



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**“OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE  
PRODUCCIÓN DE LA PLANTA INDUSTRIAL DE  
CEDAL S.A.”**

**Edwin Patricio Chilibingua Flores  
Darwin Germán Viscarra Viscarra**

**TESIS DE GRADO**

**Previa a la obtención del Título de:  
INGENIERO INDUSTRIAL**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2010**

## **CERTIFICACIÓN**

Ing. JOSÉ PÉREZ, Ing. EDUARDO VILLOTA, en su orden Director y Asesor del Tribunal de Tesis de Grado desarrollado por los señores Egresados **EDWIN PATRICIO CHILQUINGA FLORES Y DARWIN GERMÁN VISCARRA VISCARRA**

## **CERTIFICAN**

Que luego de revisada la Tesis de Grado en su totalidad, se encuentra que cumple con las exigencias académicas de la Escuela de Ingeniería Industrial, Carrera INGENIERÍA, por lo tanto autorizamos su presentación y defensa.

Ing. José Pérez F.  
DIRECTOR DE TESIS

Ing. J. Eduardo Villota M.  
ASESOR DE TESIS

**EsPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

**CONSEJO DIRECTIVO**

Noviembre 23, de 2010

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**DARWIN GERMÁN VISCARRA VISCARRA**

---

Titulada:

**“OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE LA PLANTA  
INDUSTRIAL DE CEDAL S.A.”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO INDUSTRIAL**

---

Ing. Carlos Santillán M.  
DELEGADO DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. José Pérez F.  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. J. Eduardo Villota M.  
ASESOR DE TESIS

**Epoch**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

**CONSEJO DIRECTIVO**

Noviembre 23, de 2010

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**EDWIN PATRICIO CHILQUINGA FLORES**

---

Titulada:

**“OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE LA PLANTA  
INDUSTRIAL DE CEDAL S.A.”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO INDUSTRIAL**

---

Ing. Carlos Santillán M.  
DELEGADO DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. José Pérez F.  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. J. Eduardo Villota M.  
ASESOR DE TESIS

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE: EDWIN PATRICIO CHILQUINGA FLORES**

**TÍTULO DE LA TESIS:**

**“OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE LA PLANTA INDUSTRIAL DE CEDAL S.A.”**

**Fecha de Examinación: Noviembre 23, de 2010.**

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
ING. CARLOS SANTILLÁN M.			
ING. JOSÉ PÉREZ F.			
ING. J. EDUARDO VILLOTA M.			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

f) Presidente del Tribunal

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** DARWIN GERMÁN VISCARRA VISCARRA

**TÍTULO DE LA TESIS:**

“OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE LA PLANTA INDUSTRIAL DE CEDAL S.A.”

**Fecha de Examinación:** Noviembre 23, de 2010.

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
ING. CARLOS SANTILLÁN M.			
ING. JOSÉ PÉREZ F.			
ING. J. EDUARDO VILLOTA M.			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

f) Presidente del Tribunal

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teórico - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

f) Darwin Germán Viscarra Viscara

---

f) Edwin Patricio Chilibuina Flores

## **AGRADECIMIENTO**

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la escuela de Ingeniería Industrial, en especial a quienes consolidaron un grupo selecto de compañeros y profesores, por su gran confraternidad y amistad los mismos que ayudaron a formarnos como profesionales y de esta manera obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad. Y en especial para todos los amigos, personas que aunque no siempre estuvieron presentes influyeron con su apoyo moral e incondicional que nos alentaban de una u otra manera para culminar con éxito una etapa de nuestras vidas.

Darwin Germán Viscarra Viscarra



## **AGRADECIMIENTO**

Con las siguientes palabras expreso el más sincero sentir de gratitud y agradecimiento hacia la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Industrial. Al Ing. José Pérez quien participo como director, y al Ing. Eduardo Villota como asesor. Además a la empresa CEDAL S.A., y a los Ingenieros Telmo Álvarez y Hernán Navas.

Gracias a su apoyo, conocimientos y experiencias han contribuido a la realización de la presente tesis.

Edwin Patricio Chilingua Flores

## **DEDICATORIA**

A mis padres, a mis hermanos y a todos aquellos que me han enseñado a luchar y perseverar con responsabilidad para no desmayar en épocas de necesidades y preocupaciones que al ser nuestros pilares fundamentales pudieron elevar nuestro autoestima y mantener viva la esperanza de llegar a ser profesionales con humanismo gracias a todas aquellas personas han hecho posible que este trabajo se realice con mayor facilidad.

Darwin Germán Viscarra Viscarra

## **DEDICATORIA**

A mis queridos Padres y Tíos.

José María Chiliquina y Maria Carmen Flores, dedico el presente trabajo a ellos, que con su esfuerzo y constancia, amor, respeto, sacrificio y en especial a su apoyo incondicional, sabiendo guiarme con los mejores valores personales por el camino del éxito y estudio. A dios por la salud y vida, de seguir siempre por su camino de sabiduría y perseverancia.

A mis hermanos José Luis, Jonathan y Geovanny, expresándoles que el éxito siempre llega con sacrificio, tiempo, y nunca desfallecer ante los problemas que se presentan en la vida.

Edwin Patricio Chiliquina Flores

## **SUMARIO**

En el presente estudio e investigación para el desarrollo de Optimización de los Procesos está contemplado ha determinar los diferentes problemas que afecten contra la integridad del Área de Fundición de la empresa, tanto personal como material, se ha propuesto la manera de minimizarlos, estudiarlos constantemente por medio de registros de temperaturas e inspecciones, a los diferentes problemas de fundición que originan riesgos permanentes a CEDAL S.A.

Desarrollando pruebas a las diferentes chatarras de aluminio, se examina la situación actual y las deficiencias que poseen en materia de optimización de procesos en CEDAL S.A.; en razón de los exámenes se plantea soluciones para disminuir los problemas, siempre que esté controlado y regulado dentro del ámbito legal de normas nacionales e internacionales para procesos de fundición.

La propuesta realizada complementa actividades de optimización, mejorando los procesos de fundición, técnicas utilizadas por el personal del área, manejo apropiado de maquinaria y equipos, utilización adecuada de materia prima y análisis de las temperaturas al ser utilizados en fundición de aluminio; estos y otros temas se han recopilado para lograr un mejor desempeño de los trabajadores y por relación al área de la empresa reflejado en la calidad de producción de su materia prima.

## **SUMMARY**

Presently study and investigation for processes Optimization Development deals with determining the different problems affecting the Enterprise forge area integrity, both profesional and materia. The way to minimize and study them,through temperature records and inspections to the different forge problems from permanent risks to CEDAL S.A. has been proposed.

Through test to different aluminum junks, the actual situation and deficiencies in process optimization in CEDAL S.A. are examined. From the exams, solutions are started to diminish the problems as long as they arecontrolled and regulated within the legal field of national and international norms for the forge processes.

The proporsal complements optimization activities improving the forge processes, techniques used by the area personnel, appropriate handling of machinery and equipment, adecuate use of raw material and analysis of the temperatures to be used in the aluminum forge. These and other themes have been collected to attain a better performance of workers and the enterprise area resulting in the production quality of it raw material.

## TABLA DE CONTENIDOS

<u>CAPÍTULO</u>	<u>PÁGINA</u>
<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>
1.1	Antecedentes..... 1
1.2	Justificación..... 2
1.3	Objetivos..... 2
1.3.1	Objetivo General..... 2
1.3.2	Objetivos Específicos..... 2
<b>2.</b>	<b>MARCO TEÓRICO REFERENCIAL</b>
2.1	Análisis de los Procesos de Trabajo..... 3
2.1.1	Diagrama de Procesos..... 4
2.1.2	Productividad..... 5
2.1.3	De la Empresa..... 5
<b>3.</b>	<b>ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA</b>
3.1	Información General de la Empresa..... 6
3.1.1	Estructura Organizacional..... 7
3.1.2	Misión, Visión y Política..... 7
3.1.3	Breve Descripción de las Áreas de CEDAL S.A..... 8
3.1.3.1	Área de Fundición..... 9
3.1.3.2	Área de Extrusión ..... 9
3.1.3.3	Área de Anodizado ..... 10
3.1.3.4	Área de Pintura..... 10
3.1.3.5	Área de Empaque ..... 11
3.2	Productos que Realiza la Empresa CEDAL S.A..... 11
3.2.1	Acabados de los Productos ..... 13
3.2.2	Características Técnicas del Producto ..... 13
3.2.3	Temple..... 16
3.2.4	Maquinaria y Equipos ..... 17

3.2.5	Materiales .....	19
3.3	Análisis del Proceso Productivo.....	27
3.4	Descripción del Proceso de Fusión y Colado del aluminio.....	28
3.4.1	Proceso de Fusión.....	28
3.4.1.1	Recepción y Almacenamiento. ....	28
3.4.1.2	Aluminio Primario.....	29
3.4.1.3	Control de Calidad. ....	29
3.4.1.4	Transporte de Chatarra. ....	30
3.4.1.5	Cargador de Chatarra de aluminio.....	30
3.4.1.6	Plataforma de Trabajo. ....	30
3.4.1.7	Horno de Fusión (Melting).....	31
3.4.1.8	Operador y ayudante.....	31
3.4.2	Proceso de Colado.....	32
3.4.2.1	Horno de Colado (Casting). ....	32
3.4.2.2	Especialista de Producción.....	32
3.4.2.3	Canales y Sistemas de Control de Flujo.....	33
3.4.2.4	Cono de Regulación. ....	33
3.4.2.5	Desgasificadora.....	34
3.4.2.6	Tundish y Porta Filtro Cerámico.....	34
3.4.2.7	Moldes.....	34
3.5	Chatarra y aluminio Primario.....	35
3.5.1	Generalidades Técnicas del aluminio.....	35
3.5.1.1	Propiedades del aluminio.....	36
3.5.2	La Chatarra.....	37
3.5.2.1	Lingote de aluminio Puro.....	38
3.5.3	Procedimiento de Recepción de Chatarra.....	39
3.5.3.1	Objetivo.....	39
3.5.3.2	Alcance.....	39
3.5.3.3	Referencias.....	39
3.5.3.4	Responsabilidades.....	39
3.5.3.5	Detalle de Formatos Generados .....	40
3.5.3.6	Términos y Definiciones. ....	40
3.5.3.7	Contenido.....	40
3.5.3.7.1	Diagrama de Flujo.....	40

3.5.4	Proceso de Muestreo. ....	41
3.5.4.1	Objetivo.....	41
3.5.4.2	Alcance.....	41
3.5.4.3	Referencias.....	41
3.5.4.4	Responsabilidades.....	41
3.5.4.5	Detalle de Formatos Generados.....	41
3.5.4.6	Términos y Definiciones. ....	41
3.5.4.7	Muestreo.....	41
3.6	Homogenizado.....	44
3.6.1	Introducción.....	44
3.6.2	Características.....	44
3.6.3	Procedimiento de Homogenizado.....	45
3.6.3.1	Objetivo.....	45
3.6.3.2	Alcance.....	45
3.6.3.3	Términos y Definiciones. ....	45
3.6.3.4	Responsabilidades.....	45
3.6.3.5	Pasos a Seguir.....	45
3.6.4	Funcionamiento.....	50
3.6.5	Tipos de Hornos. ....	52
3.7	Espectrometría ....	53
3.7.1	Introducción.....	53
3.7.2	Métodos Espectrométricos.....	54
3.7.2.1	Según la Naturaleza de la Excitación Medida.....	55
3.7.2.2	Según el Proceso de Medida.....	55
3.7.3	Características.....	55
3.7.3.1	Características Actuales de un Espectrómetro de Emisión Atómica.....	56
3.7.4	Procedimiento para Manejo del Espectrómetro.....	56
3.7.4.1	Objetivo.....	56
3.7.4.2	Alcance.....	57
3.7.4.3	Responsabilidades.....	57
3.7.4.4	Pasos a seguir.....	57
3.7.5	Funcionamiento.....	60



3.8	Sistemas de Alimentación de Lingotes Fundidos.....	60
3.8.1	Fenómenos Fundamentales de la Solidificación.....	60
3.8.2	Variación de Volumen Durante la Solidificación.....	62
3.8.3	Defectos Producidos en los Lingotes.....	64
3.8.3.1	Porosidad Causada por Presencia de Gas.....	64
3.8.3.2	Bolsas de Gas. ....	65
3.8.3.3	Escorias.....	65
3.8.3.4	Fisuras Internas.....	66
3.8.3.5	Grietas.....	66
3.8.4	Absorción de Gas en el Metal.....	67
3.8.5	Solubilidad del Nitrógeno.....	68
3.8.6	Solubilidad del Oxígeno.....	68
3.8.7	Solubilidad del Hidrógeno.....	69
3.9	Hornos para Fundir los Metales.....	70
3.9.1	Cantidad Necesaria de Calor.....	70
3.9.2	Clasificaciones.....	71
3.9.3	Hornos de Combustible Temperatura de la Llama.....	73
3.9.4	Hornos Eléctricos. Potencia y Consumo.....	73
3.9.5	Hornos de Combustible en los que Metal y Combustible están Separados.....	74
3.9.6	Horno de Crisol Fijo de Coque, Fuel-Oíl o Gas.....	74
3.10	Calentamiento.....	76
3.10.1	Temperatura del Metal.....	76
3.10.2	Características del Fluido de Metal Líquido.....	76
3.10.3	Análisis de Evaporación de los Componentes de Aleaciones.....	77
3.10.4	Materiales Refractarios.....	78
3.10.5	Generalidades y Clasificación.....	78
3.10.6	Propiedades.....	79
3.11	Combustibles.....	80
3.11.1	Combustión.....	80
3.11.2	Tipos de Combustión.....	82
3.11.3	Clasificación y Composición Química.....	82
3.11.4	Combustibles más Usados en Fundición.....	85
3.11.4.1	Nafta.....	85

3.11.4.2	Kerosene.....	85
3.11.4.3	Gas-oíl.....	85
3.11.4.4	Diesel-oíl.....	85
3.11.4.5	Fuel-oíl.....	85
3.11.4.6	Alquitrán de Hulla.....	85
3.11.4.7	Alquitrán de Lignito.....	85
3.11.4.8	Alcoholes.....	85
4.	PROPUESTA	
4.1	Mejoramamiento de los Factores que Intervienen en la Producción.....	86
4.1.1	Iluminación.....	87
4.1.2	Acceso.....	88
4.1.3	Ventilación y Calefacción.....	90
4.1.4	Acondicionamiento Cromático.....	91
4.1.5	Eliminación de Desperdicios.....	92
4.2	Optimización de la Chatarra y aluminio Primario.....	93
4.2.1	Determinación del Tipo de Chatarra Adecuado para Fundición...	95
4.3	Optimización del Proceso de Homogenizado.....	101
4.3.1	Análisis de las Temperaturas Obtenidas en el Homogenizado de Lingotes de aluminio.....	102
4.3.2	Determinación de la Temperatura Promedio para Homogenizar....	104
4.3.3	Determinar las Características y Propiedades Obtenidas al Homogenizar los Lingotes de aluminio.....	104
4.4	Optimización del Horno de Fundición.....	106
4.4.1	Caracterización del Tipo de Horno Adecuado.....	106
4.4.2	Análisis de las Temperaturas Obtenidas con las Termocuplas Instaladas en el Horno de Fundición.....	107
4.4.3	Mejora en la Colocación de Chatarra en el Horno de Fundición...	108
4.5	Optimización de los Materiales Refractarios. ....	109
4.5.1	Caracterización de los Refractarios Utilizados en Fundición.....	109
4.5.2	Determinar el Refractario Adecuado a ser Utilizado en los Equipos de Fundición.....	110
4.6	Optimización de Combustibles y Fundentes.....	111
4.6.1	Determinación del Tipo de Combustible	

Empleado en Hornos de Fundición.....	111
4.6.2 Determinación del Fundente más Utilizado en Fundición.....	113
4.6.3 Determinación de Características de los Fundentes.....	115
4.7 Optimización de Equipos y Accesorios.....	115
4.7.1 Mejora en el Sistema de Alimentación de aluminio Líquido.....	115
4.7.2 Mejora del Proceso de Desgasificación.....	116

## **5. ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO.**

5.1. Análisis de Productividad.....	118
5.1.1 Análisis de la Productividad con la Propuesta.....	118
5.4. Comparación Económica entre la Situación Actual VS. Propuesta.	119
5.5. Inversiones.....	121
5.5.1 Evaluación económica.....	122

## **6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

6.1 Conclusiones.....	123
6.2 Recomendaciones.....	123

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

### **BIBLIOGRAFÍA**

### **LINKOGRAFÍA**

### **ANEXOS**

### **PLANOS**

## LISTA DE TABLAS

<u>TABLA</u>		<u>PÁGINA</u>
1	Simbología ASME.....	4
2	Tipos de Acabados más Usuales de los Productos Producidos en la Planta.....	13
3	Características de Aleaciones del Grupo de 1000 a 7000.....	14
4	Aplicaciones del Aluminio.....	14
5	Composición Química de las Aleaciones más Utilizadas.....	15
6	Propiedades Físicas de las Aleaciones más Utilizadas en Cedal.....	15
7	Características del Grupo Aleaciones Utilizadas.....	16
8	Composición Química Generalizada Aleación 6063 O AlMgSi0,5.....	16
9	Principales Características Físicas en Estado T5.....	17
10	Sistema Básico de Normalización.....	17
11	Información de Normas Técnicas Según NTE INEN Utilizadas en Cedal.....	17
12	Aceites Empleados para Lubricación de Moldes.....	23
13	Propiedades Físicas.....	23
14	Propiedades del Aluminio.....	36
15	Cantidades de los Componentes en Peso y Porcentaje.....	39
16	Letras Claves del Tamaño de Muestra.....	42
17	Tabla Magistral para Inspección Normal.....	43
18	Disposición de Cada Termocupla.....	51
19	Tipos de Espectrometría de Emisión.....	55
20	Contracción de Metales y Aleaciones no Ferrosas Durante el Enfriamiento.....	64
21	Calores de Formación de Diversos Óxidos Metálicos .....	69
22	Constantes Físicas de Algunos Metales y Aleaciones.....	71
23	Consumos Específicos de Energía en los Hornos de Baja Frecuencia..	74
24	Valores de las Constantes para Determinar la Presión del Vapor de los Elementos en Cierta Rango de Temperatura.....	77

25	Temperatura de Encendido de los Principales Combustibles.....	81
26	Combustibles más Empleados en Siderurgia y Fundición.....	83
27	Composición Media y Poder Calorífico Inferior de los Combustibles más Usados en Fundición.....	84
28	Cuadro de Riesgos Específicos por Rama de Actividad Industrial....	85
29	Cargas Vivas en Instalaciones Industriales.....	89
30	Cargas Muertas de Instalaciones Industriales.....	89
31	Tipos de Ventilación y sus Diferentes Utilidades.....	90
32	Temperaturas Adecuadas.....	90
33	Refracción de Luz en Paredes.....	91
34	Colores Recomendados para Instalaciones Industriales.....	91
35	Chatarras Utilizadas en Fundición de Aluminio.....	95
36	Valores del Programa.....	96
37	Composición Química de Chatarra Negra Importada.....	97
38	Composición Química de Chatarra Negra Nacional.....	98
39	Composición Química de Aluminio de Segunda Fusión. ....	99
40	Temperatura Promedio.....	104
41	Composición Química Aleación 6063 (% en Peso). ....	105
42	Porcentajes de Chatarras en (Kg).....	108
43	Porcentajes de Chatarras en (Kg)(Continuación).....	109
44	Tipos de Presentación del Fundente (Coveral).....	113
45	Indicadores de productividad.....	119
46	Producción de Toneladas en (\$).....	119
47	Gastos de Producción.....	120
48	Detalle de la Implementación.....	122

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
1. Proceso de Fabricación de los Perfiles de Aluminio.....	Hg
	h8
2. Fundición de Aluminio.....	9
3. Prensa de Extrusión.....	9
4. Anodizado de Perfiles de Aluminio.....	10
5. Pintado de Perfiles de Aluminio.....	10
6. Empacado de Perfiles de Aluminio.....	11
7. Perfiles Extruidos.....	11
8. Perfiles Planos.....	12
9. Perfiles Trefilados.....	12
10. Lingotes de Aluminio.....	12
11. Silicio.....	19
12. Magnesio.....	19
13. Tibor Aleación de Titanio (Ti) y Boro (B).....	20
14. Entrada de Argón para la Mezcla Homogénea.....	22
15. Nitruro de Boro Fiberfrax).....	23
16. Tabla de Fibra Cerámica (Nutec Fibratec) .....	24
17. Colchoneta de Fibra Cerámica (Fibratec).....	24
18. Papel de Fibra Cerámica Nutec Fibratec.....	25
19. Varillas de Grafito .....	26
20. O-ring Sobre Molde de Fundición.....	26
21. Chatarra Almacenada.....	28
22. Aluminio Primario Aluar 99,5%.....	29
23. Transportador de Chatarra.....	29
24. Cargador de Chatarra.....	30
25. Plataforma de trabajo.....	30
26. a) Horno de Fusión y b) Plataforma de Fundición.....	31
27. Operador.....	31
28. Horno de Colado.....	32
29. Canales de Flujo de Colada.....	33
30. Cono de Regulación.....	33

31.	Unidad Desgasificadora Donde se Añade (Ti-Bor).....	34
32.	Tundish y Filtro.....	34
33.	Moldes para Realizar Lingotes.....	35
34.	Componentes más Abundantes de la Naturaleza.....	35
35.	Bauxita.....	36
36.	Chatarra de Aluminio.....	37
37.	Lingote de Aluminio Puro.....	37
38.	Criterios de Muestreo.....	41
39.	Ubicación de Lingotes al horno.....	46
40.	Uniformidad Previo al Cierre del Horno.....	46
41.	Separadores Transversales.....	47
42.	Ingreso Automático de lingotes.....	47
43.	Cierre del Horno.....	48
44.	Tablero de Control del horno.....	48
45.	Enfriamiento de lingotes.....	49
46.	Almacenaje de Lingotes.....	49
47.	Circulación del Sistema de Aire.....	51
48.	Hornos Tipo por Lotes: a) de Vagoneta; b) de Bandeja.....	52
49.	Hornos: c) Tipo Transportador; d) Tipo Continuo.....	53
50.	Dispersión de Luz en un Prisma Triangular.....	53
51.	Toma de Muestra del Tundish.....	57
52.	Refrentado de Muestra.....	58
53.	Chispeo de Muestra.....	59
54.	Cierre del Receptáculo.....	59
55.	Diseño del Stand de Chispa.....	60
56.	Curva de enfriamiento para un metal.....	61
57.	Variación de las Velocidades de Nucleación y Crecimiento con Temperatura.....	61
58.	Contracción del metal durante su solidificación y enfriamiento.....	63
59.	Bolsas de Gas.....	65
60.	Escorias.....	66
61.	Fisuras Internas.....	66
62.	Grietas.....	67
63.	Hornos de Combustible.....	71
64.	Convertidores.....	72
65.	Hornos Eléctricos.....	72

66.	Horno de crisol fijo.....	75
67.	Combustión.....	80
68.	Iluminación del Área de Fundición (actual). ....	87
69.	Separador Transversal (actual).....	88
70.	Almacenamiento de Escoria (actual).....	92
71.	Recuperador de Escoria. ....	93
72.	Caída de Perfiles (actual).....	93
73.	Chatarra Compactada.....	93
74.	Máquina Compactadora.....	94
75.	Aleación Ideal. ....	96
76.	Aleación Standard.....	97
77.	Chatarra Negra Importada. ....	98
78.	Chatarra Negra Nacional.....	99
79.	Aluminio de Segunda Fusión.....	100
80.	Homogenizado: a) Carga Completa; b) Carga Incompleta.....	101
81.	Disposición de Termocuplas.....	102
82.	Temperaturas Internas de Homogenizado. ....	103
83.	Temperaturas de Enfriamiento del Homogenizado.....	103
84.	Horno Tipo Batch, (Sistema de Colado Vertical). ....	106
85.	Temperaturas de los Componentes del Horno de Fundición.....	107
86.	Nitruro de Boro. ....	111
87.	Fundentes: a) Tipo Granulado; b) Tipo Polvo y Pastilla.....	113
88.	Oxidación de la Superficie de aluminio.....	116
89.	Generador de Nitrógeno (N <sub>2</sub> ).....	117
90.	Indicadores de Productividad.....	119
91.	Toneladas Venta Total.....	120
92.	Gastos de Producción.....	121



