T.

## 5.9. Rentabilidad

Para conocer si el proyecto es rentable se procede en base a la siguiente ecuación:

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=1}^5 FNE \cdot (FA)$$

Donde:

*VAN*: Valor Actual Neto (Bs/año)

*I*<sub>0</sub>: Inversión (Bs/año)

*n*: Tiempo (años)

*FNE*: Flujo Neto Efectivo (Bs/año)

*FA*: Factor de Valor presente

Si el valor actual neto es mayor que cero (*VAN*>0), el proyecto es rentable.

### 5.9.1. Utilidad Bruta

$$Ub = ING - CTP$$

Donde:

*Ub*: Utilidad Bruta (Bs/año)

*ING*: Ingresos (Bs/año)

*CTP*: Costo Total de Producción (Bs/año)

$$Ub = 184.028.238,3 \frac{\text{Bs}}{\text{año}} - 119.272.692,87 \frac{\text{Bs}}{\text{año}} = 64.755.545,43 \frac{\text{Bs}}{\text{año}}$$

### 5.9.2. Utilidad Neta

$$Un = Ub - I.S.R.L$$

Donde:

*Un*: Utilidad Neta (Bs/año)

*I.S.R.L*: Impuesto Sobre La Renta (Bs/años)

*Ub*: Utilidad Bruta (Bs/año)

$$Un = (64.755.545,43 - 9.713.331,81) \frac{Bs}{año} = 55.042.213,62 \frac{Bs}{año}$$

### 5.9.3. Flujo Neto Efectivo

$$FNE_n = Uneta + CTD_n$$

Donde:

*FNE*: Flujo Neto Efectivo (Bs/año)

*Un*: Utilidad Neta (Bs/año)

*CTD*: Costo de Depreciacion (Bs/año)

$$FNE_1 = (55.042.213,62 + 5.807.125,77) \frac{Bs}{año} = 60.849.339,39 \frac{Bs}{año}$$

$$FNE_2 = (55.042.213,62 + 5.807.125,77) \frac{Bs}{año} = 60.849.339,39 \frac{Bs}{año}$$

$$FNE_3 = (55.042.213,62 + 5.133.688,97) \frac{Bs}{año} = 60.175.902,59 \frac{Bs}{año}$$

$$FNE_4 = (55.042.213,62 + 5.133.688,97) \frac{Bs}{año} = 60.175.902,59 \frac{Bs}{año}$$

$$FNE_5 = (55.042.213,62 + 23.931.788,17) \frac{Bs}{año} = 78.974.001,79 \frac{Bs}{año}$$

Flujo Neto Efectivo					
	Año				
	1	2	3	4	5
<b>Ingreso (Bs/año)</b>	184.028.238,30	184.028.238,30	184.028.238,30	184.028.238,30	184.028.238,30
<b>Costo de producción (Bs/año)</b>	(119.272.692,40)	(119.272.692,40)	(119.272.692,40)	(119.272.692,40)	(119.272.692,40)
<b>Utilidad Bruta (Bs/año)</b>	64.755.545,43	64.755.545,43	64.755.545,43	64.755.545,43	64.755.545,43
<b>I.S.L.R (Bs/año)</b>	(9.713.331,81)	(9.713.331,81)	(9.713.331,81)	(9.713.331,81)	(9.713.331,81)
<b>Utilidad Neta (Bs/año)</b>	55.042.213,62	55.042.213,62	55.042.213,62	55.042.213,62	55.042.213,62
<b>Depreciación (Bs/año)</b>	5.807.125,77	5.807.125,77	5.133.688,97	5.133.688,97	23.931.788,17
<b>FNE (Bs/año)</b>	60.849.339,39	60.849.339,39	60.175.902,59	60.175.902,59	78.974.001,79

Tabla 5.23 Flujo Neto Efectivo



#### 5.9.4. Factor de Interés Compuesto Anual al 35 %<sup>[17]</sup>

Factor de Interés Compuesto Anual al 35 %	
Tiempo (año)	Factor del Valor actual (adim)
1	0,74074
2	0,54870
3	0,40644
4	0,30107
5	0,22301

Tabla 5.24 Factor de Interés Compuesto

#### 5.9.5. Estimación de la rentabilidad

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=1}^5 FNE \cdot (FA)$$

$$\sum_{n=1}^5 FNE \cdot (FA) = 188.551.904,7 \frac{Bs}{año}; \quad I_0 = 49.755.589,70 \frac{Bs}{año}$$

$$VAN = (-49.755.589,70 + 188.551.904,7) \frac{Bs}{año} = 88.893.027,45 \frac{Bs}{año}$$

El valor actual neto es de 88.893.027,45 Bs/año, este valor es mayor que cero (0), por lo tanto para una tasa activa del 35 % el proyecto es rentable.