## LISTA DE ABREVIACIONES

<b>A</b>	Área
<b>ISO</b>	International Standard Organization
<b>ASTM</b>	American Society for Testing and Materials
<b>AAI</b>	Association Aluminum Inc
<b>API</b>	Instituto Americano del Petróleo
<b>ANSI</b>	Instituto Nacional Americano Estándar (American National Estándar Institute)
<b>ASME</b>	Sociedad americana de Ingenieros Mecánicos
<b>INEN</b>	Instituto Ecuatoriano de Normalización
<b>NTE</b>	Normas Técnicas Ecuatorianas
<b>MMT</b>	Mejora de Métodos de Trabajo
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>GLP</b>	Gas Licuado de Petróleo
<b>°K</b>	Grados Kelvin
<b>ft</b>	Pie
<b>ft<sup>3</sup></b>	Pie cubico
<b>hp</b>	Caballo de potencia
<b>J</b>	Joule
<b>Kg</b>	Kilogramo
<b>Kg/m<sup>3</sup></b>	Kilogramos por metro cúbico

## **LISTA DE ANEXOS**

- ANEXO 1:** Áreas que Constituyen la Estructura Organizativa
- ANEXO 2:** Organigrama Estructural Cedal S.A.
- ANEXO 3:** Flujograma de proceso Cedal S.A.
- ANEXO 4:** Diferentes Partes y Equipos de la Planta
- ANEXO 5:** Actividades Generales
- ANEXO 6:** Diagrama de Flujo del Proceso
- ANEXO 7:** diagrama de Recorrido
- ANEXO 8:** Proceso de Muestreo
- ANEXO 9:** Proceso de Homogenizado
- ANEXO 10:** Diagrama Propuesto de Recorrido
- ANEXO 11:** Diagrama Propuesto de Flujo
- ANEXO 12:** Propuesta para Iluminación del área de Fundición de la Planta Cedal
- ANEXO 13:** Separador Transversal Metálico base
- ANEXO 14:** Separador Transversal Metálico
- ANEXO 15:** Cubierta de Chatarra
- ANEXO 16:** Almacenaje de Escorias
- ANEXO 17:** Cabina de Enfriamiento Combinada de Ventiladores y Agua
- ANEXO 18:** Registro de Temperaturas
- ANEXO 19:** Registro de Temperaturas de un Proceso Óptimo
- ANEXO 20:** Registro de Temperaturas
- ANEXO 21:** Cubierta Metálica Combinada de Refractario

# **CAPÍTULO I**

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Antecedentes**

La Corporación Ecuatoriana de Aluminio, CEDAL S.A. brinda productos y servicios mediante el proceso de fundición y a partir de material de reproceso y aluminio primario, lingotes y tochos de aluminio para utilizarlos como materia prima en el proceso de extrusión de perfiles, barras, varillas y tubos de aluminio, lo que permite mantenerse y liderar el mercado nacional. Está ubicada en la provincia del Cotopaxi ciudad Latacunga sus oficinas principales se encuentran en la ciudad de Quito, fundada en el año 1974, se dedica a la producción de perfilería de aluminio. Es ampliamente reconocida en el mercado nacional e internacional por la calidad de sus productos, la confiabilidad e integridad de la empresa y su valiosa contribución al desarrollo de la industria del aluminio y la construcción. Actualmente, debido al impulso y gran visión de futuro de sus accionistas, experimenta un crecimiento empresarial que le ha hecho merecedor ser líder en la producción y distribución de perfiles de aluminio en el Ecuador con más de 40 distribuidores exclusivos.

Desde 1979 mantiene una sólida presencia comercial en Colombia a través de su compañía afiliada VITRAL, con centros de distribución en las ciudades de Cali y Bogotá. En el año 2006, CEDAL diversifica sus líneas de producción, ofreciendo al mercado una variedad de ítems complementarios a la perfilería de aluminio, tales como vidrio plano, láminas de aluminio y sellantes para carpintería de aluminio.

Adicionalmente en el año 2006, CEDAL inicia su proceso de diseño e innovación a través del desarrollo de nuevos productos como es su “Línea Evolución”, conformada por mamparas, puertas batientes y corredizas Múltiplex. En el mes de octubre del 2007, CEDAL certifica su sistema de gestión de calidad bajo la norma ISO 9001-2000, certificación que comprende la estandarización de procedimientos en la producción y comercialización de productos de aluminio.

## **1.2 Justificación**

En la actualidad la mayor parte de industrias a nivel mundial que trabajan con metales ferrosos han visto la necesidad de sustituir los materiales más pesados como el acero por elementos más mecanizables y livianos como las aleaciones de aluminio. Y en base al gran incremento de edificaciones y demás bienes por la creciente población en el país durante los últimos años y su repercusión en la producción de perfilería nacional, provoca que este tipo de empresa se constituya en parte vital del área de la construcción.

El presente trabajo asumirá la tarea de optimizar los recursos existentes del proceso de fundición de aluminio, para resolver técnicamente problemas productivos que ayuden a mejorar el proceso de fundición, incremento de la productividad, sin afectar principalmente la seguridad de las personas que trabajan en el área su contorno y alrededores; debido a que se trabaja con altas temperaturas y se produzcan accidentes graves como: contaminaciones, pérdidas de vidas humanas, suspensión de producción de lingotes de aluminio.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

“Optimizar los Procesos de Producción de la Planta Industrial de CEDAL S.A.”

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Realizar un análisis del sistema de producción actual en el área de fundición.
- Desarrollar técnicas con parámetros acordes a las necesidades de producción.
- Optimizar los procesos de producción en el área de fundición.

## CAPÍTULO II

### **2. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL**

La optimización de procesos productivos son aspectos que implican un conjunto de decisiones estructurales interrelacionadas, que marcarán la actividad productiva a mediano y corto plazo; siendo de vital importancia factores como: métodos, tiempos, diseño, capacidad instalada, entre otros.

Para alcanzar un nivel de gestión eficiente y eficaz, es necesario que todas las actividades desde largo plazo hasta corto plazo, se encuentren debidamente planificadas y coordinadas.

#### **2.1 Análisis de los Procesos de Trabajo**

Se denomina “**Proceso de Trabajo**”, al procedimiento que se lleva a cabo en un trabajo determinado como por ejemplo la fabricación de una complicada pieza industrial, o la colocación de cartas circulares en sus sobres correspondientes.

Como el procedimiento de trabajo que se emplee, depende en parte del costo de su realización, se ha desarrollado una técnica conocida como Mejora de Métodos de Trabajo (MMT). Que se ocupa de analizar sistemáticamente los procesos de trabajo utilizados, y de proponer mejoras, con el fin de realizar los procedimientos más seguros, en menor tiempo y sin inconvenientes en costos elevados.<sup>1</sup>

Identificar las operaciones y actividades, tiempos y distancias, según el estado actual de la empresa y sus operaciones. Cuando el análisis de procedimientos se emplea para mejorar operaciones es útil presentar en forma clara y lógica, la información relacionada con el proceso; para reducir o eliminar al mínimo los tiempos de retraso, almacenamiento o cualquier otro problema en el proceso.

---

[<sup>1</sup>] FUERTES, Marcelino. Ing. de Métodos y Tiempos.

### *Análisis del Proceso:*

- Definir las relaciones entre operaciones
- Identificar el problema
- Formular Diagnóstico
- Establecer opciones de solución
- Reducir las operaciones al mínimo indispensable






### *Método de Análisis:*

- Reunión de Datos
- Análisis de los Datos
- Definición del Problema
- Desarrollo de Alternativas
- Aplicación de la mejor alternativa

#### **2.1.1 Diagrama de Procesos**

Son representaciones gráficas de la secuencia cronológica de todas las operaciones de taller o en máquinas, inspecciones, materiales y tiempos; cada acción se halla representada por medio de signos convencionales normalizados propuestos por la ASME. Para mejorar el proceso, las actividades que pueden intervenir en este, pueden ser reducidas fundamentalmente a cinco clases de acciones.

**Tabla 1. Simbología ASME (Asociación Americana de Ingenieros Mecánicos)**

SÍMBOLO	NOMBRE	DEFINICIÓN
	Operación	Representa cuando se da una modificación o transformación en los materiales. Ej. Cortar una pieza, escribir a máquina, etc.
	Transporte	Indica el desplazamiento o movimiento de las personas o documentos que se encuentran en el proceso. Ej. Pasar un documento a otro departamento.
	Inspección	Por medio de ella se verifica la cantidad o calidad del trabajo realizado. Ej. Revisar la ortografía de una carta, o calidad de un producto.
	Demora	Cuando se hace una pausa breve entre 2 etapas del proceso. Ej. Cuando una carta está en la papelera pendiente de ser tramitada.
	Almacenamiento	Se denota el almacenamiento final cuando un objeto se guarda contra cualquier remoción no autorizada. Indica un depósito permanente del objeto o información, porque ha finalizado el proceso. Ej. Archivar la correspondencia

**Fuente:** ING. E. VILLOTA, Folleto Ing. Métodos y Tiempos, Pág. 15

Para la determinación de los símbolos **ASME** se ajustó a los siguientes criterios:

- Los símbolos deben distinguirse con facilidad
- Dentro de cada símbolo aislado o en combinación con otro debe quedar espacio suficiente para escribir
- Los símbolos deben ser perfectamente combinables
- Sólo se deben emplear en un sentido u orientación
- Deben poderse dibujar fácilmente a mano, con suficiente claridad

### **2.1.2 Productividad**

Se denomina productividad a la relación entre la producción obtenida respecto a la cuantía de elementos necesarios para obtenerla<sup>2</sup>

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Producción Obtenida}}{\text{Cuantía del elemento necesario para obtenerla}} \quad (1)$$

### **2.1.3 De la Empresa**

La competitividad está presente permanentemente, esto exige la necesidad de desarrollar iniciativas mientras que eleven el nivel de productividad que mejore los procesos artesanales; como es desventaja ante empresas similares que se encuentran en otros países que ayuden a incrementar la actividad económica, generando fuentes de empleo en los distintos campos de producción industrial; desarrollando tecnología, que le permita alcanzar mejores niveles de competencia.<sup>3</sup>

Al crear nuevas plazas de trabajo; se da apertura a nuevos productos una línea que de sucesión sujetas en el mercado, mejora la economía; en el nivel de vida de los operarios; mejor ambiente de trabajo y niveles superiores de producción lo que no se puede evitar, es crear un impacto ambiental; pero se lo puede reducir al mínimo creando planes ambientales que se vayan ejecutando a medida que vaya elaborando el proyecto industrial o productivo.

---

[<sup>2</sup>] Ing. VILLOTA, Eduardo. Ingeniería de la producción pág. 6-10.

[<sup>3</sup>] CEDAL, Información. departamento de fundición

## CAPÍTULO III

### 3. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA

#### 3.1 Información General de la Empresa

<b>Nombre:</b>	Corporación Ecuatoriana de aluminio “CEDAL S.A.”
<b>Área:</b>	Diseño y Manufactura
<b>Sub área:</b>	Fundición
<b>Actividad:</b>	Producción y Servicios
<b>Tipo de Empresa:</b>	Privada
<b>País:</b>	Ecuador
<b>Región:</b>	Sierra-Centro
<b>Provincia:</b>	Cotopaxi
<b>Cantón:</b>	Latacunga.
<b>Dirección:</b>	av. Unidad Nacional s/n
<b>Teléfono:</b>	+593 3 281 2610
<b>Fax:</b>	+593 3 281 2610
<b>Superficie Total:</b>	29377m <sup>2</sup>

#### 3.1.1 Estructura Organizacional

CEDAL S.A. posee una estructura organizativa de planta constituida por unidades funcionales previamente establecidas. Una Gerencia General como nivel de mayor jerarquía y una Gerencia de Planta como segunda unidad de mando.

Las áreas operacionales, con relación de dependencia de la Gerencia de Planta, cuenta con la Jefatura de Producción (Jefatura de Acabados y Jefatura de Metales), Jefatura de Control de Producción, Jefatura de Mantenimiento, Jefatura de



Administración (RRHH, Contable y Medicina) y la Jefatura de Bodega. De igual forma las Gerencias Asesoras que operan como staff, conformadas por el Coordinador de Calidad y Seguridad Industrial, dependiente de la Gerencia de Planta. (**Anexo 1**).Cada una de las áreas que constituyen la estructura organizativa, según se indica en el (**Anexo 2**).

### **3.1.2 Misión, Visión y Política**

#### **Misión**

*“Somos líderes en el mercado nacional con sólida presencia en la Región Andina, en la producción, comercialización y desarrollo de extrusiones de aluminio, satisfaciendo las necesidades de nuestros clientes con valor agregado, servicio y promoviendo el progreso de nuestros accionistas, colaboradores y la comunidad”.*<sup>4</sup>

#### **Visión**

*“Ser una empresa líder e innovadora en extrusiones de aluminio y servicios relacionados dentro de la Comunidad Andina, competitiva en mercados globalizados, reconocida por la excelencia de su gente y la calidad de sus productos. Elegimos el profesionalismo, la mejora continua y la aplicación de estándares internacionales de calidad como medios para cumplir nuestros principales objetivos que son: la satisfacción del cliente y el beneficio de nuestros accionistas, colaboradores y la comunidad.”*<sup>5</sup>

#### **Principios Corporativos<sup>6</sup>**

Entre los principios Corporativos CEDAL S.A. contempla los siguientes:

- Valorar al ser humano y contribuir a su desarrollo.
- Actuar siempre con integridad.
- Buscar la satisfacción de los clientes.
- Procurar la excelencia en toda actividad.
- Participar proactivamente y agregando valor en el desarrollo de la empresa, la comunidad.

---

[<sup>4</sup>] <http://www.cedal.com.ec>

[<sup>5</sup>] <http://www.cedal.com.ec>

[<sup>6</sup>] <http://www.cedal.com.ec>

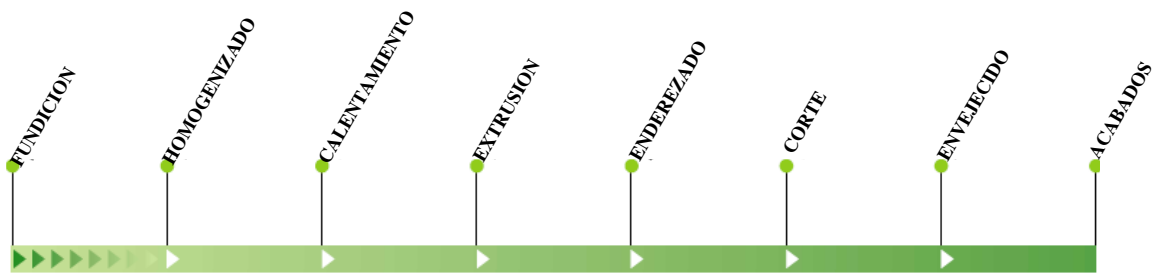
- Tener visión y compromiso de largo plazo.

## Política de Calidad

*“Lideramos el mercado de perfilería de aluminio, brindando atención profesional y personalizada que garantice la satisfacción de nuestros clientes, comprometidos con el cumplimiento de sus requisitos y la mejora continua de los procesos”.*<sup>7</sup>

### 3.1.3 Breve Descripción de las Áreas de CEDAL S.A.

CEDAL S.A. está conformada por ocho de las cuales Fundición, Extrusión, Anodizado, Pintura y Empaque forman parte del proceso de producción del Aluminio, y las restantes: Bodega, Matricería y Bodega de Producto Terminado; sirven de apoyo para el funcionamiento de este proceso.



**Figura 1. Proceso de Fabricación de los Perfiles de Aluminio**

El (Anexo 3), muestra el Flujo grama de procesos CEDAL.S.A

#### 3.1.3.1 Área de Fundición

Ésta área produce a partir del material de reproceso, o chatarra (que se lo adquiere por proveedores externos), los lingotes de Aluminio para utilizarlos como materia prima en la extrusión de perfiles, barras, varillas y tubos de aluminio.

---

[<sup>7</sup>] <http://www.cedal.com.ec>



**Figura 2. Fundición de Aluminio.**

### **3.1.3.2 Área de Extrusión**

La extrusión es un proceso de deformación, utilizado para elaborar productos metálicos largos, rectos tales como; barras, secciones huecas y llenas, tubos, alambres y tiras. El principio es muy sencillo; bajo presión, un lingote (masa sólida que se obtiene vaciando el metal líquido en un molde), se comprime en un compartimiento cerrado haciéndolo pasar a través de una matriz para obtener una reducción de sección.



**Figura 3. Prensa de Extrusión.**

### **3.1.3.3 Área de Anodizado**

Luego del extruido o decapado, este material entra en contacto con el aire y forma óxido de aluminio, que tiene mínimas propiedades protectoras.



**Figura 4. Anodizado de Perfiles de Aluminio.**

El proceso de anodizado consiste en obtener de manera artificial, películas de óxido de mucho más espesor y con mejores características de protección que las capas naturales; éstas se obtienen mediante procesos químicos y electrolíticos.

#### **3.1.3.4 Área de Pintura**

Las piezas pintadas, ingresan al horno de curado donde las partículas de pintura se unen unas con otras, formando una película continua y uniforme, que cubren al objeto pintado proporcionándole funciones protectoras y decorativas.



**Figura 5. Pintado de Perfiles de Aluminio.**

#### **3.1.3.5 Área de Empaque**

Consiste en recibir el producto terminado que proviene de Anodizado y formar paquetes según ordenes de pedido, el mismo que es empacado; con papel Kraf si el

producto es para venta local; y en papel polietileno si el producto es para venta internacional.



**Figura 6. Empacado de Perfiles de aluminio.**

Dentro de este proceso se encuentra el Departamento de Despacho, que se encarga de coordinar cada uno de los pedidos y enviarlos al cliente final.

### **3.2 Productos que Realiza la Empresa CEDAL S.A.**

- **Productos Extruidos**

La extrusión se realiza en una prensa que obliga al material caliente a pasar por una matriz cuya sección es la del perfil deseado.



**Figura 7. Perfiles Extruidos.**

- **Productos Planos**

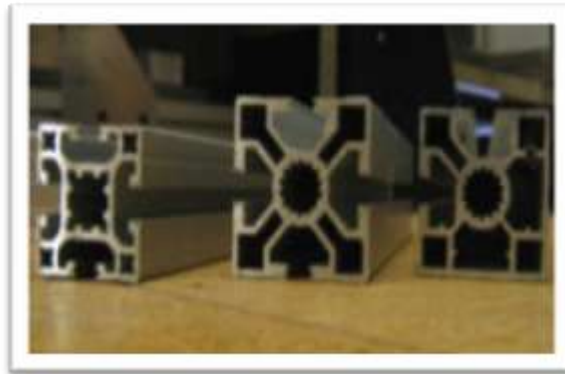
Se producen por laminación, que consiste en reducir un metal a chapa o perfilados, haciendo pasar los lingotes o barras por entre los cilindros laminadores.



**Figura 8. Perfiles Planos.**

- **Productos Trefilados**

Las barras o hilos de metal pasan por orificios que reducen su diámetro.



**Figura 9. Perfiles Trefilados.**

- **Productos Fundidos**

Se producen vaciando el metal en moldes de forma apropiada.



**Figura 10. Lingotes de Aluminio.**

### 3.2.1 Acabados de los Productos

**Tabla 2. Tipos de Acabados más Usuales de los Productos Producidos en la Planta.**

<b>Acabados</b>	<b>Definición</b>
<b>Natural</b>	El perfil de aluminio no recibe ningún tratamiento; su resistencia se debe gracias a una delgada capa de óxido de aluminio natural que se forma al ser expuesto el aluminio al medio ambiente
<b>Pintado</b>	Se realiza el proceso de preparación de la superficie y el secado, para la posterior aplicación de la pintura, la cual es fijada al calor (En horno).
<b>Anodizado Industrial</b>	Proceso electrolítico de oxidación mediante el cual se incrementa la capa de óxido natural, mejorando su resistencia a la intemperie y acabados.
<b>Pulido</b>	Consiste en pulir con escobillones especiales la superficie del aluminio; también existe el pulido químico.
<b>Coloreado</b>	Se realiza mediante un proceso electroquímico con sales inorgánicas, posteriormente se realiza el sellado en una tina con agua desionizada en ebullición.

**Fuente:** CEDAL S.A.; elaboración propia

### **3.2.2 Características Técnicas del Producto**

El aluminio puro es relativamente débil, por ello se han desarrollado diversas aleaciones con varios metales como, el cobre, magnesio, manganeso y zinc; por lo general, en combinaciones de dos o más de estos elementos; junto con hierro y silicio obteniéndose una infinidad de aleaciones para una gran variedad de aplicaciones incluso con características superiores al acero. La Aluminium Association Inc (AAI), ha clasificado las aleaciones de aluminio mediante la siguiente nomenclatura:

**Tabla 3. Características de Aleaciones del Grupo de 1000 a 7000.**

SERIE	CARACTERÍSTICAS
Serie 1000 aluminio con un mínimo de pureza de 99%	Alta resistencia a la corrosión
	No tóxico
	Excelente acabado
	Excelente maleabilidad
	Alta conductividad eléctrica y térmica
	Excelente reflectividad
Serie 2000 Aleado con Cobre	Alta resistencia mecánica
	Alta resistencia a la corrosión
	Buena maquinabilidad
Serie 3000 Aleado con Manganeso	Buena resistencia mecánica
	Alta resistencia a la corrosión
	Buena maleabilidad
Serie 4000 Aleado con Si	Alta resistencia al calor
Serie 5000 Aleado con Mg	Buena resistencia mecánica
	Alta resistencia a la corrosión, especialmente al agua de mar
	Muy buena soldabilidad
Serie 6000 Aleado con Silicio – Magnesio	Buena resistencia mecánica
	Buena resistencia a la corrosión
	Buena maquinabilidad
	Buena soldabilidad
Serie 7000 Aleado con Zinc.	Alta resistencia mecánica
	Buena maquinabilidad

Fuente: <http://www.furunkawua.com/aleaciones.php>

**Tabla 4. Aplicaciones del Aluminio.**

Aplicaciones del aluminio	
Industria	Aplicación
Transporte Terrestre	Carrocerías, bastidores, tabloneros para pisos, radiadores, motores, casas rodantes, vehículos refrigerados, bicicletas, mototaxis, cisternas, contenedores, remolques, etc.
Transporte Aéreo y Marítimo	Estructuras y superestructuras de embarcaciones.
Agronomía	Techos y paredes de silos, comederos para granjas, sistemas de irrigación, tanques de almacenamiento, invernaderos, etc.
Construcción	Ventanas, puertas, mamparas, enrejados, fachadas, estructuras, techados y placas para paredes, accesorios, casas pre fabricadas, cámaras frigoríficas, pisos, barandas, rejas, señalización y carteles de publicidad, accesorios, etc.
Minería / Energía / Electricidad	Estructuras, soportes de techo, artesas de transporte de mineral, tuberías portacables, tuberías para conducción de líquidos y gases, luminarias y artefactos de iluminación.
Metal Mecánica	Partes y piezas para máquinas, andamios, rejas, estructuras soldadas y reforzadas.
Varios	Remaches, pernos, tornillos, utensilios de cocina, disipadores de calor, escaleras, antenas, torres de comunicación, implementos para deportes, etc.

Fuente: <http://www.furunkawa.com/aleaciones.php>

**Tabla 5. Composición Química de las Aleaciones más Utilizadas.**



Composición Química										
Aleación	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Otros	Al
AA3003	0,6	0,7	0,05 - 0,2	1 -1.5	--	--	0,1	--	0,15	Resto
AA6061	0,4 - 0,8	0,7	0,15 - 0,4	0,15	0,80-1,2	0,25	0,15	0,15	0,15	Resto
AA6063	0,2 - 0,6	0,35	0,1	0,1	0,45 - 0,9	0,1	0,1	0,1	0,15	Resto
Aleación	Fabricación			Corrosión		Remachado	Otros	Utilizar aleación:		
				Gran Resistencia						
AA3003	Chapas con tratamiento H-14, H-16			Acción atmosférica Agua potable Agua de mar Suciedad		1200 – F	Fácilmente mecanizable y soldable por TIG o MIG			
AA6061	Chapas, placas, perfiles y tubos extruídos en T4 y T6			Acción atmosférica Agua potable Suciedad		6053 - T6A	Fácilmente mecanizable y soldable por TIG o MIG			
AA6063	Perfiles y tubos extruídos en T4, T5 y T6 Tubos estirados en T6			Acción atmosférica Apropiado para uso arquitectónico		6063 - T6A	Fácilmente mecanizable y soldable por TIG o MIG			

Fuente: <http://www.furunkawua.com/aleaciones.php>

**Tabla 6. Propiedades Físicas de las Aleaciones más Utilizadas en CEDAL S.A.**

Propiedades Físicas							
Aleación	Gravedad Específica		Módulo de elasticidad		Coeficiente de dilatación lineal	Conductividad eléctrica	Conductividad Térmica
	20°C		Tensión y compresión	Cor te	20 ~ 100°C	20°C	20°C
	kg/dm <sup>3</sup>	lb/pulg <sup>3</sup>	Klps/pulg <sup>2</sup>		Um/m - °C	% IACS	Wim-K
AA3003	2,73	0,099	10 000	3 750	23,6	46	193
AA6061	2,69	0,097	10 000	3 750	23,6	55	209
AA6063	2,7	0,098	10 000	3 750	23,6	43	167

Fuente: <http://www.furunkawua.com/aleaciones.php>

**Tabla 7. Características del Grupo Aleaciones Utilizadas.**

Características Mecánicas Mínimas								
Tratamiento	Espesor		Tracción		Límite elástico a compresión	Fuerza constante		Aplastamiento
	Pulg	Mm	Rotura	Elástico	kg/cm <sup>2</sup>	Rotura	Límite elástico	Rotura
			kg/cm <sup>2</sup>	(2%)kg/cm <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
3003 H14	0,01 - 0,249	0,25 - 6,32	1400	1200	1125	845	705	2810
3003 H16	0,01 - 0,188	0,25 - 4,78	1690	1475	1265	985	845	3375
3003 Soldadura	Todos		985	350	350	560	210	----
6061 T4	Todos		1830	1125	1125	1124	705	3655
6061 T6	Todos		2670	2460	2460	1617	1475	5625
6061 Soldadura	Todos		1690	1125	1125	1055	705	---
6063 T5	Todos		1475	1195	1195	845	705	2955
6063 T6	Todos		2110	1760	1760	1055	915	3655
6063 Soldadura	Todos		1195	775	775	705	420	---

Fuente: <http://www.furunkawa.com/aleaciones.php>

**Tabla 8. Composición Química Generalizada Aleación 6063 O AlMgSi0,5.**

	Fe	Si	Mg	Mn	Cu	Ti	Zn	Cr	Otros	Al
<b>Máximo</b>	0,30	0,60	0,60	0,30	0,10	0,20	0,15	0,05	0,15	Resto
<b>Mínimo</b>	0,10	0,30	0,40	-	-	-	-	-	-	

Fuente: <http://www.balumco.com/aleaciones.php>

### 3.2.3 Temple

El templeado consiste en el endurecimiento de un metal mediante un calentamiento profundo y sometiéndolo a un enfriamiento brusco. Esencialmente el proceso de temple consta de dos fases; la primera tiene por objeto mejorar la dureza y la flexibilidad del metal modificando su estructura interna por el calor; y, la segunda permite que el metal conserve las características previamente adquiridas, especialmente la dureza y flexibilidad.

**Tabla 9. Principales Características Físicas en Estado T5\*.**

<b>Módulo de elasticidad</b>	6.800 kg/mm <sup>2</sup>	<b>Dureza Rockwel</b>	68
<b>Conductiv. Térmica a 20° C</b>	209 W/mK	<b>Dureza Brinell</b>	70
<b>Conduct. Eléctrica % IACS</b>	55,5	<b>Carga de Rotura</b>	22-23 Kg/mm <sup>2</sup>
<b>Coef. dilat. Lineal entre</b>	23,5/106 K	<b>Límite elást. 0,2 Kg/mm<sup>2</sup></b>	20 Kg/mm <sup>2</sup>
<b>Peso específico</b>	2,7 Kg/dm <sup>3</sup>	<b>Alargam. (5,65%)</b>	14
<b>Resistividad eléctrica a 20oC</b>	3,1 fiícm	<b>Límite de fatiga</b>	15 Kg/mm <sup>2</sup>
<b>Intervalo de fusión</b>	615-655	<b>Resistenc. a cizallad.</b>	13-14 Kg/mm <sup>2</sup>
<b>Dureza Webster</b>	12-13		

Fuente: <http://www.balumco.com/aleaciones.php>

**Tabla 10. Sistema Básico de Normalización.**

<b>Símbolo</b>	<b>Temple más utilizados</b>
F	En estado bruto
O	Recocido mediante tratamiento térmico.
H	Endurecido mediante tratamiento mecánico. (Por deformación)
T	Temple obtenido por tratamiento térmico con o sin tratamiento mecánico.
T#	La letra T indica que el metal ha sido sometido a tratamiento térmico. El número final indica el tipo de tratamiento térmico.
T4	Solución tratada térmicamente y envejecida en forma natural hasta una condición considerablemente estable
T5	Enfriada desde un proceso de conformación a una temperatura elevada y luego envejecida de manera artificial
T6	Solución tratada térmicamente y luego envejecida en forma artificial.

Fuente: [http://www.tdr.cesca.es/tesis\\_upc/available/TDX-0725105-155028//07Mtbp07de29.pdf](http://www.tdr.cesca.es/tesis_upc/available/TDX-0725105-155028//07Mtbp07de29.pdf)

**Tabla 11. Información de Normas Técnicas Según NTE INEN Utilizadas en CEDAL S.A.**

DOCUMENT.	No.	TITULO	OBL.	Vol	ACUERDO	REGISTRO
◆NTE INEN	255	Control de calidad. Procedimientos de muestreo y tablas para la inspección por atributos		1	1314 de 1979-12-03	93 de 1979-12-26
NTE INEN	2055	Productos derivados del petróleo. Solvente No. 2. Requisitos	1	1	0807 de 1995-12-26	860 de 1996-01-11

### **3.2.4 Maquinaria y Equipos**

CEDAL S.A. es una Planta de refusión de aluminio, tipo compacta de colado continuo de lingotes, la cual está compuesta por 3 partes principales:

- 1). Horno de fusión de aluminio + equipo de carga.
- 2). Equipo de casting (moldeo) de lingotes.
- 3). Horno de homogenizado.

[\*] T5 = Estado del aluminio después de extruido, enfriado al aire y envejecido a 175°C.

Cada uno de estos equipos se encuentra conformado por diferentes partes/equipos secundarios: (**Anexo 4**)

**1)** Horno de fusión de aluminio + equipo de carga.

- Equipo de carga. Cargador de chatarra de aluminio + balanza + plataforma de trabajo para adicionar químicos y remover la escoria.
- Horno de fusión.- Compuesto por 2 cámaras: fusión y colado (casting).
- Sistema de combustión.- 2 quemadores (1/cada cámara)+ ducto de salida de gases de escape + sistema recuperador de calor + panel de control.

A continuación se detallan en el siguiente cuadro los equipos y materiales utilizados.

**2)** Equipo de casting (moldeo) de lingotes.

- Canales y sistema de control de flujo de aluminio a la salida del horno (cono de regulación).
- Unidad desgasificadora.- Compuesta por un rotor y un impeller de grafito que inyectan argón a la colada.
- Tundish + filtro.- Que filtran las posibles impurezas presentes en el colado y se encargan de alimentar el aluminio que se requiere en los moldes.
- Moldes.- Elementos de aleación de cobre que dan la forma circular a los lingotes; se encuentran refrigerados con agua y poseen un sistema de lubricación con aceite vegetal biodegradable, para controlar el flujo que se requiere, los moldes están acoplados a varios elementos cerámicos (placas, empaques).
- Mesa de salida.- Sistema de conveyor de cadena que guía los lingotes luego del tundish.
- Sierra volante.- Sierra que corta los lingotes a la longitud requerida en forma dinámica.
- Sistema expulsor de lingotes.

**3)** Horno de Homogenizado.

- Carros de carga (2).
- Horno.
- Sistema de enfriamiento de lingotes: (2) paneles fijos + (1) móvil.

### **3.2.5 Materiales**

Detalle de insumos principales:

**El silicio.** Es uno de los principales componentes de la aleación 6063, proporciona características físicas específicas de dureza se funde a 1500°C.



**Figura 11. Silicio.**

### **El magnesio**

Se conoce desde hace mucho tiempo como el metal estructural más ligero en la industria, debido a su bajo peso y capacidad para formar aleaciones mecánicamente resistentes. También tiene muchas propiedades químicas y metalúrgicas deseables que lo hacen apropiado para aplicaciones no estructurales, cumplen con las normas técnicas establecidas.



**Figura 12. Magnesio.**

El uso principal del magnesio sirve como elemento de aleación del aluminio, formándose la aleación aluminio-magnesio, que se emplean en componentes de

automóviles, como llantas; y en maquinaria diversa. **El metal además, se adiciona para eliminar el azufre.**

Otros usos son:

- Aditivo en propelentes convencionales.
- Obtención de fundición nodular (hierro-silicio-Mg), es un agente esterilizante/nodulizante del grafito.

a) **Tibor; Aleación de Titanio (Ti) y Boro (B).** Utilizado como refinador de grano.



**Figura 13. Tibor Aleación de Titanio (Ti) y Boro (B).**

### **Características Físicas del Titanio:**

Es un metal de transición “elemento cuyo átomo tiene una subcapa d incompleta o que puede dar lugar a cationes con una subcapa d incompleta.”<sup>8</sup>

- Ligero: su densidad o peso específico es de 4507 kg/m<sup>3</sup>
- Tiene un punto de fusión de 1675 °C (1941 K)
- La masa atómica del titanio es de 47,867 u
- Es de color plateado grisáceo.

---

[<sup>8</sup>] Definición de la IUPAC

- Es paramagnético, es decir, no se imanta debido a su estructura electrónica.
- Abundante en la naturaleza.
- Reciclable.
- Forma aleaciones con otros elementos para mejorar las prestaciones mecánicas.
- Es muy resistente a la corrosión y oxidación.
- Refractario.
- Poca conductividad: No es muy buen conductor del calor ni de la electricidad<sup>9</sup>

### **Características Físicas del Boro:**

- Número atómico 5, masa atómica (g/mol) 10,811.
- Su gran reactividad a temperaturas altas, en particular con oxígeno y nitrógeno, lo hace útil como agente metalúrgico desgasificante.
- Se utiliza para refinar el aluminio y facilitar el tratamiento térmico del hierro maleable.
- Es de color negro azabache a gris plateado con brillo metálico.
- Punto de fusión 2030 °C.
- El boro tiene además cualidades lubricantes similares al grafito y comparte con el carbono la capacidad de formar redes moleculares mediante enlaces covalentes estables.
- Posee una densidad 2460 kg/m<sup>3</sup>.<sup>10</sup>

**b) Argón (Ar).** Gas inerte usado como medio para desgasificar el colado de aluminio en la unidad desgasificadora a la salida del horno; grado de pureza 5 (100% puro); actúa como gas protector para evitar efectos oxidantes (shield-gas) en la fabricación del acero ya que la adición del argón reduce las pérdidas de cromo sin alterar el contenido final de carbono<sup>11</sup>

---

[<sup>9</sup>] [http://es.wikipedia.org/wiki/Titanio#Caracter.C3.ADsticas\\_del\\_titanio](http://es.wikipedia.org/wiki/Titanio#Caracter.C3.ADsticas_del_titanio)

[<sup>10</sup>] <http://es.wikipedia.org/wiki/Boro>

[<sup>11</sup>] [www.aga.com.ec](http://www.aga.com.ec)



**Figura 14. Entrada de Argón para la Mezcla Homogénea.**

**c) Nitrógeno Comprimido ( $N_2$ ).** Utilizado como sustituto del argón en la cámara de casting con el propósito principal de agitar el colado y mantener homogéneo. La industria del metal utiliza el Nitrógeno como gas inerte para la explotación y producción de las siguientes aplicaciones:

- Inertización.
- Tratamiento térmico.
- Extrusión de aluminio.
- Fundición de aluminio.

El Nitrógeno es el gas adecuado para desplazar el Oxígeno, romper el triángulo de la quema y evitar la explosión como un eficaz gas inerte; el Nitrógeno se ha utilizado durante algún tiempo en la industria del aluminio para reducir la formación de óxidos de salida. El Nitrógeno proporciona una atmósfera en la que se inhibe la formación de óxido, con un rendimiento de mejorar la calidad de la superficie y que permite una mayor velocidad de extrusión, aumentando la producción sin añadir fisuras<sup>12</sup>.

**d) Aceite Lubricante para los Moldes.** La empresa CEDAL S.A., utiliza aceite EXAL 45 para lubricar sus moldes y facilitar la formación de los lingotes de aluminio.

---

[<sup>12</sup>] [www.sysadvance.com](http://www.sysadvance.com)



**Tabla 12. Aceites Empleados para Lubricación de Moldes.**

Aceite Aditivo	Viscosidad (aprox.)	Descripción
Exal 20	22 mm <sup>2</sup> /40°C	Minerales que contienen aceite de molde agente separador Molde de partida basado en agentes vegetales.
<b>Exal 45</b>	<b>32 mm<sup>2</sup>/40°C</b>	Especialmente para los moldes de cabeza caliente para automático y manual lubricación, sierras de lingotes de aluminio, dibujo y agentes de deslizamiento La transformación del caucho y el acero. Biodegradable.
Exal 55	100 mm <sup>2</sup> /40°C	
Exal 65	220 mm <sup>2</sup> /40°C	
Exal 70	320 mm <sup>2</sup> /40°C	
Exal 75	460 mm <sup>2</sup> /40°C	
Exal 80	680 mm <sup>2</sup> /40°C	
Exal 90	1500 mm <sup>2</sup> /40°C	

Fuente: <http://www.Schoroeder-schmierstoffe>

e) **Materiales Cerámicos.** Utilizados en los canales, tundish, y para la preparación de los moldes.

- **Nitruro de Boro.** Es un producto usado para proteger los Header Plates (moldes muy resistentes) de ataques químicos usados para la absorción de diversos metales no ferrosos fundidos, y como revestimiento protector.



**Figura 15. Nitruro de Boro (Fiberfrax).**

**Tabla 13. Propiedades Físicas.**

<b>Color:</b>	Blanco	<b>Porcentaje de Sólidos:</b>	16%
<b>Ligante:</b>	Alúmina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	<b>Porcentaje de Nitruro de Boro:</b>	10 %
<b>Temperatura de Uso:</b>	850°C (oxidante); 1350 °C (reductora/inerte)	<b>Densidad:</b>	(1,05-1,10) g/cm <sup>3</sup>

Fuente: <http://www.unifrax.com.br>

**Tabla de Fibra Cerámica.** Se caracteriza por ser un excelente aislante diseñado especialmente para soportar el flujo de gases a alta velocidad debido a su baja conductividad térmica es ideal para chimeneas de calentadores ductos y hornos. La tabla fibra cerámica permite obtener almacenaje de calor y un acceso rápido para mantenimientos<sup>13</sup>



**Figura 16. Tabla de Fibra Cerámica (Nutec Fibratec).**

**Colchoneta de Fibra Cerámica “FIBRATEC”.** Está hecha a base de fibras cerámicas largas y entretejidas formando una colchoneta flexible de peso ligero para aplicaciones a temperaturas de 538° C (1000° F) hasta 1482° C (2700° F).

La Colchoneta Fibratec combina la resistencia al calor de un ladrillo refractario con bajo peso y la flexibilidad de una fibra refractaria. Tiene mayor capacidad aislante que un refractario duro<sup>14</sup>



**Figura 17. Colchoneta de Fibra Cerámica (Fibratec).**

---

[<sup>13</sup>] [www.nutecfibratec.com](http://www.nutecfibratec.com)

[<sup>14</sup>] [www.nutecfibratec.com](http://www.nutecfibratec.com)

[<sup>15</sup>] [www.nutecfibratec.com](http://www.nutecfibratec.com)

### **Ventajas:**

- Baja Conductividad térmica.
- Bajo almacenamiento de calor.
- Resistencia al choque térmico.
- Absorbe el sonido.
- La instalación puede ser expuesta a temperatura de operación inmediatamente.
- No requiere secado ni curado.
- Alta resistencia a la tensión.
- No contiene asbesto.
- No contiene aglutinantes.
- No causa humos ni contaminación en la atmósfera<sup>15</sup>

**Papel de Fibra Cerámica.** Es un material refractario ligero, procesado de fibras de alúmina-silica de alta pureza en una hoja altamente flexible y uniforme. Es recomendada para uso continuo en temperaturas de hasta 1600 °C (3000 °F); tiene poco encogimiento posee resistencia, fácil manejo y baja conductividad térmica. Contiene poca cantidad de aglutinantes orgánicos para su proceso; que lo hace flexible y reduce las emisiones durante su operación.

Tiene una estructura altamente uniforme debido al proceso que controla su peso y espesor, asegura conductividad térmica homogénea y una superficie limpia, suave, ideal para sellos; no contiene asbesto y está diseñado para ser un reemplazo económico del papel de asbesto en muchas aplicaciones.<sup>16</sup>



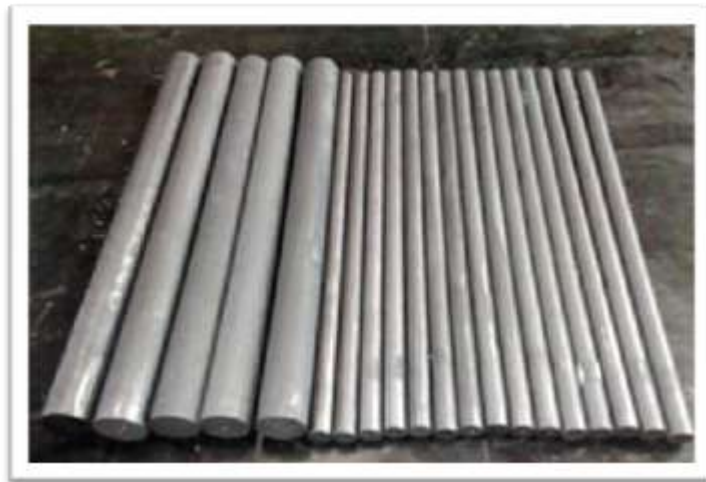
**Figura 18. Papel de Fibra Cerámica Nutec Fibratec.**

---

[<sup>16</sup>] [www.nutecfibratec.com](http://www.nutecfibratec.com)

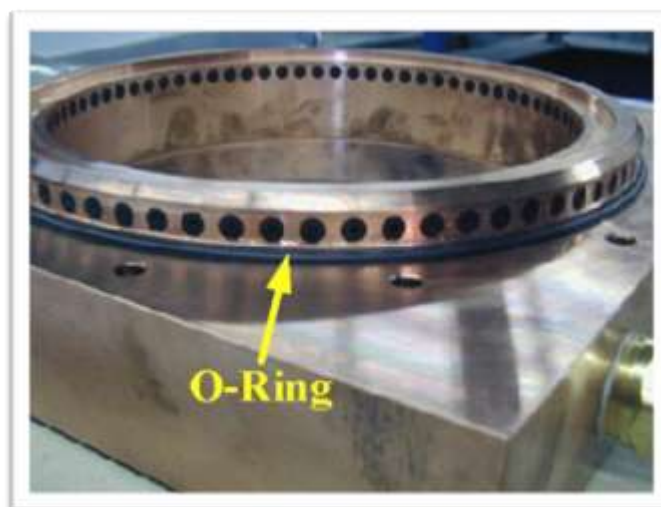
**f) Materiales Varios.** Varillas de grafito, aceite para corte, o-rings, polvo desmoldante.

- **Varillas de Grafito (6mm).** son desarrollados para industrias dedicadas a la fundición de metales no ferrosos, como son el aluminio, cobre y sus aleaciones durante los procesos de limpieza y desgasificado. Poseen un difusor poroso el cual genera gran cantidad de pequeñas burbujas para un desgasificado más eficiente con un tratamiento especial, prolonga la vida útil, retardando la oxidación y reduciendo el desgaste por abrasión.



**Figura 19. Varillas de Grafito.**

**O-ring.** Dispositivo circular de caucho utilizado para evitar la fuga de aceites en las ranuras de los moldes de fundición.



**Figura 20. O-ring Sobre Molde de Fundición.**

### **3.3 Análisis del Proceso Productivo**

- Recepción de la materia prima (chatarra y aluminio primario), importado y nacional.
- Traslado de materia prima al área de fundición.
- Almacenamiento de materia prima según su clasificación (chatarra negra nacional; chatarra mesa de extrusión importada; chatarra negra importada; aluminio primario 99,7%; alambre de aluminio).
- Transporte de materia prima al horno de fundición.
- Colocación de la materia prima en cargador de chatarra.
- Registro de carga y pesaje de la chatarra de aluminio.
- Introducción de la chatarra de aluminio a horno de fusión (melting).
- Adición de silicio (Si) y magnesio (Mg), según porcentaje necesario en horno de fusión y colado (casting).
- Controla el proceso de colado.
- Inyección de nitrógeno al horno de fusión a través de su sistema interno.
- Limpia la escoria del horno de fusión.
- Abre el cono sellador cerámico que tiene el Casting, para que el fluido de aluminio líquido pase al desgasificador.
- Agrega el aditivo Tibor (Titanio-Boro), en el fluido de la colada.
- Se adhiere Argón de pureza (4,7%); a la colada a través de la barra de grafito en el Desgasificador.
- Realiza el control de aleación de aluminio, con ensayo de probetas cada hora según el turno de trabajo.
- Calienta y colocar el filtro cerámico en tundish.
- Coloca los moldes de aleación de cobre en la parte inferior del tundish.
- Verifica el nivel de altura entre los moldes y la mesa de salida con barras de inicio.
- Controla parámetros de inyección de aluminio en los moldes: velocidad de mesa de salida; longitud de lingotes; temperatura de (tundish, agua, casting, melting, desgasificador); revisión de filtros, tubería de agua, nivel de aceite lubricante.
- Registra y reportar los lingotes de producidos.
- Transporta los lingotes hacia el horno de homogenizado.
- Coloca los paneles fijos y móviles para el enfriamiento de lingotes.
- Registra luego de haber cumplido el ciclo de homogenizado.
- Transporta lingotes hacia la máquina de corte (sierra loma).

- Corta lingotes en billets de acuerdo al tamaño requerido por el Área de Extrusión.
- Finalmente se registra los lingotes aprobados de aluminio para entregar al área de bodega.

El (**Anexo 5**) muestra la descripción completa de actividades generales y el (**Anexo 6**) se ve el proceso actual.