## 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones

De la elaboración del Trabajo Especial de Grado se obtienen las siguientes conclusiones:

- La aplicación del proceso de fundición de precisión para la obtención de la rótula CS-AR es factible tanto económica como técnicamente.
- Las modificaciones en la geometría de la rótula CS-AR resultan beneficiosas en lo que respecta a:
  - Facilidad del montaje.
  - Facilidad del traslado de la rótula CS-AR en el Tutor Externo CS-AR.
  - Mejoras en el agarre entre la rótula y el segmento T.
- Los parámetros que se establecen en este trabajo para elaborar el proceso de fundición de precisión son:
  - Cera: color roja.
  - Temperatura de inyección de la cera: 85 °C.
  - Presión de aire para inyectar la cera: 17 psi.
  - Tiempo de inyección: 20 s.
  - Tiempo de enfriamiento: 10 min.
  - Proporción refractario-agua: 100:40.
  - Tiempo de preparación del revestimiento: 11 min.
  - Dimensión del cilindro refractario: 4" de diámetro por 6" de alto.
  - Tiempo del ciclo de quemado: 8 h.
  - Temperaturas del ciclo de quemado: 150; 370; 730 y 580 °C.
  - Temperatura de colada del metal: 720 °C.
  - Temperatura del molde al momento de colar: 560 °C.
  - Tiempo de enfriamiento después de colar: 15 min.
- Los cambios en las dimensiones, debido a la contracción, de los modelos de las rótulas no afectan el funcionamiento de la rótula y además resultan despreciables en relación con el tamaño requerido. Las contracciones obtenidas para el modelo I y modelo II son:

- Diámetro de la corona de estrías: 1,18 y 1,26 %
- Diámetro de la rótula: 1,35 y 1,48 %
- Longitud de la rótula: 0,68 y 0,75 %
- Diámetro de la llave de transportación: 0,24 %
- Diámetro interno de la llave de transportación: 1,69 %
- Diámetro interno del tornillo de fijación punta de bronce: 0,92 %
- Sistema de alimentación inadecuado o insuficiente debido a los elevados valores de porosidad y a la concentración de poros que se observan en las muestras.
- Los 77 día/año sobrantes en la producción de rótulas CS-AR se utilizan para producir por fundición de precisión otros dispositivos a ser utilizados en traumatología.
- La cera roja que se emplea presenta el comportamiento esperado y sirve para el fin previsto por:
  - Adaptarse a gran variedad de piezas.
  - Enfriamiento rápido.
  - Flexibilidad media.
- La pieza de aleación de aluminio A356.0 varía ligeramente su dureza, debido a la falta de tratamiento térmico.

## 6.2. Recomendaciones

De los resultados que se obtienen en este Trabajo Especial de Grado se recomiendan las siguientes acciones:

- A fin de reducir la porosidad de las piezas, es conveniente modificar el sistema de alimentación de las siguientes maneras: aumentar el diámetro del canal de alimentación o agregar otro canal de alimentación o cambiar de sitio el canal de alimentación o combinaciones de las opciones anteriores.
- Realizar el tratamiento térmico de solubilización y envejecimiento artificial a la pieza para mejorar sus propiedades mecánicas.
- Modificar la geometría del cilindro de cera disminuyendo la sección de la garganta en la parte superior, proporcionando conicidad, para minimizar que el metal colado sea proyectado del molde durante la centrifugación.