De acuerdo al proceso de fundición que se detalló anteriormente usando una lista; y, el diagrama de proceso con el cual se trabaja en el área de fundición actual tiene un diagrama de recorrido que no son más que representaciones por medio de líneas o hilos para poder visualizar de mejor manera todo el trabajo realizado en el área de fundición para obtención de lingotes; que se podrá visualizar en el Diagrama de Recorrido (**Anexo 7**).

### **3.4 Descripción del Proceso de Fusión y Colado del Aluminio**

#### **3.4.1 Proceso de Fusión**

##### **3.4.1.1 Recepción y Almacenamiento Temporal**

En áreas de fundición disponibles, ya sea nacional e importado y generada en los procesos de la planta CEDAL S.A.



**Figura 21. Chatarra Almacenada.**

##### **3.4.1.2 Aluminio Primario**

Pureza > 99.5%, importado en su totalidad para mejorar la calidad de fundición de aluminio.



**Figura 22. Aluminio Primario Aluar 99,5%.**

### **3.4.1.3 Control de Calidad**

Se realiza toma de muestras de las **chatarras** adquiridas para ser clasificado según su composición química y emplearlo en la fundición.

### **3.4.1.4 Transporte de Chatarra**

Utilización de montacargas, para facilitar los movimientos y elevación de cargas necesarias de chatarra.



**Figura 23. Transportador de Chatarra.**

### **3.4.1.5 Cargador de Chatarra de Aluminio**

Posee su propia balanza y transporta la chatarra al interior del horno, con la facilidad de tener movimiento radial sin alterar o mover bruscamente el aluminio líquido.



**Figura 24. Cargador de Chatarra.**

#### **3.4.1.6 Plataforma de Trabajo**

Utilizado para adicionar químicos y remover la escoria producida en la fundición.

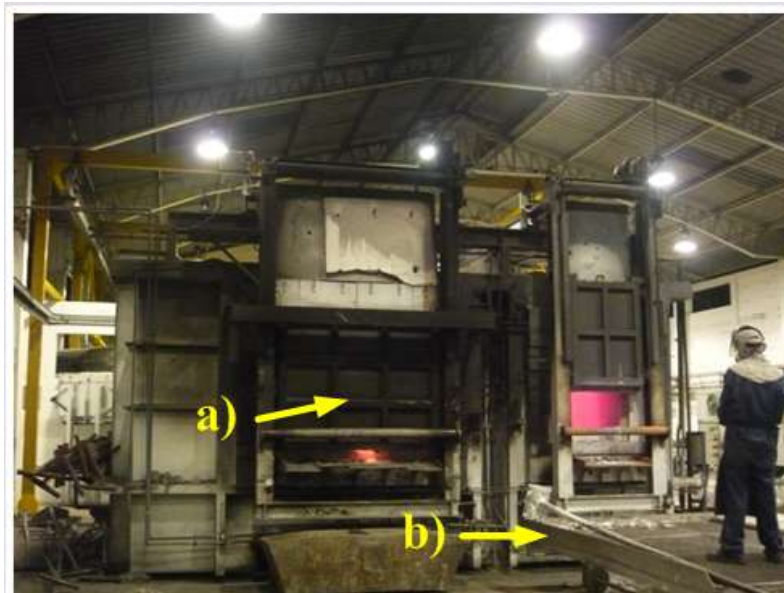


**Figura 25. Plataforma de trabajo.**



### 3.4.1.7 Horno de Fusión (Melting).

Compuesto de un quemador; ducto de salida de gases de escape; sistema recuperador de calor; panel de control. Tiene la función principal de fundir los diferentes tipos de chatarra de aluminio hasta llegar a su punto de fusión (660°C).



**Figura 26. a) Horno de Fusión y b) Plataforma de Fundición.**

### 3.4.1.8 Operador y Ayudante.

Revisa el nivel de aluminio líquido, remueve las escorias, realiza el pesaje de chatarra, manipula los controles y ejecuta limpieza del área de hornos.

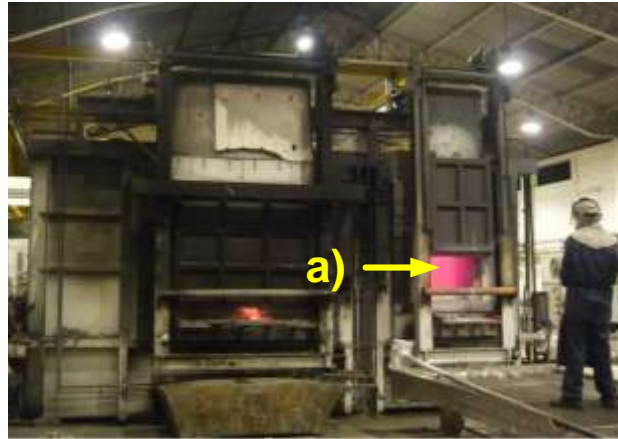


**Figura 27. Operador.**

### **3.4.2 Proceso de Colado.**

#### **3.4.2.1 Horno de Colado (Casting).**

Posee un quemador, ducto de salida de gases de escape, sistema recuperador de calor, panel de control.



**Figura 28. a) Horno de Colado.**

#### **3.4.2.2 Especialista de Producción.**

Controla los siguientes parámetros.

- Temperatura horno de fusión < 900°C.
- Temperatura horno de mantenimiento < 800°C.
- Temperatura tundish < 730°C.
- Velocidad de mesa de salida (establecida por el jefe de fundición).
- Registro de análisis de espectrómetro, ingresar los datos promedio de Al, Fe, Si y Mg.
- Ingresar los promedios, en la hoja de cálculo en Excel "calculo de aleantes-Hertwich".
- Mantener los parámetros de aleación establecido,(se trabaja según las pruebas obtenidas (Se trabaja según las pruebas obtenidas con el área de Extrusión)

Fe. (min. 0,18 – máx. 0,22) %.

Si. (min. 0,35 – máx. 0,40) %.

Mg. (min. 0,47 – máx. 0,51) %.

### **3.4.2.3 Canales y Sistemas de Control de Flujo.**

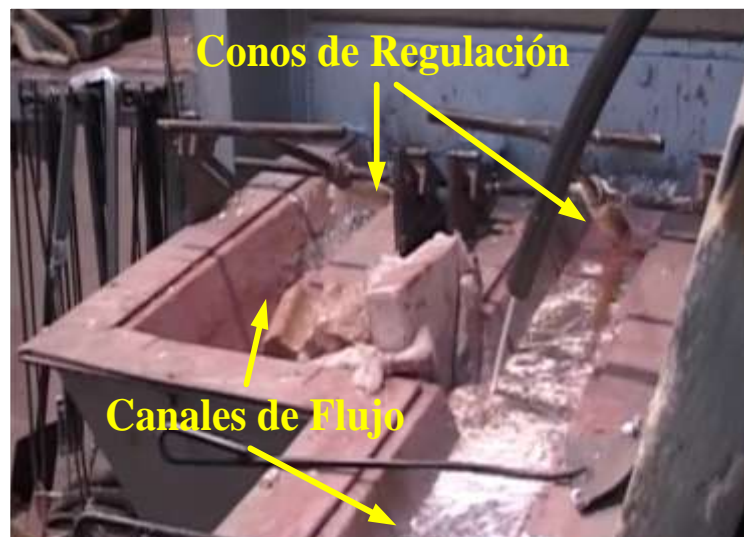
Permiten la salida continua y homogénea de aluminio líquido con su temperatura de fusión.



**Figura 29. Canales de Flujo de Colada**

### **3.4.2.4 Cono de Regulación.**

Compuesto y realizado de materiales refractarios de fundición, permiten la salida estable de aluminio líquido



**Figura 30. Cono de Regulación.**

#### **3.4.2.5 Desgasificadora.**

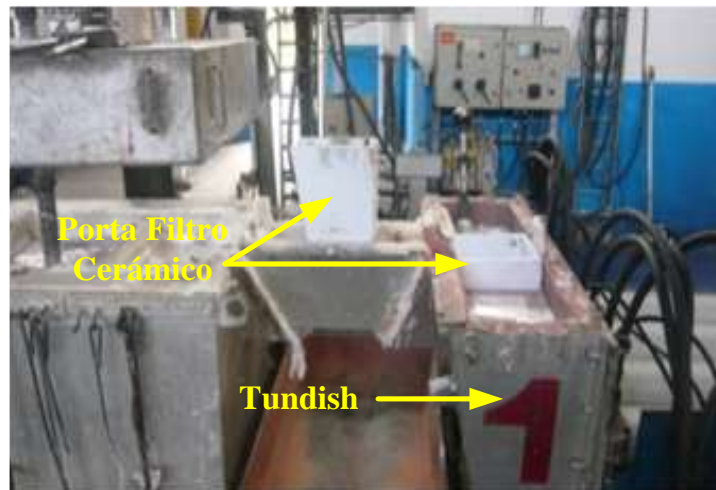
Posee un rotor y un impeller de grafito que inyectan argón al colado, tiene la función principal de eliminar posibles burbujas o bolsas de aire del colado de aluminio.



**Figura 31. Unidad Desgasificadora Donde se Añade (Ti-Bor).**

#### **3.4.2.6 Tundish y Porta Filtro Cerámico.**

Son fabricados de diferentes elementos refractarios, con la capacidad de eliminar impurezas presentes en el colado.



**Figura 32. Tundish y Filtro.**

#### **3.4.2.7 Moldes.**

Son fabricados de aleación de cobre y dan la forma circular a los lingotes, poseen un sistema de inyección de agua y aceite vegetal biodegradable; permite la formación de lingotes de aluminio. Para controlar el flujo que se requiere en los moldes, estos están previstos de elementos cerámicos (placas, empaques).

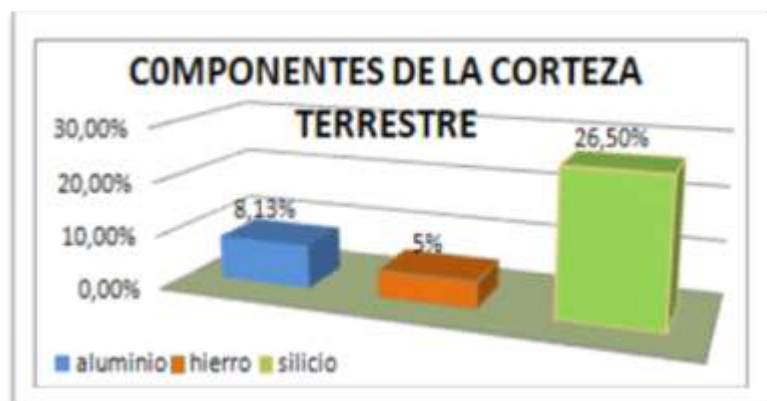


**Figura 33. Moldes para Realizar Lingotes.**

### 3.5 Chatarra y Aluminio Primario

#### 3.5.1 Generalidades Técnicas del Aluminio.

Es uno de los principales componentes de la corteza terrestre en una proporción del 8,13%; superior a la del hierro, que se supone es de un 5%, y solamente superada entre los metales por el silicio (26,5%).



**Figura 34. Componentes más Abundantes de la Naturaleza.**


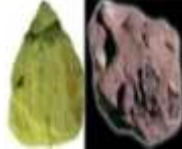

El aluminio no se encuentra puro en la naturaleza, sino formando parte de los minerales, (uno de los más importantes son: las bauxitas); para la obtención del aluminio; se procede a la calcinación de la mena enriquecida, hasta obtener un nuevo material, la alúmina, un óxido de aluminio. Después, mediante un proceso químico llamado electrolisis, se separan los componentes de este óxido y se aísla el aluminio. El aluminio puede llegar a tener una pureza del 99,5 %.



**Figura 35. Bauxita.**

### 3.5.1.1 Propiedades del Aluminio.

**Tabla 14. Propiedades del Aluminio**

<p><b>Propiedades físicas</b></p> 	<p>Metal blanco brillante. Pulido semeja a la plata. Peso específico es 2,699</p> <p>Metal más ligero que el Al es el Mg</p> <p>Su conductividad eléctrica es 60%, la del Cu y 3,5 veces &gt;Fe.</p> <p>Su punto de fusión es 660°C.</p> <p>Punto de ebullición 2.450°C.</p>
<p><b>Propiedades químicas</b></p> 	<p>Su gran afinidad con el O por lo que se emplea para la desoxidación</p> <p>Para la fabricación de explosivos, etc.</p> <p>Aunque parezca contrasentido, el Al es completamente inalterable en el aire, lo recubre una delgada capa de óxido, de algunas centésimas de micra, que protege el resto de la masa de la oxidación.</p>
<p><b>Propiedades mecánicas</b></p> 	<p>Su débil resistencia mecánica, y su ,gran ductilidad y maleabilidad permite forjarlo.</p> <p>Trefilarlo en hilos delgados y laminarlo en panes tan finos como los del Au, hasta de un espesor de 0,0004 mm (0,4 micras).</p> <p>A la temperatura de 500°C se vuelve frágil y se puede pulverizar fácilmente.</p>

Fuente: <http://ingenieriademateriales.wordpress.com/>

### **Cuidados del aluminio**

- El aluminio es un material blando, que evita la corrosión al arrastrar el material.
- Evitar salpicaduras de soldadura en las piezas de aluminio.
- No están en cualquier contacto con el acero para evitar una corrosión galvánica (una corrosión galvánica puede ocurrir cuando dos o más metales están en contacto). Se caracteriza por la disolución acentuada del metal más reactivo. Para ello se recomienda el uso de recubrimientos aislantes.

### 3.5.2 La Chatarra

El proceso de elaboración de lingotes de aluminio en CEDAL S.A., se inicia con la disponibilidad y consumo de materia prima, que es la chatarra, que lo provee el mercado nacional, compras locales e importaciones. El procedimiento para obtener las diferentes chatarras de aluminio, empieza con el reciclado del material que es la única alternativa para evitar la contaminación del medio ambiente, y la acumulación de montones de chatarra y residuos.



**Figura 36. Chatarra de Aluminio.**

El reproceso del aluminio necesita poca energía, (un 5%) para producir el metal primario inicial. El aluminio (Al) reciclado se le conoce como aluminio de 2da. Fusión, pero mantiene las mismas propiedades del aluminio primario; se emplea en un 80% para aleaciones de inyección; es de gran aplicación en la extrusión de perfiles. Además de ser más baratos, los aluminios de 2da. Fusión son tan buenos como los primarios. Poseen las certificaciones ISO 9000 e ISO 14000<sup>17</sup>.

Existe para CEDAL S.A. una clasificación específica de la chatarra:

- Chatarra (Blanca) CEDAL Prensas y bodegas
- Chatarra CEDAL Alambre
- Chatarra Negra compra local
- Chatarra Negra Importada
- Chatarra mesa Importada
- Palanquilla aluminio primario Importado

---

<sup>17</sup> [www.Aluminio-Wikipedia.com](http://www.Aluminio-Wikipedia.com)



Estas materias primas son cargadas en el brazo automático del horno de fundición, en proporciones sugeridas y ordenadas por el Jefe Departamental. La información de los pesos es registrada y guardada en el software; o adiciones de materiales directos como: magnesio, silicio, tabor, etc., también son registrados en el software.

Cuando el material líquido de chatarra es descargado en las lingoteras, se registra automáticamente los kilos como producción de fundición. Esta información debe cuadrar mensualmente al efectuar un balance de masa: sumando lo entregado a bodega de extrusión más lo que se encuentre en proceso.

En el proceso productivo de estos lingotes, el personal de este Departamento, puede detectar lingotes con problemas o fallas, los cuales deben ser rechazados y respaldados con Ticket de Rechazo; este documento servirá como respaldo para el registro contable y estadístico en la planta. El material rechazado vuelve a la chatarra y puede ser utilizado cuantas veces sea necesario, siempre y cuando se registre de acuerdo a lo señalado anteriormente.

Es necesario destacar que en el proceso productivo de fundición debe ser considerado para el balance de masa, que es donde se encuentra el material como: chatarra líquida en horno y lingotes en proceso por homogenizar y cortar.

### 3.5.2.1 Lingote de Aluminio Puro



**Figura 37. Lingote de Aluminio Puro.**

El Ecuador no es un país productor de aluminio de primera fusión, por lo que se hace necesario conseguirlo a través de importaciones; contactándose con empresas de otros países, entre las que se cuentan: Aluar – Argentina, CBA – Brasil, Alcasa y

Alumproca – Venezuela, Reynolds – USA, Pechiney – Francia, Alusaf – Sudáfrica etc., la planta CEDAL S.A., se abastece de aluminio primario Aluar con el 99,5% de pureza.

Los lingotes se mezclan con las chatarras antes descritas, en las cantidades adecuadas, de modo que la aleación resultante este siempre dentro de los parámetros establecidos.

**Tabla 15. Cantidades de los Componentes en Peso y Porcentaje.**

COMPONENTE	PESO (KG)	PORCENTAJE (%)
Aluminio primario	3044	17,50%
Chatarra CEDAL	2954	16,98%
Chatarra Negra (Nac.+Imp.)	3520	20,24%
Chatarra Mesa Importada	1734	9,97%
Lingote rechazado	4602	26,46%
Lingote reproceso	1454	8,36%
Si – Al 20% Si	52	0,30%
Mg metálico	35	0,20%

**Fuente:** Elaborado en el departamento de fundición de la planta CEDAL S.A.

### **3.5.3 Procedimiento de Recepción de Chatarra<sup>18</sup>**

#### **3.5.3.1 Objetivo.**

Controlar la recepción de chatarras con el menor porcentaje de elementos químicos-aleantes, aceros, hierros y contaminantes que ingresarán al proceso de Fundición.

**3.5.3.2 Alcance.** Chatarra que ingresa al Proceso Productivo de CEDAL S.A.

**3.5.3.3 Referencias.** Proceso de Muestreo.

---

[<sup>18</sup>] **Nota:** \*AQL definido en el Instructivo de Muestreo (IT-CC-01)

\* El material para la selección y limpieza se dispondrá en el Patio de Acopio.

### 3.5.3.4 Responsabilidades:

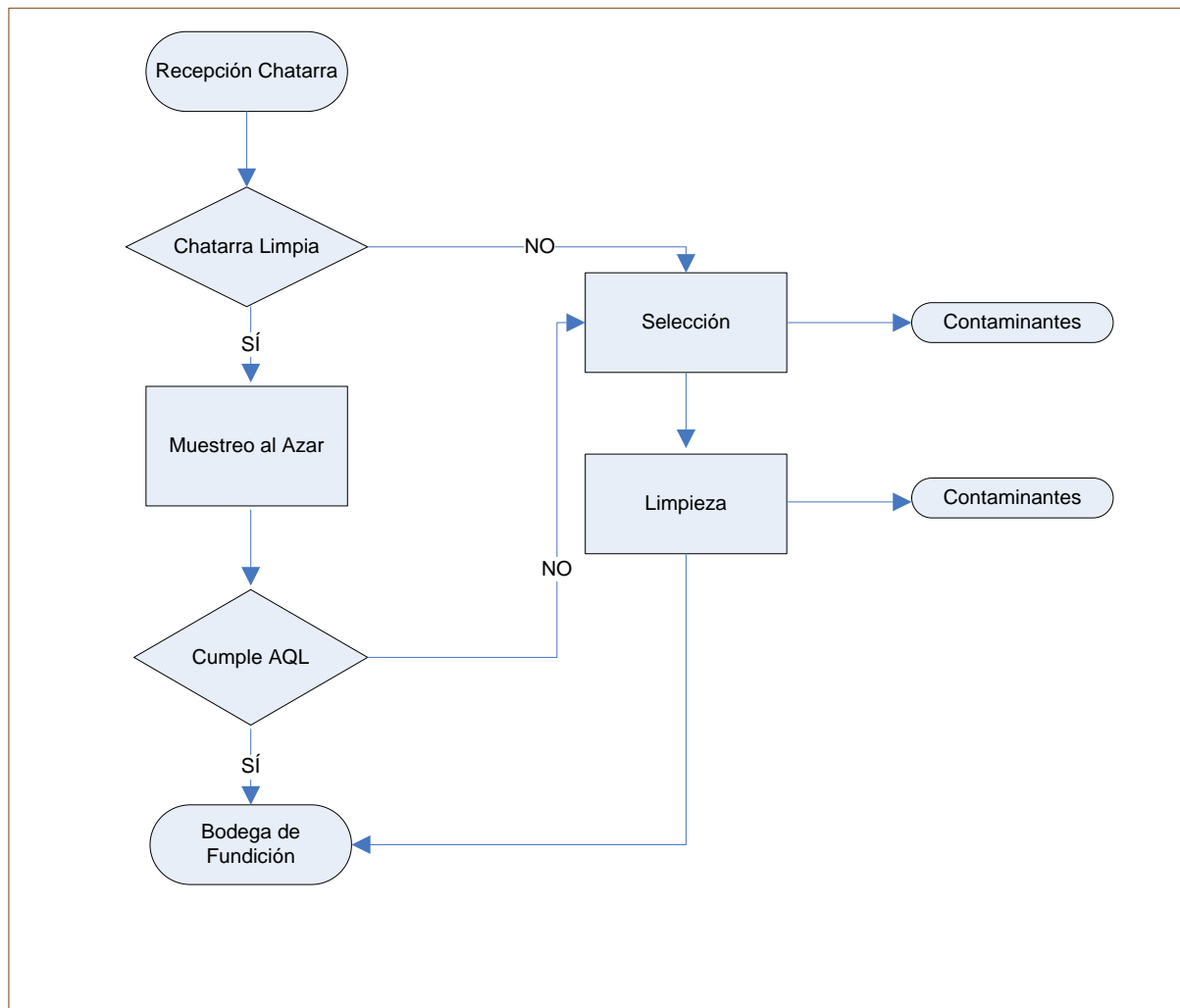
- **De la Implementación:** Jefe de Fundición, Jefe de Calidad y Seguridad Industrial.
- **De la ejecución:** Jefe de Turno de Fundición, Jefe de Bodega, Inspector General, Inspector de Calidad y Seguridad Industrial.

### 3.5.3.5 Detalle de Formatos Generados no Aplica.

### 3.5.3.6 Términos y Definiciones no Aplica.

### 3.5.3.7 Contenido.

#### 3.5.3.7.1 Diagrama de Flujo:



**Fuente:** Departamento de Fundición de CEDAL S.A. Hoja de muestreo.

**Nota:**

\* **AQL**, definido en el Proceso de Muestreo (**Anexo 8**).

\* El material para la selección y limpieza se dispondrá en el Patio de Acopio.

### 3.5.4 Proceso de Muestreo.

**3.5.4.1 Objetivo.** Controlar las materias primas y materiales en la recepción de bodega, previo al uso de las mismas.

**3.5.4.2 Alcance.** Se aplica al muestreo de materias primas, materiales y productos terminados.

**3.5.4.3 Referencias.** No aplica.

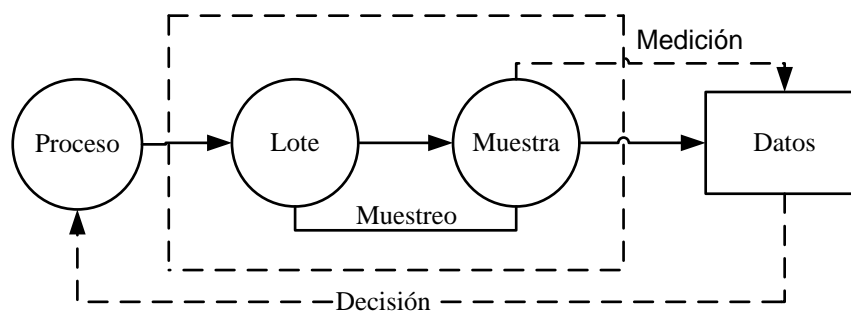
#### 3.5.4.4 Responsabilidades.

- **Implantación:** Jefe de Calidad y Seguridad Industrial.
- **Ejecución:** Asistente de Calidad e Inspectores de Calidad.

**3.5.4.5 Detalle de los formatos generados.** No aplica.

**3.5.4.6 Términos y definiciones.** No aplica.

**3.5.4.7 Muestreo:** Es la actividad por la cual se toman ciertas muestras de una población de elementos para tener criterios de decisión.



**Figura 38. Criterios de Muestreo.**

La muestra debe ser tomada al azar, utilizando el proceso establecido en la **NTE - INEN 255**; plan de muestreo simple para inspección normal, usando un nivel de inspección especial S1 y con un nivel de aceptación (**AQL: Límites Admisible de Calidad**) de 10% para lotes de hasta 1000 unidades.

Dependiendo del tamaño del lote de materia prima o material, el inspector de calidad, selecciona una letra de la **Tabla 16**; letras claves del tamaño de muestra, que se indican a continuación con un nivel de inspección normal N-1:

**Tabla 16. Letras Claves del Tamaño de Muestra.**

Tamaño del lote	Niveles de inspección especiales				Niveles de inspección normales		
	S-1	S-2	S-3	S-4	I	II	III
2 – 8	A	A	A	A	A	A	B
9 – 15	A	A	A	A	A	B	C
16 – 25	A	A	B	B	B	C	D
26 – 50	A	B	B	C	C	D	E
51 – 90	B	B	C	C	C	E	F
91 – 150	B	B	C	D	D	F	G
151 – 280	B	C	D	E	E	G	H
281 – 500	B	C	D	E	F	H	J
501 – 1200	C	C	E	F	G	J	K
1201 – 3200	C	D	E	G	H	K	L
3201 - 10000	C	D	F	G	J	L	M
10001 - 35000	C	D	F	H	K	M	N
35001 - 150000	D	E	G	J	L	N	P
150001 - 500000	D	E	G	J	M	P	Q
Más de 500000	L	E	H	K	N	Q	R

**Fuente:** Control de Calidad, CEDAL S.A.

Una vez identificada la letra, se selecciona el tamaño de la muestra que se va a inspeccionar, según lo indicado en la **Tabla 17**, II-A Tabla magistral para inspección normal (muestreo simple), que se indica a continuación.

Se selecciona al azar la muestra, por ejemplo:

Si el lote a inspeccionar es de 150 unidades, utilizando la **Tabla 16**, la letra es B, en consecuencia el tamaño de la muestra es de 3 unidades.

**Ejemplo para el Uso de las Tablas:**

- Materia prima = Lingotes de aluminio
- Lote = 150 unidades
- Según el tamaño del lote en la **Tabla 16**, se escoge la columna de nivel de inspección S-1, lo que nos da la letra clave B.

Tamaño del Lote	Niveles de inspeccion especiales			
	S - 1	S - 2	S - 3	S - 4
02 – Ago.	A	A	A	A
Sep. – 15	A	A	A	A
16 – 25	A	A	B	B
26 – 50	A	B	B	C
51 – 90	B	B	C	C
91 – 150	B	B	C	D
151 – 280	B	C	D	E

- Con la letra B, se escoge en la tabla 17, el tamaño de la muestra a tomar, para este caso el tamaño de la muestra es de 3 unidades.

**Tabla 17.** Tabla Magistral para Inspección Normal.

Letra clave del tamaño de la muestra	Tamaño de la muestra (n)	Niveles de calidad aceptable. AQL (inspección normal)																										
		0,01	0,015	0,025	0,04	0,065	0,1	0,15	0,25	0,4	0,65	1	1,5	2,5	4	6,5	10	15	25	40	65	100	150	250	400	650	1000	
		Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac
A	2																											
B	3																											
C	5																											

- Lo que indica en la **Tabla 17**, que con un AQL del 10 %, el Ac (Aceptación) = 1 y Re (Rechazo) = 2.

## 3.6 Homogenizado

### 3.6.1 Introducción

Históricamente, el descubrimiento accidental del endurecimiento por precipitación (homogenizado) se hizo en las aleaciones de aluminio. Este procedimiento se descubrió en Alemania, cuando se repitió el ensayo de dureza a una muestra de Duraluminio, una aleación de aluminio y cobre, después de que había permanecido un tiempo en el laboratorio. Al repetir el ensayo se observó una dureza mucho mayor. El primer nombre que se dio al fenómeno fue el de endurecimiento por envejecimiento. Los estudios sobre este fenómeno pusieron de manifiesto que este también ocurría en otros sistemas de aleación, y que la razón del endurecimiento es la formación de precipitados en las soluciones sobresaturadas. Por tanto, el nombre correcto del fenómeno es *endurecimiento por precipitación*, aunque todavía se le conoce como endurecimiento por envejecimiento.<sup>19</sup>

### 3.6.2 Características

Con la homogenización llamado también como *Recocido Total*, se pretende conseguir una eliminación de las tensiones propias del producto fundido, un equilibrio de los granos segregados y una disolución de los constituyentes estructurales eutécticos en los bordes de los mismos; además el recocido total sirve con frecuencia para conseguir una disgregación regular de elementos disueltos en estado de sobresaturación, especialmente Mn y Fe, que influyen sobre el comportamiento en la recristalización y en la conformabilidad en caliente.

Finalmente en las aleaciones endurecibles se consigue disolver los elementos de aleación que provocan el endurecimiento. Estos se depositan de nuevo, en el siguiente enfriamiento, que no suele ser rápido. Además si se realiza correctamente el proceso, la

---

[<sup>19</sup>] ASKELAND, Donald. La Ciencia e Ingeniería de Materiales. Edit. Iberoamérica, 1990.  
MANGONON, Pat L. Ciencia de Materiales Selección y Diseño. Edit. Prentice Hall, 2001.

distribución tiene lugar de tal forma que, mediante un temple posterior, la disolución tiene lugar de forma rápida y total.

El recocido total puede colaborar por lo tanto, a la disminución de las fuerzas necesarias para la conformación en caliente, a una tendencia hacia el ablandamiento uniforme y recocido de ablandamiento y a un mejoramiento de la conformabilidad en frío.<sup>20</sup>

### **3.6.3 Procedimiento de Homogenizado.**

**3.6.3.1 Objetivo.** Establecer los pasos a seguir para el proceso de homogenizado de los lingotes que se producen en fundición.

**3.6.3.2 Alcance.** Planta de Fundición de CEDAL S.A.

#### **3.6.3.3 Términos y Definiciones**

- **Lingotes.** Se refiere al fundido y colado usualmente en forma cilíndrica mediante moldes sólidos, de sección transversal constante y de longitud mayor que su sección.

#### **3.6.3.4 Responsabilidades.**

- De la Implementación: Jefe de Fundición.
- De la Ejecución: Jefe de Turno de Fundición.

#### **3.6.3.5 Pasos a Seguir**

- Colocar en los coches de homogenizado solo lingotes aprobados, (lingotes libres de grietas u otras imperfecciones superficiales) que posean aleaciones con parámetros establecidos por el área de producción. Para esta operación es necesario el uso de montacargas.

---

[<sup>20</sup>] [http://www.luis-aguilera.com/LuisAguilera2\\_archivos/page0003.htm](http://www.luis-aguilera.com/LuisAguilera2_archivos/page0003.htm)





**Figura 39. Ubicación de Lingotes al Horno.**

- Para la colocación de los lingotes en los coches de homogenizado, no deberá sobresalir las marcas laterales en los bordes del coche; caso contrario, no podrán cerrarse las puertas verticales del horno.



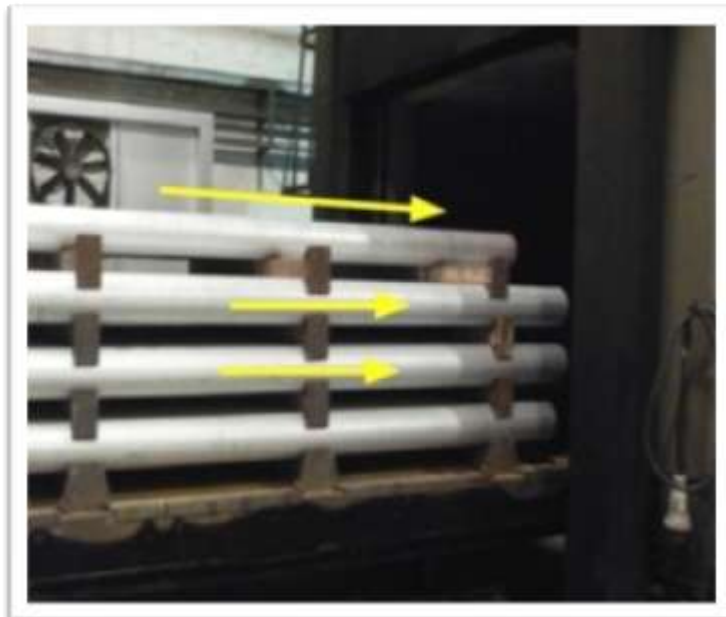
**Figura 40. Uniformidad Previo al Cierre del Horno.**

- Colocar los separadores transversales por cada nivel de carga.



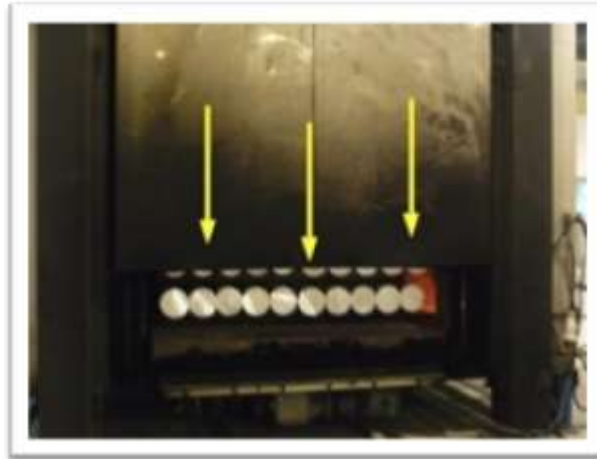
**Figura 41. Separadores Transversales.**

- Una vez completa la carga, se deberá meter el coche al horno. Usar el modo automático del horno para esta operación.



**Figura 42. Ingreso Automático de Lingotes.**

- Cerrar ambas puertas (norte y sur).



**Figura 43. Cierre del Horno.**

- Encender secuencialmente los quemadores.



**Figura 44. Tablero de Control del Horno.**

- Definir el tiempo de homogenizado. Para carga inicial, 9 horas. Para cargas continuas, 8 horas.
- Monitorear cada treinta minutos las rampas de temperatura, mediante el *display* colocado en la parte posterior del horno, o en su defecto, a través de la hoja de cálculo<sup>21</sup>

---

[<sup>21</sup>] “Temperatura.xls” ubicado en el PC servidor de homogenizado.

- Completado el ciclo de homogenizado, sacar el coche con la carga y estacionarlo en el área de enfriamiento. Colocar las pantallas de enfriamiento y encender los ventiladores. Este proceso debe durar mínimo dos horas.



**Figura 45. Enfriamiento de Lingotes.**

- Terminado el proceso de enfriamiento, descargar el coche y colocar la carga homogenizada, apilada e identificada en el área de almacenamiento de lingotes homogenizados de la Planta de Fundición.



**Figura 46. Almacenaje de Lingotes.**

- Ingresar en reporte diario de fundición (**Ver Anexo 9**) la información correspondiente al proceso de homogenizado.

### **3.6.4 Funcionamiento**

El Horno de Homogenizado de CEDAL S.A., es de procedencia Israelí marca (EUROTHERM); tiene la capacidad de homogenizar 140 lingotes por carga, posee una recubierta interna y externa de acero inoxidable con lana de vidrio como material aislante que evita la fuga de energía. Esta provista de seis quemadores ubicados en forma vertical, los cuales funcionan a diesel generando la temperatura adecuada para el homogenizado.

El funcionamiento del Sistema de Combustión del Horno, se realiza de acuerdo a los siguientes parámetros:

- Pre-Encendido.
- Energizar.
- Limite Técnico del Horno.
- Purga.
- Arranque de Quemadores.
- Parada del Sistema.
- Alarmas y,
- Re-Encendido del Control de Flama.

El horno posee 3 extractores axiales reversibles cada uno con motor de (25HP y 3000 rpm); tienen la función principal de realizar la inversión de giro de aire caliente alrededor de los lingotes ubicados en el interior del horno, para un homogenizado uniforme de la estructura del aluminio. Dispone de nueve termocuplas “Tipo K”, las mismas que están ubicadas en 3 zonas y en 3 posiciones: superiores, derechos e izquierdos. A continuación se presenta la disposición de cada termocupla.

**Tabla 18. Disposición de cada Termocupla.**

POSICIÓN	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3
Derecha	T8	T12	T4
Superior	T9	T1	T5
Izquierda	T7	T11	T3
Carga	T10	T2	T6

Fuente: Departamento de Fundición sección del horno de homogenizado

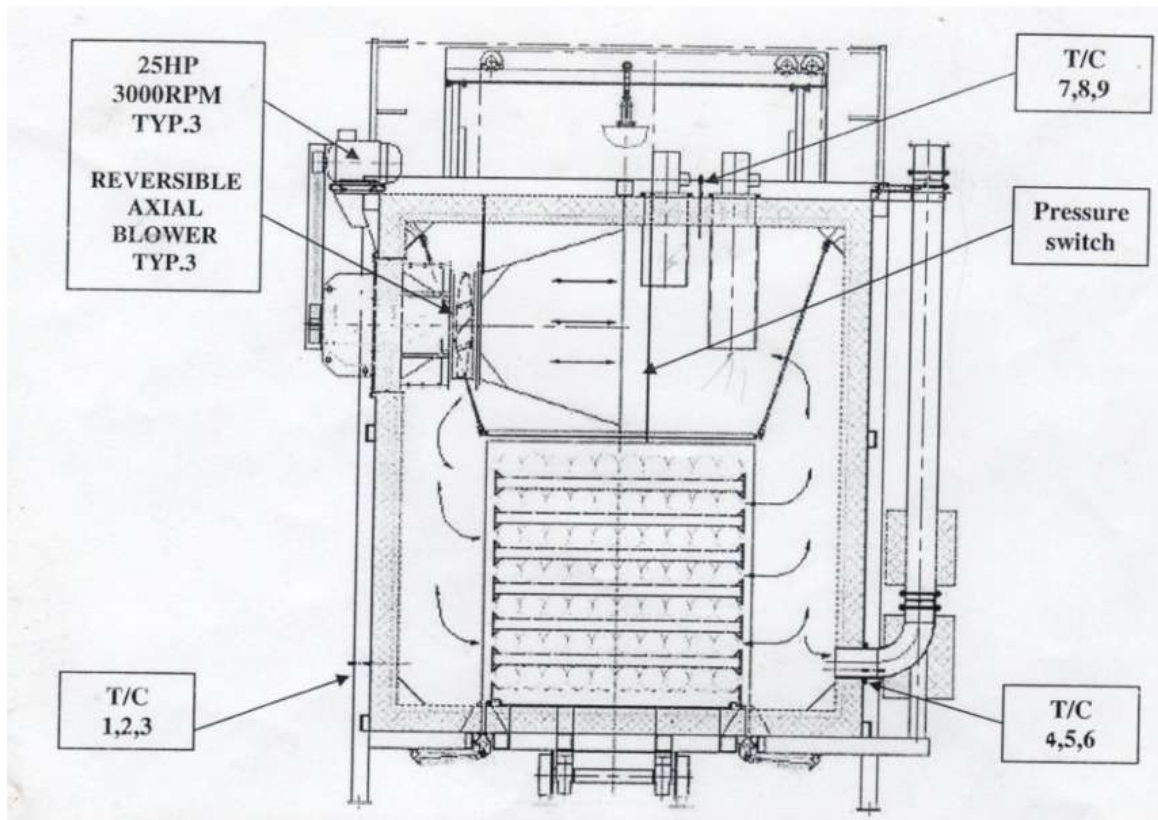


Figura 47. Circulación del Sistema de Aire.

Los extractores además de la inversión, envían aire al interior del horno para evacuar los gases generados de la combustión: la evacuación se lo realiza por tres ductos dispuestos en la parte externa derecha del horno, los ductos en su interior tienen dos Dámper ubicados en la parte superior e inferior. Los dámper controlan la combustión interna del horno.

### 3.6.5 Tipos de Hornos.

Los hornos de homogenización se caracterizan por su gran capacidad calorífica, estructura física, exclusivos diseños de flujo de aire reversible y los sistemas de control de la temperatura que producen altas velocidades de calentamiento y gran uniformidad térmica en toda la carga.

Habitualmente son fabricados para dar homogenizado en perfiles, palanquillas o placas, lingotes; los diseños de los equipos son del *tipo por lotes* (de vagoneta y de bandeja), de *tipo transportador* y de *tipo continuo*.

Este equipo se utiliza principalmente para homogenizar los procedimientos de las barras de aluminio (Al) con el fin de eliminar el estrés interno, minimizando la deformación, mejorando la plasticidad y resistencia a la reducción de la extrusión. Estos tipos de hornos pueden funcionar uniformemente a temperaturas entre (550 a 620°C). Los combustibles requeridos son: combustibles líquidos, gas licuado de petróleo (GLP), aceite ligero.

La capacidad de producción al igual que su construcción depende principalmente del tipo de industria a ser utilizado<sup>22</sup>.



**Figura 48. Hornos Tipo por Lotes: a) de Vagoneta; b) de Bandeja.**

---

[<sup>22</sup>] <http://www.secowarwick.com>; <http://www.ghihornos.com/al.trat.tochos>

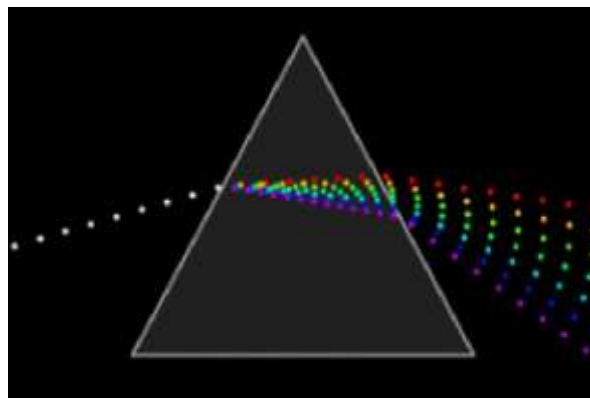


**Figura 49. Hornos: c) Tipo Transportador; d) Tipo Continuo**

### **3.7 Espectrometría<sup>23</sup>**

#### **3.7.1 Introducción**

La espectrometría surgió con el estudio de la interacción entre la radiación y la materia como función de la longitud de onda ( $\lambda$ ). En un principio se refería al uso de la luz visible dispersada según su longitud de onda, por ejemplo por un prisma.



**Figura 50. Dispersión de Luz en un Prisma Triangular.**

Antes de la segunda guerra mundial solo la espectroscopia U.V. era usada habitualmente para análisis químico estructural o cuantitativo. Los resultados se registraban en métodos fotográficos. La aplicación de estos métodos servían para la caracterización de dobles enlaces conjugados en sistemas orgánicos, y también lo

---

[<sup>23</sup>] <http://www.espectrometria.com/>



utilizaban los biólogos e inorgánicos para determinar las transiciones electrónicas de los metales.

Aunque a finales de los años 30 la espectroscopia IR era muy apreciada para el análisis estructural, los métodos experimentales tenían un desarrollo complicado para su aplicación de forma rutinaria.

La mayoría de las publicaciones de esta época referentes a la espectroscopia IR hacían referencia a la vibración ya que los espectros de rotación de pequeñas moléculas en fase gaseosa eran estudiados más por los físicos que por los químicos.

### **3.7.2 Métodos Espectrométricos**

#### **3.7.2.1 Según la Naturaleza de la Excitación Medida**

El tipo de espectrometría depende de la cantidad física medida. Normalmente, la cantidad que se mide es una intensidad de energía absorbida o producida. Se pueden distinguir estos tipos de espectrometría según la naturaleza de la excitación:

- **Electromagnética.** Interacción de la materia con radiación electromagnética como la luz.
- **De Electrones.** Interacción con haces de electrones. En este caso la medida implica la energía cinética del electrón como variable.
- **De Masa.** Interacción de especies cargadas con campos magnéticos y/o eléctricos, dando lugar a un espectro de masas. Este espectro tiene la masa ( $m$ ) como variable, pero la medida es esencialmente de la energía cinética de la partícula.
- **Acústica.** Frecuencia de sonido.
- **Dieléctrica.** Frecuencia de un campo eléctrico externo.
- **Mecánica.** Frecuencia de un estrés mecánico externo, por ejemplo una torsión aplicada a un trozo de material.

#### **3.7.2.2 Según el Proceso de Medida.**

La mayoría de los métodos espectroscópicos se diferencian en atómicos o moleculares según si se aplican a átomos o moléculas:

- **De Absorción.** Usa el rango de los espectros electromagnéticos en los cuales una sustancia absorbe. Incluye la espectrometría de absorción atómica y varias técnicas moleculares, como la espectrometría infrarroja y la resonancia magnética nuclear (RMN).
- **De Emisión.** Usa el rango de espectros electromagnéticos en los cuales una sustancia irradia (emite). La sustancia primero debe absorber la energía.

**Tabla 19. Tipos de Espectrometría de Emisión**

Tipo de espectrometría	Método de Atomización	Fuentes de Radiación
Arco	Mediante calentamiento de la muestra por arco eléctrico	Muestra
Chispa	Muestra excitada por chispa eléctrica de alto voltaje	Muestra
Plasma de argón	Muestra calentada por plasma de argón	Muestra
Atómica o en llama	muestra aspirada e introducida en la llama, se atomiza dentro de la llama	Muestra
Rayos X	No necesita las muestras se bombardean con electrones	Muestra

**Fuente:** SKOOG, D.A.; West, D.M.; Holler, f.j. y Crouch, s.r.: Química Analítica. 7ma. Ed. México. Mc Graw Hill, 2004.

- **De dispersión.** Mide la cantidad de luz que una sustancia dispersa en ciertas longitudes de onda. El proceso de dispersión es mucho más rápido que el proceso de absorción/emisión.

### **3.7.3 Características.**

En la espectrometría de emisión, son los electrones de valencia de los elementos los que se excitan, para dar lugar a espectros atómicos formados por picos bien definidos y estrechos, empleándose como líneas analíticas las líneas últimas o de referencia. Permite la determinación de metales y algunos metaloides, con una exactitud

del orden del 2 %, mediante el empleo de muestras sólidas en el caso de los metales y sus aleaciones y muestras en forma de polvo, ligadas con grafito u otro buffer como las sales de metales alcalinos.

Existen varias fuentes de excitación utilizadas en la espectroscopía de emisión atómica entre ellas se encuentran: la llama, el arco eléctrico de corriente alterna (c-a), el arco eléctrico de corriente directa (c-d), y la chispa eléctrica. Cada uno tiene ventajas y aplicaciones especiales. Sin embargo, la función de cada unidad de excitación es que la muestra se vaporice y excitar los electrones en los átomos vaporizados a niveles de energía superiores.

### **3.7.3.1 Características Actuales de un Espectrómetro de Emisión Atómica.**

- a) Abarcan el espectro UV-Visible (170-800 nm).
- b) En condiciones de vacío, pueden alcanzar 150-160 nm (de interés para P, S, C) tienen líneas de emisión:
- c) Son de tres tipos:
  - **Secuenciales**, se programan para ir de la línea de un elemento a la de otro esperando el tiempo suficiente para tener una S/N adecuada. Instrumentos más sencillos pero caros en términos de consumo de muestra y tiempo.
  - **Multicanal Simultáneo**, (medida simultánea o casi simultánea de las líneas de emisión de un gran número de elementos).
  - **De Transformada de Fourier**, (los menos utilizados).