- Modificar la dimensión del cilindro de cera aumentando su volumen con la finalidad de facilitar el montaje de los modelos y además permitir la mayor acumulación de metal fundido antes de iniciar la centrifugación.
- Establecer la cantidad óptima de aluminio reutilizable que debe combinarse con la aleación de aluminio A356.0 para que no cause modificaciones significativas en sus propiedades.
- Determinar la proporción óptima de cera roja reciclable que al combinarse con la cera roja original garantice y mantenga sus propiedades.
- El operador, al momento de desgasificar, debe evitar entrar en contacto directo con los gases que se generan al desgasificar.
- Estudiar la reutilización del refractario con la finalidad de optimizar costos.
- Realizar un estudio con la cera amarilla.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Alvarez P, *Fundición de Metales*, Caracas, Venezuela, 1988, p. 291.
2. Anato J., Zabala L., *Estudio de la Aplicación del Proceso de Fundición de Precisión por Centrifugado, para la Fabricación de Piezas de Uso en Tratamientos Traumatólogos*, Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica, 1999, p. 84.
3. American Society for Metals, *Metal Handbook Properties and Selection; Nonferrous Alloys and Special Purpose Material*, Novena Edición, USA, 1998, Volumen 2.
4. Bazaco M., *Fabricación de Piezas de Aluminio para Aplicaciones en Traumatología por el Proceso de Fundición de Precisión*, Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica, 1998, p. 68.
5. Carrero W., Colmenares J., *Optimización del Proceso de Fundición de Precisión por Centrifugado en la Fabricación de Piezas para Traumatología*, Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2000, p. 70.
6. Castillo A., Enrique E., *Fabricación de Impulsores en Bronce para Bombas tipo Turbina utilizando el Proceso de Fundición a la Cera Perdida*, Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Metalúrgica, 1994, p. 46.
7. Churches A., Harris J, Tanner E., *The Oxford External Fixator: fixator stiffness and the effects of bone pin loosening*, Engineering in Medicine, 1985, Vol. 14. p. 11.
8. Flinn R., Trojan P., *Materiales de Ingenieros y sus Aplicaciones*, McGraw Hill Latinoamericana S.A., Colombia, 1979, p. 541.
9. Gordon P., Hilton R., Welsch G., *Presupuestos, planificación y control de utilidades*, Prentice Hall Hispanoamericana S.A, México, 1990, p. 697.

10. Guy A., *Fundamentos de Ciencias de los Materiales*, McGraw Hill, México, 1980, p. 650.
11. Guy A., *Metalurgia Física para Ingenieros*, Fondo Educativo Interamericano, Colombia, 1970, p. 374.
12. Hernández I, Villarroel D, *Propiedades Mecánicas y Tratamientos Térmicos de las Aleaciones para Fundición de los Sistemas Al-Si-Cu y Al-Si-Mg*, Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica, 1982, p. 60.
13. Keyser C, *Ciencia de los Materiales para Ingeniería*, Editorial Limusa Wiley S.A., México, 1972, p. 460.
14. Pechiney, *Enciclopedia del Aluminio*, Ediciones Urmo, Bilbao, 1968, Volumen 2, p. 314.
15. Priotti C., Debandi C., *Influencia de las variables de solidificación en la estructura de las aleaciones AL-Si*, Informe N° 12 del grupo del Centro de Investigación de Materiales, Editado por el Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Argentina, 1981, Citado por: Hernández I, Villarroel D, *Propiedades Mecánicas y Tratamientos Térmicos de las Aleaciones para Fundición de los Sistemas Al-Si-Cu y Al-Si-Mg*, Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica, 1982, p. 60.
16. Sydney A., *Introducción a la Metalurgia Física*, McGraw Hill, México, 1985, p. 695.
17. Taylor G., *Ingeniería Económica*, Editorial Limusa, México, 1994, p. 640.
18. Taylor H., *Fundición para Ingenieros*, Continental, México, 1962, p. 400.
19. Thornton P., y Colangelo V., *Ciencia de los Materiales para Ingeniería*, Prentice Hall Hispanoamericana S.A., México, 1978, p. 715.
20. Titov N.D., *Tecnología del Proceso de Fundición*, Editorial Mir, Moscú, 1981, p. 456.
21. Yu L., *Metalografía y Tratamiento Térmico de los Metales*, URSS, Editorial MIR, 1973, p. 439.

**PAGINAS WEB**

22. <http://kerrlab.com>
23. <http://www.castaldo.com>
24. <http://www.ishor.com>
25. [http://www.utp.edu.co/~publio17/ac\\_inox.htm](http://www.utp.edu.co/~publio17/ac_inox.htm)
26. [http://www.utp.edu.co/~publio17/centrifuga\\_archivos/frame.htm#slide0002.htm](http://www.utp.edu.co/~publio17/centrifuga_archivos/frame.htm#slide0002.htm)
27. <http://www.diamantex.com>
28. <http://www.waxco.es>
29. <http://www.ajstools.com>
30. <http://www.raulybarra.com>
31. <http://www.hitchiner.com>
32. <http://www.rjsintl.com>
33. <http://lavasconia.com>
34. <http://www.minart.it/espanol/index.htm>