### **3.7.4 Procedimiento para Manejo del Espectrómetro**

**3.7.4.1 Objetivo.** Definir la metodología para realizar los análisis espectrométricos en el Área de Fundición.

**3.7.4.2 Alcance.** Se aplica a muestras de colado producidas en el área, materia prima importada para el control de su composición química y aleación.

### **3.7.4.3 Responsabilidades.**

- **De la Implantación:** Coordinador de Calidad y Seguridad Industrial.
- **De la Ejecución:** Jefe de Turno de Fundición e Inspectores de Calidad y Seguridad Industrial.

### **3.7.4.4 Pasos a Seguir:**

- Los únicos autorizados del manejo del equipo son: Jefe de Fundición, Coordinador de Calidad y Seguridad Industrial, Jefes de Turno de Fundición, Inspectores de Calidad y Seguridad Industrial.
- Se tomarán las muestras del melting, casting y tundish, este último cada hora en cada turno.



**Figura 51. Toma de Muestra del Tundish.**

- La muestra antes de ser chispeada, se le dará un mejor acabado a una sola cara de ésta.



**Figura 52. Refrentado de Muestra.**

- Verificar que los tanques de argón grado 5.0 (100% puro), estén listos para su utilización.
- Evitar el contacto de la superficie de la pieza con impurezas, grasas, se recomienda no limpiarlas con guaipe ni paños húmedos.
- Limpiar la base del espectrómetro con papel bond únicamente, antes de cada chispeo.
- Limpiar el electrodo con el cepillo de acero del equipo, antes de cada chispeo.
- Si el equipo estuvo inhabilitado por más de una hora, realizar una purga de argón, de 40 a 60 segundos.
- Realizar tres chispeos en cada muestra para su promedio.



**Figura 53. Chispeo de Muestra.**

- Finalizado el chispeo, la punta del electrodo deberá estar cubierta con una lamina de aluminio para evitar que se introduzcan impurezas al equipo.
- Debe estar siempre cerrada la puerta del receptáculo del espectrómetro.



**Figura 54. Cierre del Receptáculo.**

- Cuando no esté activo el equipo apagar únicamente el espectrómetro.

### 3.7.5 Funcionamiento.

Para realizar el chispeo de las muestra en el Área de Fundición, se utiliza argón grado 5.0 (100% puro); donde el espectrómetro proyecta un haz de luz a la muestra permitiendo reflejar su composición química procesado a través de su propio programa; el espectrómetro utiliza 220 Volt, para su operación.

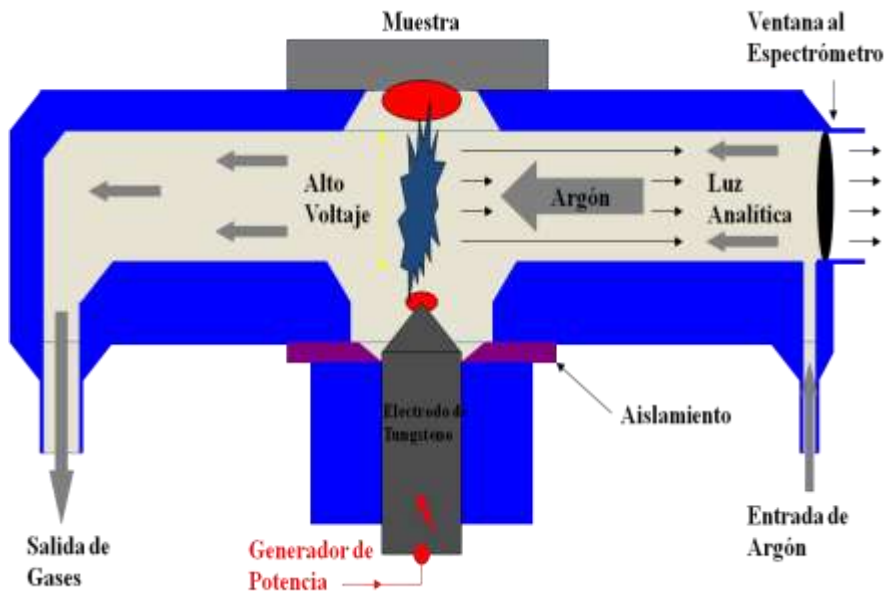


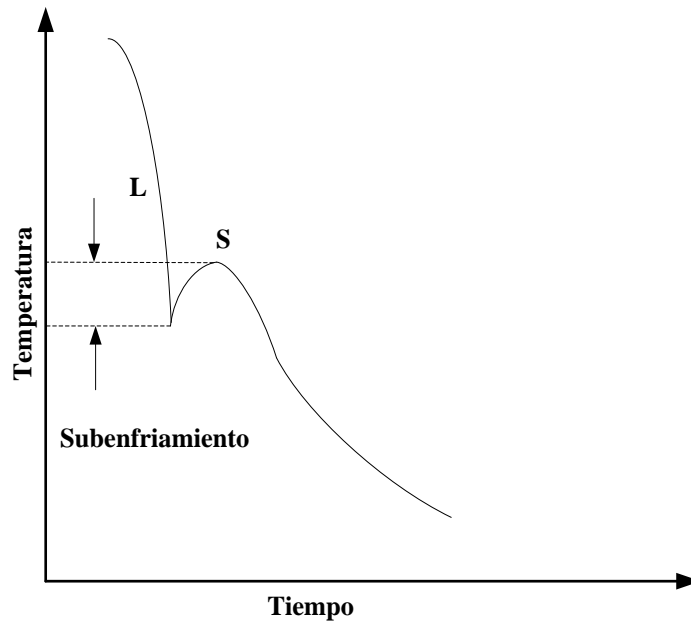
Figura 55. Diseño del Stand de Chispa.

## 3.8 Sistemas de Alimentación de Lingotes Fundidos

### 3.8.1 Fenómenos Fundamentales de la Solidificación

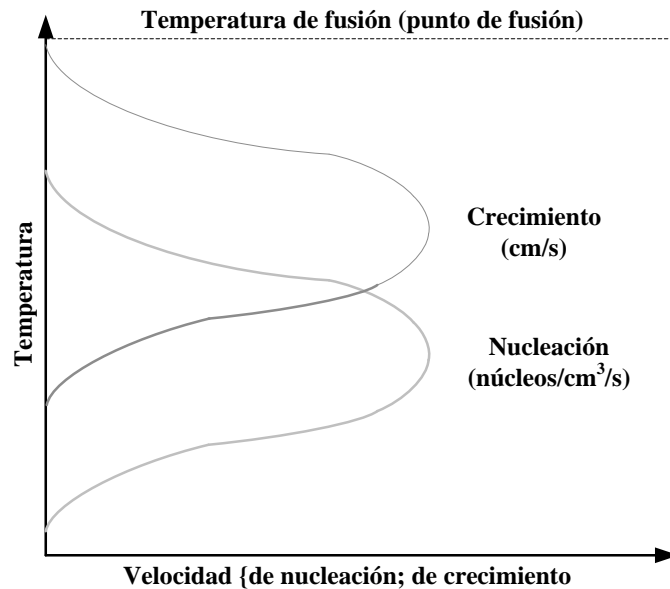
Entiéndase que el inicio de la cristalización (o solidificación) para cualquier metal exige un subenfriamiento, por mínimo que sea este como se ve en la (Figura 56); así la nucleación y el crecimiento de los cristales constituyen los fenómenos fundamentales de la solidificación.

La nucleación puede ser definida como el número de núcleos que aparecen por unidad de volumen en la unidad de tiempo ( $nucleo/cm^3/s$ ), mientras que el crecimiento, como la velocidad de crecimiento de un cristal según las diferentes direcciones cristalográficas, y se expresa en (cm/s).



**Figura 56. Curva de Enfriamiento para un Metal.**

De forma general, la máxima velocidad de crecimiento que presenta un cristal ocurre a temperaturas superiores a las que la máxima rapidez de la nucleación requiere. Figura 57 ilustra esquemáticamente este hecho.



**Figura 57. Variación de las Velocidades de Nucleación y Crecimiento con Temperatura.**

La Figura 58 explica también la razón por la cual, el tamaño de los cristales de una aleación son finos cuando mayor es el subenfriamiento. De hecho, para grandes



subenfriamientos, se utilizan las variaciones de velocidades de Nucleación y crecimiento con temperatura; dando como resultado el apareamiento de una gran cantidad de núcleos que crecen muy lentamente y que forman cristales diminutos en la pieza fundida. Al contrario, utilizando un subenfriamiento no muy por debajo del punto de fusión, se formarán muy pocos núcleos que crecerán con rapidez obteniéndose cristales grandes<sup>24</sup>.

### **3.8.2 Variación de Volumen Durante la Solidificación**<sup>25</sup>

De un modo general la contracción total de cualquier metal o aleación durante el vaciado y enfriamiento después del molde se compone de tres tipos de contracciones: contracción de la aleación en estado líquido, contracción durante la solidificación y la contracción en estado sólido (Figura 58).

La contracción líquida que viene a ser la variación de volumen debido a la reducción de metal líquido, producido al disminuir la temperatura del metal a partir del colado, hasta alcanzar la temperatura de líquidos. Esta se expresa en porcentaje de volumen.

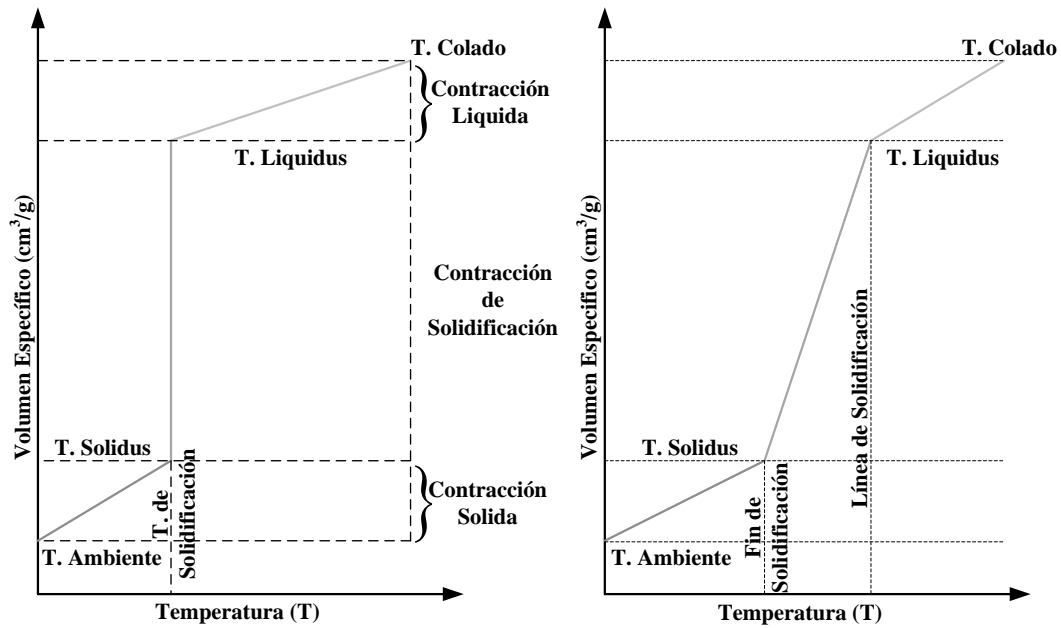
La contracción de solidificación es una nueva variación en su volumen debido al cambio de estado, al pasar de líquido a sólido. Esta es la regla para casi la totalidad de los metales a excepción apenas de dos de ellos, que son muy poco utilizados en la industria: bismuto y cadmio, porque en esta fase, los metales sufren una expansión de volumen de modo semejante a lo que ocurre con el agua. Este tipo de contracción también se la expresa en porcentaje de volumen.

La contracción sólida es la variación de volumen que ocurre al contraerse el metal ya solidificado hasta alcanzar la temperatura ambiente. Puede ser expresada en porcentaje de volumen.

---

[<sup>24</sup>] CAICEDO REYES, Jorge. Influencia de la Temperatura de Colado sobre la Fluidez de las Aleaciones de Al-Mg-Si. Riobamba. 2003.

[<sup>25</sup>] CAICEDO REYES, Jorge. Influencia de la Temperatura de Colado sobre la Fluidez de las Aleaciones de Al-Mg-Si. Riobamba 2003.



**Figura 58. Contracción del metal durante su solidificación y enfriamiento**  
**a) Para un metal**                      **b) para una aleación**

Todas las fases de contracción pueden afectar directamente al diseño de los canales de flujo y la técnica de moldeo empleada en la construcción. Los criterios adoptados en fundición para la alimentación del molde con frecuencia se basan en el principio de la solidificación direccional.

La aproximación práctica a la solidificación direccional se basa en una variedad de medidas adoptadas. Estas medidas incluyen el control de la técnica de vaciado de metal líquido, de la temperatura a la cual se lo cola, del enfriamiento diferencial por el contacto con la superficie del molde y del calentamiento diferencial también, por la presencia de materiales exotérmicos en el molde, los que a su vez producen marcada influencia en la fluidez.

Resulta fácil entonces, comprender que los coeficientes de contracción volumétrica presentados por las distintas aleaciones son diferentes.

En la Tabla 20 se presentan cuantitativamente estos valores de contracción, para algunos metales no ferrosos.

**Tabla 20. Contracción de Metales y Aleaciones no Ferrosas Durante el Enfriamiento (Contracción Expresada en % de Volumen a la Temperatura Ambiente).**

<b>Metal</b>	<b>Punto de Fusión (°C)</b>	<b>Contracción líquida (metal a 100 °C por arriba de la Temperatura Liquidus)</b>	<b>Contracción durante la Solidificación</b>	<b>Contracción en estado Sólido</b>
<b>Al</b>	<b>660</b>	<b>1.4</b>	<b>6.5</b>	<b>5.7</b>
Mg	650	1.4	4.4	5.8
Cu	1083	2.1	4.5	7.3
87.3 Al-12.7 Si	579	-	3.5	-

**Fuente:** CAICEDO REYES, Jorge. Influencia de la Temperatura de Colado sobre la Fluidéz de las Aleaciones de Al-Mg-Si. Riobamba. 2003

### **3.8.3 Defectos Producidos en los Lingotes**

#### **3.8.3.1 Porosidad Causada por Presencia de Gas**

La obtención de productos de aluminio vía fundición se lleva a cabo a partir de cuatro etapas básicas:

1. Fusión del aluminio, generalmente en hornos de inducción o reverbero en nuestro caso (horno de colado continuo), utilizando chatarra o lingotes de aluminio como materia prima.
2. Refinación o eliminación de hidrógeno y otras impurezas mediante un tratamiento como inyección de gases inertes, vacío u otro.
3. Colado y solidificación de la pieza de aluminio de forma controlada.
4. Maquinado y acabado superficial de las piezas (muestras)<sup>26</sup>

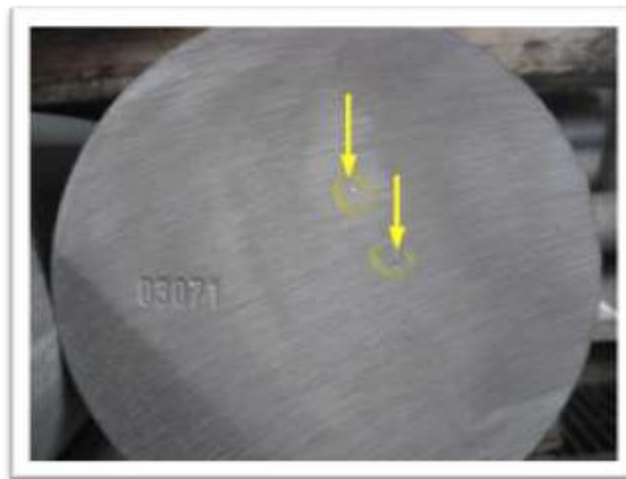
La refinación y colado son determinantes en la calidad del producto, ya que en la etapa de refinación es posible eliminar impurezas y gases, mientras que en la tercera etapa se pueden optimizar, la velocidad y dirección de la solidificación para controlar

---

[<sup>26</sup>] RAMÍREZ-ARGÁEZ, M.A. Contreras F. y González C. Rev. Metal. Madrid 42. 2006. Pág. 186.

porosidad y manipular las velocidades de enfriamiento y, con esto, obtener la calidad metalúrgica deseada. El hidrógeno es el gas que influye de forma más negativa en las propiedades físicas y mecánicas de las piezas fabricadas a base de aluminio, por la porosidad que este produce. Las inclusiones no metálicas también afectan de forma muy perjudicial al aluminio en su estado sólido, al disminuir sus propiedades mecánicas. La necesidad que se tiene para eliminar tanto al hidrógeno como a las inclusiones no metálicas del baño de aluminio líquido es muy clara y justificada, donde deben satisfacer altísimos estándares y normas de calidad en cuanto a propiedades mecánicas, acabado superficial, etc.<sup>27</sup>

**3.8.3.2 Bolsas de Gas.** Son burbujas producidas debido a la contención de gases atrapados, y estos se pueden formar en el aluminio fundido, por vapor o turbulencias causadas al verter el metal.



**Figura 59. Bolsas de Gas.**

**3.8.3.3 Escorias.** Son materiales extraños de que se presentan en el punto de fusión más elevado, que no se disuelven en el aluminio fundido, o pueden ser óxidos formados en el proceso de fundición, los cuales no han sido retirados adecuadamente de la nata, y así son vertidos en el molde.

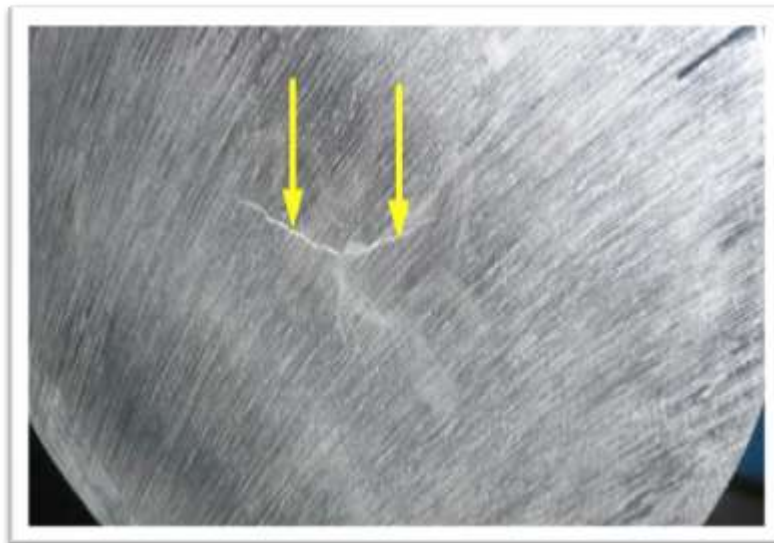
---

[<sup>27</sup>] SUÁREZ, O.M. Rev. Metal Madrid 40. 2004. Pág. 173-181; MOLSALVE, A. y MORALES, R. Rev. Metal. Madrid 40. 2004. Pág. 431-435.



**Figura 60. Escorias.**

**3.8.3.4 Fisuras Internas.** Gran parte de este defecto se produce por la falta de inyección de Argón en el equipo del desgasificador.



**Figura 61. Fisuras Internas.**

**3.8.3.5 Grietas.** Normalmente se dan por un manejo brusco de la pieza durante el enfriamiento, caída o choque térmico.



**Figura 62. Grietas.**

### **3.8.4 Absorción de Gas en el Metal**<sup>28</sup>

Las aleaciones de aluminio son muy propensas a la absorción de gases. La absorción puede producirse por absorción física o absorción activa. En el último caso, la absorción ocurre en la superficie del metal a temperaturas relativamente bajas.

Depende de la tendencia del metal para reaccionar químicamente, de acuerdo al proceso de fusión y colado, y a los gases (hidrógeno, nitrógeno y oxígeno) que podrían ser absorbidos por el colado (3, 18, 19). La absorción física en cambio, depende principalmente del estado de la superficie, requiere solamente una pequeña cantidad de calor y el equilibrio se logra muy rápidamente.

Por otra parte, la presencia de suciedad, impurezas, aglutinantes, moho y otros productos que puedan estar en las superficies de los moldes, pueden constituirse en fuentes importante para la absorción de gases

---

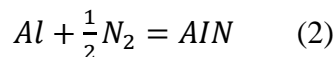
[<sup>28</sup>] CAICEDO REYES, Jorge. Influencia de la Temperatura de Colado sobre la Fluidéz de las Aleaciones de Al-Mg-Si. Riobamba. 2003.

### **3.8.5 Solubilidad del Nitrógeno**<sup>29</sup>

La solubilidad del nitrógeno aumenta con la presión, lo que produce graves problemas en los buzos, cuando al ascender hacia la superficie, con la consiguiente disminución de la presión se libera en forma de burbujas en el flujo sanguíneo.

El nitrógeno se combina con otros elementos únicamente a presiones o temperaturas muy altas. Se convierte a una forma activa sometándolo a una descarga eléctrica a baja presión.

Diversos investigadores discrepan mucho en cuanto a la solubilidad del Nitrógeno en el aluminio; entre ellos Czochralski<sup>30</sup>, el nitrógeno es soluble en aluminio. Y, para Yves Dardel<sup>31</sup> el nitrógeno es insoluble en el aluminio, más éste reacciona con el elemento y da un nitrato insoluble.



Según Pret, esta reacción es despreciable por debajo de los 720°C, tornándose sensible cuando la temperatura sobrepasa los 800°C y sobre todo, cuando la aleación contiene cobre y magnesio.

### **3.8.6 Solubilidad del Oxígeno**<sup>32</sup>

Se ha verificado que los óxidos que presentan mayor calor se integran por átomo-gramo del metal, y poseen los más altos puntos de fusión; a medida que este calor de integración disminuye, los puntos de fusión de los óxidos también disminuyen y su disociación térmica se vuelve cada vez más sensible tal como se ve en la Tabla 21.

---

[<sup>29</sup>] CAICEDO REYES, Jorge. Influencia de la Temperatura de Colado sobre la Fluidez de las Aleaciones de Al-Mg-Si. Riobamba. 2003.

[<sup>30</sup>] CZOCHRALSKI, J. Die Löslichkeit von Gasen in Aluminium, Zeitschrift für Metallkunde. 1922.

[<sup>31</sup>] DARDEL Y. Purification of Aluminium and its Alloys, Metals Technology. Vol. 14. 1947.

[<sup>32</sup>] NN. Influencia de la Temperatura de Colado sobre la Fluidez de las Aleaciones de Al-Mg-Si

Por consiguiente, el equilibrio de la reacción metal-oxígeno, a las altas temperaturas de fusión de los metales industriales como: Al, Cr, Fe, etc., es alterada marcadamente conforme se vaya formando el óxido. La disociación térmica de estos óxidos se torna sensible a temperaturas todavía más alta.

**Tabla 21. Calores de Formación de Diversos Óxidos Metálicos.**

Reacción	$\Delta H$ (Kcal/mol)	$\Delta H$ por at.g.de $O_2$ (Kcal)	$\Delta H$ por at.g.de metal (Kcal)	Punto de fusión del óxido °C
$Mg + 1/2.O_2 = MgO$	-145.76	-145.76	-145.76	±2800
$2Al + 3/2.O_2 = Al_2O_3$	-399.05	-133.01	-199.53	±2050
$Mn + 1/2.O_2 = MnO$	-90.80	-90.80	-90.80	±1650
$Zn + 1/2.O_2 = ZnO$	-84.35	-84.35	-84.35	±1800 subl.
$Fe + 1/2.O_2 = FeO$	-64.04	-64.04	-64.04	±1360
$Ni + 1/2.O_2 = NiO$	-57.90	-57.90	-57.90	-
$Cu + 1/2.O_2 = CuO$	-34.89	-34.89	-34.89	±1026
$2Cu + 1/2.O_2 = Cu_2O$	-40.80	-40.80	-20.40	±1235

**Fuente:** Tesis; Influencia de la temperatura de Colado sobre la Fluidez de las Aleaciones de Al-Mg-Si, 15T00266

### **3.8.7 Solubilidad del Hidrógeno**<sup>33</sup>

El hidrógeno es el único gas con solubilidad significativa en las aleaciones de aluminio, este gas puede saturar el metal convirtiéndose en un elemento fundamental para la formación de poros o agrietamientos después de la solidificación. Las dos causas principales de porosidad durante la solidificación de las aleaciones de Aluminio (Al) son: La contracción volumétrica de la aleación y el cambio de la solubilidad del hidrógeno. La porosidad de hidrógeno, se considera como el problema más grande y molesto presente en las aleaciones de aluminio. La disolución de Hidrógeno (H) involucra: (a) disociación del hidrógeno molecular a su forma atómica en la región adyacente a la capa límite; (b) disolución del hidrógeno atómico en la capa límite del metal líquido; y (c) el transporte de hidrógeno hacia toda la masa fundida de metal mediante un mecanismo de difusión atómica.

### **3.9 Hornos para Fundir los Metales**

[<sup>33</sup>] CAICEDO REYES, Jorge. Influencia de la Temperatura de Colado sobre la Fluidez de las Aleaciones de Al-Mg-Si. Riobamba. 2003..



### **3.9.1 Cantidad Necesaria de Calor**<sup>34</sup>

La fusión consiste en hacer pasar los metales y sus aleaciones del estado sólido al estado líquido, generando determinada cantidad de calor, bien definida y característica para cada metal o aleación.

Como se comprende fácilmente, después que se ha alcanzado la temperatura o punto de fusión es necesario generar más calor para poder transformar el metal o la aleación de sólido en líquido. Durante este período, la temperatura no aumenta, y la cantidad de calor generada, destinada solamente a disgregar el estado sólido se llama calor latente de fusión.

Si, cuando toda la masa es líquida se continúa generando calor, la temperatura vuelve a aumentar y el metal se recalienta.

La siguiente Tabla 22 indica las temperaturas de fusión, calores específicos medios y calores latentes de fusión de algunos de los metales y aleaciones más corrientes empleados en fundición.

---

[<sup>34</sup>] CAPELLO E. Tecnología de la Fundición. Barcelona: Editorial G. Gili S.A., 1971. Pag.147-149.

**Tabla 22. Constantes Físicas de Algunos Metales y Aleaciones.**

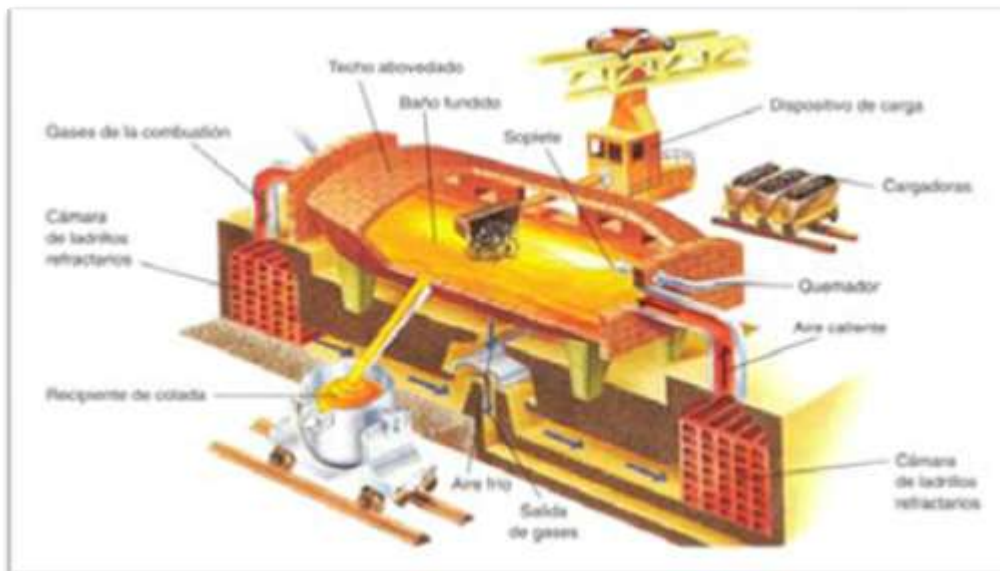
Metal o Aleación	Temperatura de Fusión °C	Calor Específico del Sólido $C_1$ , kcal/kg. °C	Calor Específico del Líquido $C_2$ , kcal/kg. °C	Calor Latente de Fusión $C_3$ , kcal/kg
Estaño	232	0,056	0,061	14
Plomo	327	0,031	0,04	6
Zinc	420	0,094	0,121	28
Magnesio	650	0,25	-	72
<b>aluminio</b>	<b>657</b>	<b>0,23</b>	<b>0,39</b>	<b>85</b>
Latón	900	0,092	-	-
Bronce	900 a 960	0,09	-	-
Cobre	1083	0,094	0,156	43
Fundición Gris	1200	0,16	0,20	70
Fundición Blanca	1100	0,16	-	-
Acero	1400	0,12	-	50
Níquel	1455	0,11	-	58

**Fuente:** E. CAPELO; Tecnología de la Fundición; Editorial G. Gili S.A.; Barcelona; España 1971.

### 3.9.2 Clasificaciones.

El objeto de los hornos de fundición es el de proporcionar al metal el calor necesario para fundirlo y recalentarlo hasta el punto que adquiera la fluidez necesaria para adoptar la forma del molde.

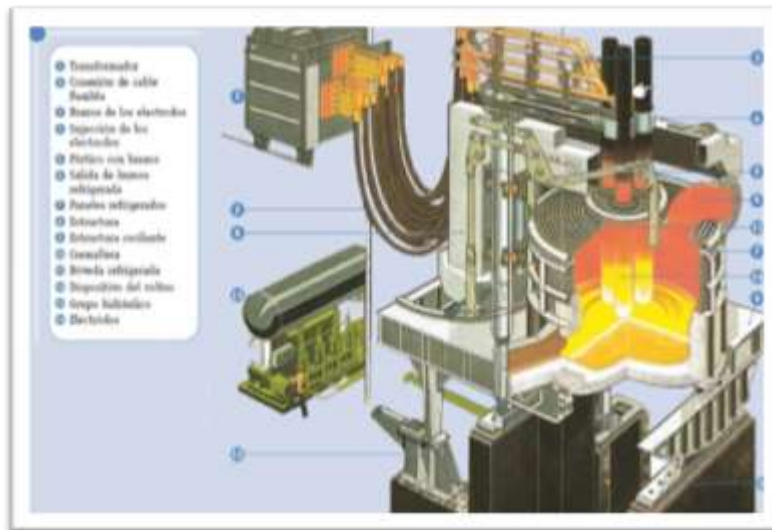
Los hornos se pueden dividir en tres clases:



**Figura 63. (a) Hornos de Combustible.**



**Figura 64. (b) Convertidores.**



**Figura 65. (c) Hornos Eléctricos.**

Los hornos de combustible se subdividen en dos categorías:

- a) Hornos en los cuales el metal y el combustible están separados.
- b) Hornos en los cuales el metal y el combustible están en contacto (cubilotes).

Los convertidores utilizan como fuente de calor la combustión de alguno de los elementos de la aleación.

Los hornos eléctricos, a su vez, se subdividen en tres categorías:

- a) Hornos Eléctricos de Arco.
- b) Hornos Eléctricos de Resistencia.
- c) Hornos Eléctricos de Inducción.<sup>35</sup>

### **3.9.3 Hornos de Combustible Temperatura de la Llama**

Las fuentes de calor en estos hornos, son los combustibles, la temperatura máxima se obtiene cuando la combustión es completa, es decir cuando es lo más aproximada posible a la teórica, es decir sea sin exceso ni de combustible ni de comburente.

Cada tipo de combustible tiene una particular temperatura teórica de la llama y ésta, en cada caso, debe ser superior al punto de fusión del metal que hay que fundir. Por ejemplo, la fundición gris funde a 1200°C y por ello la llama de los diversos combustibles empleados para fundirla y recalentarla debe tener una temperatura de alrededor de 1800°C para compensar toda clase de pérdidas de calor.

### **3.9.4 Hornos Eléctricos. Potencia y Consumo.**<sup>36</sup>

Los hornos eléctricos son muy usados en fundición y, para esclarecer los principios en que se basa la fusión de los metales con empleo de energía eléctrica, es necesario recordar brevemente algunas nociones de electrotecnia. La energía eléctrica llega al horno en forma de corriente trifásica procedente de los transformadores con secundario en estrella o en triángulo.

Cuando los hornos se instalan sobre tres fases, son hornos trifásicos; cuando se instalan sobre una sola fase se denominan hornos monofásicos; en este caso, la línea permanece desequilibrada, a menos que se instale un horno de la misma potencia sobre cada fase.

---

[<sup>35</sup>] CAPELLO E. Tecnología de la Fundición. Barcelona: Editorial G. Gili S.A., 1971. Pag.149-150.

[<sup>36</sup>] CAPELLO E. Tecnología de la Fundición. Barcelona: Editorial G. Gili S.A., 1971. Pag.151-153.

a) La energía eléctrica se transforma en energía térmica según la ley de Joule, que dice:

«El calor generado en un circuito eléctrico es igual al cuadrado de la intensidad de corriente  $I^2$ , por la resistencia óhmica  $R$ , por el tiempo  $t$  en segundos durante los cuales fluye la corriente, por 0,00024, que es la cantidad de calor en calorías desarrollada por un amperio que pasa por un conductor con resistencia de 1 ohm durante un segundo.»

En los hornos de alta frecuencia, el consumo es menor y el rendimiento puede llegar del 65 al 67%. En los hornos de baja frecuencia, para la fundición de cobre, latón y duraluminio, los consumos y rendimientos se exponen en la siguiente Tabla 23.

**Tabla 23. Consumos Específicos de Energía en los Hornos de Baja Frecuencia.**

Aleación	Consumo Teórico por 100 Kg de Metal kWh	Consumo Efectivo por 1000 Kg de Metal kWh	Rendimiento Térmico %
Latón	160	220	73
Cobre	185	350	53
Duraluminio	280	560	50

Fuente: E. CAPELO; Tecnología de la Fundición; Editorial G. Gili S.A.; Barcelona; España 1971.

### **3.9.5 Hornos de Combustible en los que Metal y Combustible están Separados.**

Describiremos algunos de los hornos más empleados en fundición:

### **3.9.6 Horno de Crisol Fijo de Coque, Fuel-Oil o Gas<sup>37</sup>.**

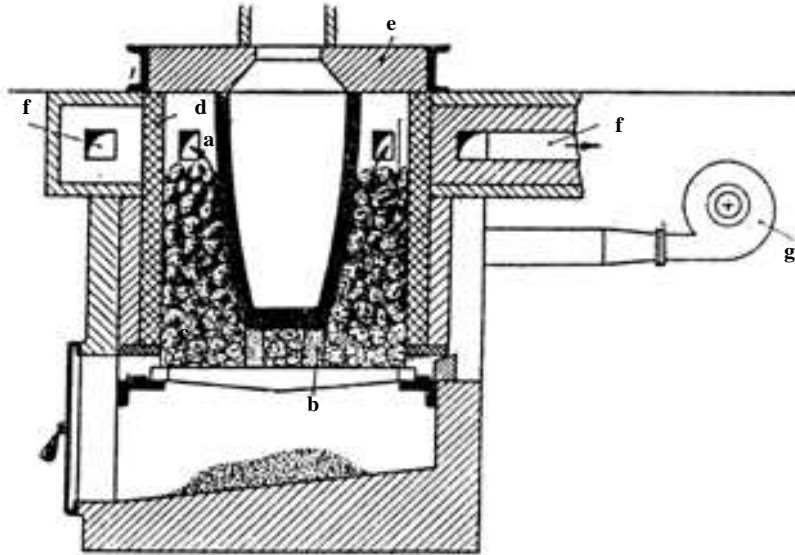
Es el tipo más sencillo de horno, y todavía se encuentra en algunas pequeñas fundiciones que trabajan aleaciones de metales no féreos. En las fundiciones que trabajan con hierro fundido puede tener empleo para coladas pequeñas y urgentes.

No se emplea para el acero, a pesar de que es un hecho cierto que los mejores aceros ingleses del siglo pasado eran obtenidos en baterías de este tipo de hornos. La Figura 66 muestra su construcción: un crisol de grafito apoyado sobre zócalos de

---

[<sup>37</sup>] CAPELLO E. Tecnología de la Fundición. Barcelona: Editorial G. Gili S.A., 1971. Pag.154-155.

refractarios y rodeado por todas partes de coque partido que se enciende y alcanza la incandescencia por la insuflación de aire. El crisol alcanza de este modo temperaturas muy elevadas y la carga metálica que contiene se funde sin entrar en contacto directo con los gases de la combustión.



**Figura 66. Horno de crisol fijo, de coque, fuel-oil o gas; en un hoyo, (d) de ladrillo refractario, el crisol (a), sostenido por un zócalo también refractario (b), está rodeado del combustible (si el horno es de coque). La cubierta (e) tapa el hoyo y el ventilador (g) suministra aire. Los productos de la combustión son evacuados por la chimenea (f) y las cenizas caen en el centro (c).**

El consumo de coque es elevado: a título de ejemplo señalaremos que para el aluminio es de 30 a 35 kg por quintal métrico y para el cobre de 40 a 45 kg.

El elemento más importante es el crisol, compuesto de grafito de Ceilán o de Madagascar, con la adición eventual de carborundo, mezclado con aglutinantes adecuados, por ejemplo, arcilla o alquitrán. Los crisoles se construyen con estampas de acero sobre las cuales es fuertemente prensado el material de aquellos. Se acaban en el torno y después de secados se introducen en cajones de material refractario y se someten a cocción en hornos adecuados a temperaturas muy elevadas.

Los crisoles se clasifican por puntos, entendiéndose por punto el contenido en peso de 1 kg de bronce líquido (es decir, un crisol de 100 puntos puede contener 100 kg de bronce fundido). En el comercio se encuentran crisoles de muy pocos puntos e incluso

de fracciones de punto para metales preciosos, y crisoles de 30- 50- 80- 100- 120- 150- 175- 200- 250- 300- 400 puntos para aleaciones no férricas, de esto se desprende que los hornos de este tipo solo son aptos para coladas de poco volumen.

### **3.10 Calentamiento<sup>38</sup>.**

#### **3.10.1 Temperatura del Metal.**

La transferencia de calor que se produce en el molde disminuye la temperatura del metal líquido, por lo tanto, si este no está lo suficientemente caliente, se puede obstruir la corriente cuando el frente de solidificación avance rápidamente.

Entonces, la pérdida de calor en un metal líquido disminuye su fluidez, esto se torna muy crítico cuando las temperaturas de sobrecalentamiento proporcionadas a los metales y aleaciones son demasiado bajas, se puede establecer que las condiciones de flujo del metal líquido serán fuertemente afectadas por la densidad de la aleación y por su viscosidad que depende de la temperatura.

#### **3.10.2 Características del Fluido de Metal Líquido**

El aluminio Moldeado es un líquido caliente. El aluminio puro se funde a 1220°F (660°C) y es típicamente manejable a 1300 – 1450°F (700 – 790°C) para evitar la solidificación prematura. El aluminio derretido en contacto con cualquier parte del cuerpo humano puede causar serias quemaduras.

El aluminio fundido en contacto con otros materiales sintéticos o mezclas sintéticas puede encender o derretirse proporcionando una pequeña protección para el metal moldeado y no debería ser usada mientras el aluminio fundido tiende a no adherirse al algodón sin tratar.

---

[<sup>38</sup>] Fuente: Tesis; Influencia de la temperatura de Colado sobre la Fluidez de las Aleaciones de Al-Mg-Si, 15T00266

### 3.10.3 Análisis de Evaporación de los Componentes de Aleaciones

Para analizar la evaporación que puedan sufrir las aleaciones de Aluminio a experimentarse, es necesario conocer la presión de vapor que cada elemento contenido en la aleación produce a las temperaturas que se alcanzan en los procesos de fusión y colado.

La presión de vapor de un elemento puede ser representado por la ecuación del tipo:

$$\text{Log } p = -\frac{A}{T} + B + C \cdot \text{Log } T + 10^{-3}DT \quad (3)$$

Los valores de las constantes A, B, C y D se muestran en la Tabla 24 tomada de Smithells<sup>39</sup>.

**Tabla 24. Valores de las Constantes para Determinar la Presión del Vapor de los Elementos en Cierta Rango de Temperatura.**

Elemento	A	B	C	D	Rango de Temperatura (°K)
Al	16450	12.36	-1.023	-	1200 – 2800
Cu	17870	10.63	-0.236	-0.16	298 – 1356
	17650	13.39	-1.273	-	1356 – 2870
Mg	7780	11.41	-0.855	-	298 – 649
	7550	12.79	-1.41	-	649 – 1090
Ni	22500	13.60	-0.96	-	298 – 1453
	22400	16.95	-2.01	-	1453 – 2910
Si	20900	10.84	-0.565	-	1412 – 3270
Zn	6883	9.418	-0.0503	-0.33	473 – 692.5
	6670	12.00	-1.126	-	692.5 – 1000
Fe	21080	16.89	-2.14	-	900 – 1812
	19710	13.27	-1.27	-	1812 – 3000
Mn	14850	17.88	-2.52	-	993 – 1373
	13900	17.27	-2.52	-	1244 – 2060

**Fuente:** SMITHELLS, Ed. Butterwohs, Metals Reference Book, London, 1983.

[<sup>39</sup>] CAPELLO E. Tecnología de la Fundición. Barcelona: Editorial G. Gili S.A., 1971. Pag.154-155.



### **3.10.4 Materiales Refractarios**<sup>40</sup>

Se define material refractario como aquel cuerpo que resiste la acción del fuego sin cambiar de estado ni descomponerse. Por tanto, se considera como material refractario a todo aquel compuesto o elemento que es capaz de conservar sus propiedades físicas, químicas y mecánicas a elevada temperatura.

### **3.10.5 Generalidades y Clasificación.**

Todos los hogares, hornos o estufas deben revestirse en los puntos expuestos a elevadas temperaturas, con materiales refractarios, entendiendo por refractarios aquellos materiales que soportan la acción de temperaturas elevadas (por lo menos 600°C) sin ablandarse excesivamente ni romperse.

Los materiales refractarios industrialmente importantes se clasifican, casi siempre, en tres categorías:

- a) **Refractarios Ácidos.** En los cuales predomina la sílice  $SiO_2$ ; ésta última a temperaturas altas reacciona con los refractarios, con las cenizas, con las escorias o con los fundentes básicos, formando silicatos cuyo punto de fusión es inferior al punto de fusión de los dos constituyentes.
- b) **Refractarios Básicos.** En los cuales predomina el óxido de calcio CaO o de magnesio (MgO); a temperaturas muy elevadas reaccionan con los refractarios, las cenizas, las escorias o los fundentes ácidos, formando silicatos de un punto de fusión relativamente bajo. En este caso tiene también validez la advertencia del párrafo precedente.
- c) **Materiales Neutros.** En los cuales predomina la alúmina (sesquióxido de aluminio  $Al_2 O_3$ ), la silimanita (silicato anhidro de aluminio  $Al_2 O_3 . SiO_2$ ), el carborundo (carburo de silicio SiC), la cromita (sesquióxido de cromo  $Cr_2 O_3$ ) o el grafito (estado alotrópico del carbono C). Se les da el nombre de neutros

---

[<sup>40</sup>] CAPELLO E. Tecnología de la Fundición. Barcelona: Editorial G. Gili S.A., 1971. Pag.192.

porque no reaccionan de manera sensible con ningún otro tipo de material refractario, o de cenizas, o escorias o fundentes.

Algunas veces resulta difícil establecer la distinción entre las precedentes clasificaciones por el hecho de que se preparan materiales refractarios mezclando sustancias de categorías distintas, es decir, materiales ácidos, o básicos con materiales neutros (por ejemplo, en los refractarios sílico-aluminosos).

### **3.10.6 Propiedades.**<sup>41</sup>

La refractariedad no es suficiente para definir la aptitud de un determinado material para ser empleado en los hornos, sino que deben tomarse en consideración, también, otras propiedades no menos importantes:

1. La resistencia a la compresión en frío. Se indica en  $kg/cm^2$ .
2. La temperatura de reblandecimiento bajo la carga de  $2 kg/cm^2$ .  
Se indica en grados centígrados°C.
3. La dilatación lineal en caliente. Se indica en % a una determinada temperatura. Por ejemplo, la magnesita se dilata mucho; el material silicoaluminoso, poco; la silimanita, poquísimos; la sílice, mucho, entre  $500^\circ$  y  $700^\circ C$ .
4. La resistencia a los cambios bruscos de temperatura. Es el caso que se produce normalmente en el régimen de marcha de los hornos. Para determinarla, se recurre a pruebas empíricas, como sumergir repetidamente un ladrillo caliente en agua: el número de inmersiones que el ladrillo soporta antes de romperse o de agrietarse es un índice de esta resistencia.
5. La resistencia a la acción de las escorias y del gas. Las plazas de trabajo de casi todos los hornos están en contacto con metales líquidos (sobre los cuales flotan las escorias) o con gas, con polvos producidos por los humos, etc., y los materiales refractarios deben poder soportar estos contactos en caliente.
6. Las exigencias son numerosas y variadas y no existe un material que las satisfaga todas. Por lo tanto, la elección de un tipo determinado de material refractario debe ser consecuencia de observaciones y de experimentos prácticos profundizados caso por caso.

---

[<sup>41</sup>] CAPELLO E. Tecnología de la Fundición. Barcelona: Editorial G. Gili S.A., 1971. Pag.192-193

La conductividad térmica es la propiedad de transmitir el calor entre las moléculas del mismo cuerpo y se indica en  $kcal/m \cdot h \cdot ^\circ C$ . Hay que tener muy en cuenta en la elección de los materiales. Por ejemplo, el revestimiento refractario de un cubilote debe ser mal conductor, mientras que para la fabricación de crisoles para la fusión de los metales es conveniente usar como es lógico, material buen conductor.

### **3.11 Combustibles.**

#### **3.11.1 Combustión**

La combustión es la fuente de energía más importante provista por la naturaleza; sus aplicaciones en motores de combustión interna, refinación de metales o cocción de alimentos, entre otros, hacen de ella un elemento esencial en la eficiencia de algunos procesos.

Además la combustión es la reacción química rápida del oxígeno, que se define como comburente, con los distintos elementos que constituyen el combustible (principalmente carbono (C) e hidrógeno (H)). Estas reacciones químicas liberan energía produciendo aumentos locales de temperatura, lo que origina un flujo de calor hacia el exterior.



**Figura 67. Combustión.**

Cuando se necesitan grandes cantidades de calor se recurre a los combustibles que se pueden encontrar en la naturaleza, los mismos que al mezclarse con el oxígeno

del aire en el proceso de la combustión se produce una reacción y una liberación de energía calorífica, produciéndose como productos el CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>O, y cenizas.

En los hornos industriales se hace muy activa la combustión, ya que las temperaturas a alcanzar son muy elevadas. Se emplean medios especiales para provocar la formación de una llama.

Para que se manifieste una combustión, o para que sea completa, es necesario:

1. La presencia del cuerpo comburente que pueda alimentar la combustión, es decir, oxígeno en cantidad por lo menos igual al valor teórico que resulta de la composición del combustible y de las reacciones químicas que se manifiestan.
2. Temperatura inicial suficientemente elevada. En la práctica se «*ceba*» la combustión calentando una porción del combustible hasta que alcance una determinada temperatura, que es muy distinta de combustible a combustible, llamada temperatura de encendido, como puede verse en la Tabla 25

**Tabla 25. Temperatura de Encendido de los Principales Combustibles.**

Combustibles	Temperatura de Encendido °C
Óxido de Carbono	300
Hidrógeno	550
Metano	650
Carbono	700
Turba	230
Leña Dura	300
Hulla	330
Coque	700
Gas del Alumbrado	800

Gasolina	450
Gas-Oíl	400

**Fuente:** E. CAPELO, Tecnología de la Fundición, Editorial G. Gili S.A., Barcelona, España 1971.

3. Que el oxígeno o el aire, que se emplea mas corrientemente, se mezclen íntimamente con los gases de la combustión que se desarrollan durante el proceso.

Si falla alguna de estas condiciones, no se produce la combustión o resulta incompleta.

### 3.11.2 Tipos de Combustión<sup>42</sup>

**Completa:** Se produce cuando el total del combustible reacciona con el oxígeno. En el caso de una combustión completa, los productos de esta combustión son solamente CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>. Es decir no quedan residuos de combustible sin quemar.

**Incompleta:** Se produce cuando parte del combustible no reacciona completamente. En este caso los productos de la combustión incluyen también hidrocarburos no quemados, como C, H y CO.

Las razones principales que influyen en este hecho son: dificultad para producir pre mezcla homogénea, insuficiente tiempo de residencia en la zona de combustión, enfriamiento de los productos o volumen de aire insuficiente, o una combinación de las causas anteriores.

### 3.11.3 Clasificación y Composición Química<sup>43</sup>.

Los combustibles se pueden clasificar, en relación con su estado en:

1. Combustibles sólidos.
2. Combustibles líquidos.
3. Combustibles gaseosos.

<sup>42</sup> CAPELLO E. Tecnología de la Fundición. Barcelona: Editorial G. Gili S.A., 1971. Pag.183

<sup>43</sup> CAPELLO E. Tecnología de la Fundición. Barcelona: Editorial G. Gili S.A., 1971. Pag.185-187

Y, en relación con su origen, en:

- a) Combustibles naturales.
- b) Combustibles artificiales.

Los principales combustibles utilizados en la industria siderúrgica y en fundición están comprendidos en la Tabla 26.

**Tabla 26. Combustibles más Empleados en Siderurgia y Fundición.**

Combustibles	Naturales	Artificiales
Sólidos	Leña	Carbón de leña
	Turba	Coque de lignito
	Lignito	Coque de gas
	Hulla	Coque metalúrgico de fundición Coque de petróleo
Líquidos	Petróleo	Fuel-oil
		Gas-oil
		Gasolina
Gaseosos	Metano	Gas de gasógeno
		Gas de alto horno
		Gas del alumbrado
		Gas de coque

**Fuente:** E. CAPELO, Tecnología de la Fundición, Editorial G. Gili S.A., Barcelona, España 1971.

Los combustibles se caracterizan por su análisis químico y por su poder calorífero.

El análisis químico elemental proporciona datos sobre el contenido de carbono (C), de hidrogeno (H), de oxigeno (O), de nitrógeno (N) y de azufre (S).

El análisis industrial corriente, indica la humedad, materias volátiles, cenizas y carbono fijo.

La humedad está representada por la pérdida en peso del combustible después de su secado en la estufa a + 105°C. Las materias volátiles representan la pérdida en peso

que experimenta el combustible cuando se gasifica a  $950^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ ; teniendo en cuenta las prescripciones particulares para la forma del crisol y para la duración de la operación. El carbono fijo en % es igual a 100 menos el porcentaje de humedad, de materias volátiles y de cenizas.

Con el análisis elemental o con la bomba calorimétrica se determina el poder calorífico. La Tabla 27, marca la composición media y el poder calorífico inferior de los combustibles más usados en fundición.

**Tabla 27. Composición Media y Poder Calorífico Inferior de los Combustibles más Usados en Fundición.**

	Combustibles	C %	H %	O+N %	S %	H <sub>2</sub> O %	Cenizas %	Poder Calorífico Inferior kcal/kg
Sólidos	Hulla del Ruhr	79	4,5	7	1	2,5	6	7500
	Hulla del Sarre	70	4	9	1	9	7	6500
	Hulla de la Alta Silesia	73	4,5	10	1	3,8	7,7	6900
	Hulla inglesa	75	4,5	8	1	5,5	6	7100
	Antracita	86	3,5	3,5	1	3	8	7800
	Coque seco	84	1	3	1	3	8	7000
	Coque húmedo	68	0,4	2,6	1	21	7	5450
	Carbón de leña	85	2,5	5	0,5	3,5	3,5	6500...7000
	Coque de petróleo	89	3	3,5	1,5	-	3	8000
Líquidos	Fuel-oil, Gas-oil	85...87	12...13	0...1,4	-	0,2...0,6	-	9820
	Gasolina	85	15	-	-	-	-	10200

	Gases Industriales	CO %	H %	CH <sub>4</sub> %	Hidrocarburos Pesados %	CO <sub>2</sub> %	N %	O %	Poder Calorífico Inferior kcal/m <sup>3</sup>
Gaseosos	Gas del alumbrado	4...11	45...55	30..43	2...6	1..0,3	1..6	0..1,5	4500
	Gas de coque								
	Gas de alto horno	31	3	-	-	7	59	-	1250
	Gas de gasógeno	22	13	2	-	6	57	-	1000
	Metano	-	-	100	-	-	-	-	8500

Fuente: E. CAPELO, Tecnología de la Fundición, Editorial G. Gili S.A., Barcelona, España 1971.

### 3.11.4 Combustibles más Usados en Fundición

**3.11.4.1 Nafta:** Es un combustible altamente volátil, muy inflamable y es utilizado, sobre todo, como combustible para motores a explosión. Su poder calorífico es 11000 cal / Kg.

**3.11.4.2 Kerosene:** Constituye un derivado menos volátil e inflamable que la nafta. Su poder calorífico es de 10500 cal / Kg. Se utiliza en calefacción y en las turbohélices y reactores de las turbina de gas de los motores de aviación.

**3.11.4.3 Gas-oil:** es denso, menos volátil que el petróleo. Su poder calorífico es igual a 10250 cal / Kg., se lo utiliza mucho en calefacción y para hornos industriales y metalúrgicos.

**3.11.4.4 Diesel-oil:** es un subproducto obtenido de los derivados más pesados del petróleo; se quema más lentamente que el gas-oil. Se utiliza sólo en motores Diesel lentos. Su poder calorífico es de 11000 cal / Kg.

**3.11.4.5 Fuel-oil:** es un subproducto obtenido de los derivados más pesados del petróleo. Se quema con dificultad. Su poder calorífico es igual a 10000 cal / Kg.

**3.11.4.6 Alquitrán de Hulla:** es un subproducto obtenido de la fabricación del coque. Puede quemar directamente pero se lo utiliza poco como combustible, usándolo sólo en hogares especiales para este, que puedan vencer la viscosidad del mismo. Su poder calorífico es de 9100 cal /Kg.

**3.11.4.7 Alquitrán de Lignito:** se lo obtiene de la destilación del lignito. Su poder calorífico es 9600 cal / Kg. Es muy similar al gas-oil, pero al utilizarlo en motores diesel, su comportamiento es muy inferior del de los derivados del petróleo.

**3.11.4.8 Alcoholes:** se pueden quemar muy fácilmente. Tienen diversos orígenes (derivaciones de: petróleo, vino, papas, etc.). Los alcoholes puros, como combustibles tienen muy poco uso. Su mayor empleo está en la fabricación de



mezclas con benzol, bencina o naftas con objeto de mejorar la calidad de las mismas.

## CAPÍTULO IV

### 4. PROPUESTA

Para la optimización de los procesos del Área de Fundición de CEDAL S.A., se ha realizado el estudio respectivo para elaborar la propuesta de los diagramas de Flujo y Recorrido (**Ver Anexos 10 y 11**).

#### **4.1 Mejoramiento de los Factores que Intervienen en la Producción.**

Para una producción óptima se recomienda mejorar ciertos aspectos en el entorno físico del Área de Fundición de CEDAL S.A., el cual se reflejara en la comodidad de sus operarios al producir de mejor manera la fundición del aluminio. La calidad del ambiente de trabajo está muy relacionada con la industria, donde el operario brinda sus servicios, conocimientos y experiencia.

Un buen ambiente de trabajo genera una mínima carga, de tal manera que provoca menos fatiga y esfuerzo a sus operarios mejorando su estado físico, y así se reducen los accidentes laborales y preservando la salud del trabajador.

**Tabla 28. Cuadro de Riesgos Específicos por Rama de Actividad Industrial.**

<b>PROCESO/OPERACIÓN</b>	<b>POSIBLES AGENTES DE RIESGO</b>
Aprovechamiento de Chatarra	Humo de metales, plomo, cadmio, zinc, solventes, ácidos, cortes, raspaduras, abrasiones de piel, ruido.
Calderas	Silicatos, fluoruros, humus de soldadura y metales, rayos x, pinturas, solventes, explosiones, pruebas de calidad, corte, perforación y modelación de metales.
Fundición	Partículas metálicas, CO <sub>2</sub> , CO, fenoles, hidrocarburos, sílice, quemaduras, temperaturas altas, deslumbramiento, quemaduras de retina, atrapamiento en prensas de moldeo y ruido.
Metales	Abrasivos, ácidos, disolventes, cianuros, temperaturas altas, cortaduras, pulimento y corte, golpes, máquinas herramientas, ruido.

**Fuente:** Autores de Tesis.

#### **4.1.1 Iluminación.**

Para el Área de Fundición, se ve la necesidad de implementar **claraboyas y techos translucidos**, para obtener un aprovechamiento entre luz natural y artificial, en zonas donde se requiere una mayor iluminación al 30%. Por otra parte el polvo y humo generado por la fundición de chatarras en especial (chatarra negra), hacen bajar la intensidad luminosa hasta un 50%.

Se ha detectado falta de limpieza en las luminarias por lo que se hace necesario que el alumbrado artificial defectuoso sea reemplazado y que se proporcione un mantenimiento continuo a este servicio.

Para la ubicación de los techos, debe considerarse una altura libre mínima de 6 metros, si la cubierta es grande por lo menos el doble de la altura.

La disposición de las claraboyas en la cubierta se recomienda por lo menos en un 25% del Área de Fundición (**Ver Anexo 12**). Y para mayor efectividad de la iluminación combinar con colores adecuados en el interior del área de trabajo.



**Figura 68. Iluminación del Área de Fundición (actual).**

#### 4.1.2 Acceso.

Se propone una ampliación y mejor ubicación de los lingotes, etiquetados con la fecha de aprobación; que deberán ser ubicados en zonas adecuadas dentro de la planta, porque no poseen un lugar fijo al momento, causando obstrucciones en la circulación de los montacargas y el personal que labora en estas áreas.

Para el almacenamiento de lingotes aprobados, deberá utilizarse **separadores transversales metálicos (Ver Anexo 13 y 14)**, los cuales tendrán medidas según el lugar de almacenamiento.



**Figura 69. Separador Transversal (actual).**

La recepción de chatarras y almacenamiento debe disponer de una **nueva área con su respectiva cubierta (Ver Anexo 15)**, para evitar así la contaminación atmosférica y la mezcla con otros elementos aleantes; además las cargas que existen en

el área de trabajo no se originan solamente por el equipo y maquinaria de producción, sino también por el almacenamiento de materia prima (chatarra).

Las **cargas vivas** en pisos están reguladas por reglamentos de construcción urbana acorde al tipo de maquinaria a instalarse en una cimentación adecuada para la industria.

**Tabla 29. Cargas Vivas en Instalaciones Industriales.**

INSTALACIONES	CARGAS (Kg/m <sup>2</sup> )
Pasillos y otros espacios donde una multitud pueda reunirse	488 Kg/m <sup>2</sup>
Talleres Mecánicos	244 a 976 Kg/m <sup>2</sup>
Fundiciones y Bodegas	976 a 1464 Kg/m <sup>2</sup>
Sitios donde se tenga vibración	976 a 1464 Kg/m <sup>2</sup> más un 25%

**Fuente:** Autores de Tesis.

Las **cargas muertas** se deben al peso de la estructura, divisiones y todo el equipo permanente que no se incluye en las cargas vivas.

**Tabla 30. Cargas Muertas de Instalaciones Industriales.**

MATERIAL	PESO (lb/pie <sup>2</sup> )
Asfalto y Fielto, cuatro capas	2
Vidrio, hoja de 1/8 de espesor	2
Lámina Metálica	1-2
Tragaluz, 3/16 a 1/4 pulg., vidrio y estructura	4-5

**Fuente:** Autores de Tesis.

### 4.1.3 Ventilación y Calefacción.

La fundición de las diferentes chatarras genera gran cantidad de humo, donde se ve la necesidad de realizar limpiezas periódicas de los ventiladores y chimeneas instalados en el Área de Fundición, cuyo objetivo será tener una mejor evacuación de los gases producidos por los hornos de fundición y homogenizado. Las tomas de aire exterior no deben estar en sitios de contaminación elevada, por ejemplo cerca de chimeneas, rejillas de expulsión de aire viciado, torres de refrigeración, etc.

**Tabla 31. Tipos de Ventilación y sus Diferentes Utilidades.**

VENTILACIÓN	UTILIDADES
<b>Natural</b>	Cargas de calor moderadas. Emisiones muy pequeñas de gases y vapores (menos de 1 cm <sup>3</sup> /minuto). No para humos o polvos. Oficinas con más de 50 m <sup>2</sup> /persona.
<b>General forzada</b> (ventilación por dilución)	Cargas de calor altas. Emisiones moderadas de gases y vapores (Hasta 100 cm <sup>3</sup> /minuto). Oficinas con menos de 50 m <sup>2</sup> / persona.
<b>Localizada</b> (mediante sistemas de extracción)	Emisiones altas de contaminantes. Contaminantes peligrosos (incluso en cantidades pequeñas). Humos y polvos.
<b>De confort</b>	Para producir condiciones térmicas de bienestar.

**Fuente:** Autores de Tesis.

Las temperaturas más adecuadas de calefacción para el trabajo son:

**Tabla 32. Temperaturas Adecuadas.**

Trabajo Sedentario	18°C
Trabajo Moderado	15°C
Trabajo Intenso	13°C

Fuente: Autores de Tesis.

#### 4.1.4 Acondicionamiento Cromático.

Se sugiere tener en cuenta que la aplicación de colores en el área de trabajo, maquinaria y equipos, mejoran de manera directa la visibilidad en lugares oscuros donde se realiza el proceso de fundición.

La refracción de la luz en techos y paredes varía según el color en la siguiente proporción:

**Tabla 33. Refracción de Luz en Paredes.**

COLOR	%
Blanco	85 %
Marfil	70%
Crema	65%
Azul celeste	65%
Verde claro	60%
Ocre claro	50%

Fuente: Autores de Tesis.

Es indispensable cambiar los colores del Área de Fundición en las tonalidades que se detallan:

**Tabla 34. Colores Recomendados para Instalaciones Industriales.**

Techos, cubiertas y estructuras	Marfil o crema pálido
Paredes	Amarillo pálido
Zócalos	Ocre claro
Puentes Grúas	Amarillo cadmio con bandas negras verticales en el centro
Maquinaria	Verde medio o gris claro destacando los volantes en negro
Motores de las Máquinas e Instalaciones Eléctricas	Azul oscuro



Fuente: Autores de Tesis.

#### 4.1.5 Eliminación de Desperdicios.

Para su procesamiento en el Área de Fundición se ve la necesidad de implementar una **nueva área con su respectiva cubierta** donde se almacene y clasifique las escorias (**Ver Anexo 16**), producidas por las diferentes chatarras utilizadas en el proceso de fundición del aluminio.



**Figura 70. Almacenamiento de Escoria (actual).**

Es necesaria la implementación de un equipo recuperador de escoria, esto ayudará a recuperar aluminio contenido en la escoria para luego ser reutilizado en la fundición. El equipo puede ser de marca (semi automatizada) o un horno convencional de reverbero.



**Figura 71. Recuperador de Escoria.**

#### **4.2 Optimización de la Chatarra y Aluminio Primario.**

Para una mejor optimización se propone al Área de Fundición de CEDAL S.A., adquirir chatarras compactadas, evitando la caída externa de chatarra (perfiles, tubos, etc.) fuera del cargador; mejorando el fácil ingreso de chatarra de aluminio y disminución de las veces de apertura del horno de fusión (melting).



**Figura 72. Caída de Chatarra (actual).**



**Figura 73. Chatarra Compactada.**

Para las chatarras sueltas se hace necesario implementar una máquina compactadora, la cual ayudará a disminuir el espacio utilizado para su almacenamiento. Además para obtener porcentajes óptimos de aleaciones se deberá usar en forma adecuada y combinada el aluminio primario.



**Figura 74. Máquina Compactadora.**

#### **4.2.1 Determinación del Tipo de Chatarra Adecuado para Fundición.**

Para determinar la chatarra de aluminio óptima, se realizó una comparación del porcentaje de composición química de las chatarras con la aleación de aluminio más producido en el Área de Fundición.

El resultado obtenido al aplicar análisis de espectrometría de chispa o arco, a las diferentes muestras de chatarras de aluminio empleadas en el Área de Fundición de CEDAL S.A., se pudo establecer que es viable, evitando la contaminación del aluminio líquido obtenido a través de las siguientes chatarras:

**Tabla 35. Chatarras Utilizadas en Fundición de Aluminio.**

<b>TIPO</b>	<b>PROCEDENCIA</b>
Chatarra CEDAL (Blanca)	Producción Interna de Planta
Chatarra Negra Nacional	Mercado Interno
Chatarra Mesa Extrusión Importada	Mercado Externo
Chatarra Negra Importada	Mercado Externo
Aluminio de Segunda Fusión	Mercado Interno y Externo
Alambre de Aluminio	Mercado Interno y Externo
Viruta o Limalla de Aluminio	Producción Interna de Planta

**Fuente:** Autores de Tesis.

Para las gráficas se tomó en consideración las siguientes chatarras, debido a los problemas frecuentes que se producen al ser utilizados:

- **Chatarra Negra Nacional.**
- **Chatarra Negra Importada.**
- **Aluminio de Segunda Fusión.**

Los valores para realizar las gráficas de composición química, se basan en la siguiente disposición del programa utilizado por CEDAL S.A.; “Calculo de Aleantes-Hertwich”.

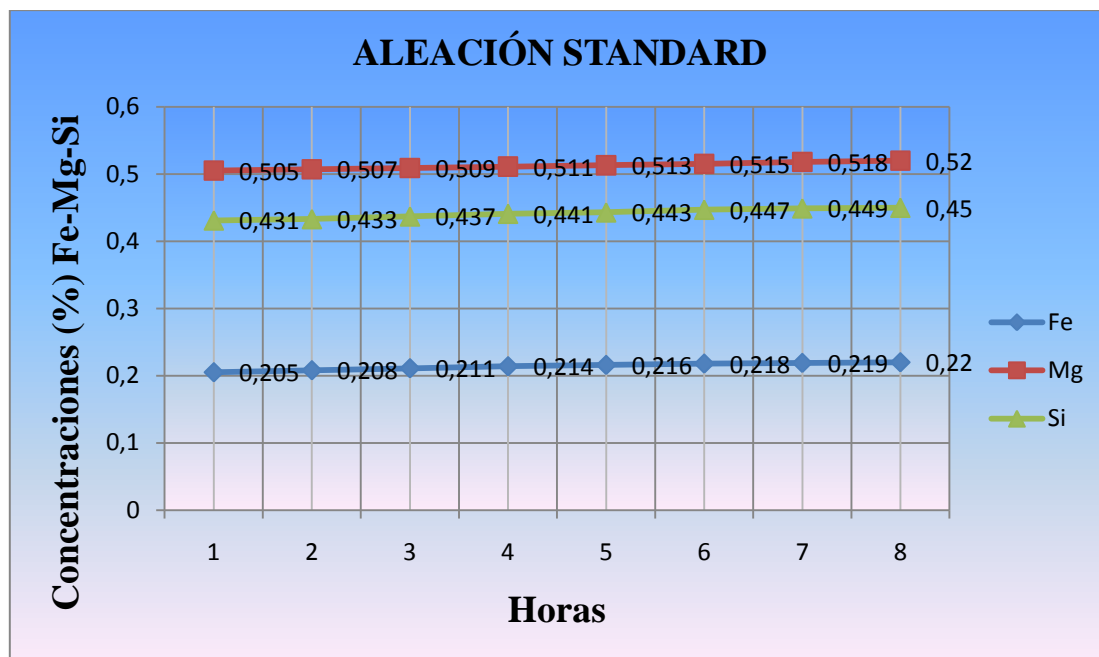
**Tabla 36. Valores del Programa.**

Gráfico N.-01. IDEAL					Gráfico N.-02. STANDARD				
Hora	Fe	Mg	Si	Dif. (Mg-Si)	Hora	Fe	Mg	Si	Dif. (Mg-Si)
1	0,184	0,481	0,401	0,080	1	0,205	0,505	0,431	0,074
2	0,181	0,484	0,403	0,081	2	0,208	0,507	0,433	0,074
3	0,183	0,485	0,406	0,079	3	0,211	0,509	0,437	0,072
4	0,193	0,493	0,413	0,080	4	0,214	0,511	0,441	0,070
5	0,196	0,497	0,414	0,083	5	0,216	0,513	0,443	0,070
6	0,199	0,502	0,416	0,086	6	0,218	0,515	0,447	0,068
7	0,202	0,503	0,421	0,082	7	0,219	0,518	0,449	0,069
8	0,204	0,504	0,424	0,080	8	0,220	0,520	0,450	0,070

Fuente: Autores de Tesis.



**Figura 75. Aleación Ideal.**



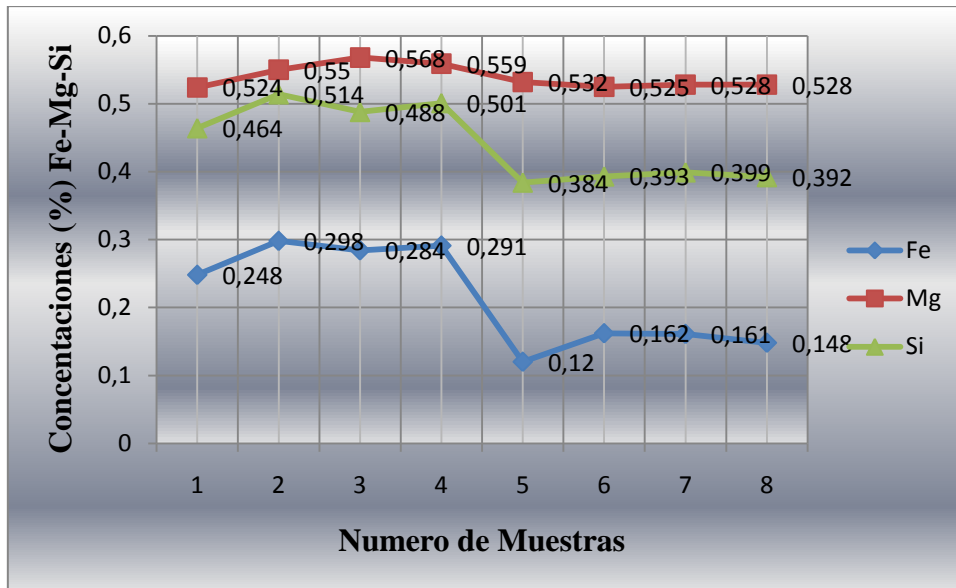
**Figura 76. Aleación Standard.**

Concluidos los análisis de espectrometría de las muestras de cada chatarra se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 37. Composición Química de Chatarra Negra Importada.**

Numero de Muestras	% Fe	% Mg	% Si
1	0,248	0,524	0,464
2	0,298	0,550	0,514
3	0,284	0,568	0,488
4	0,291	0,559	0,501
5	0,120	0,532	0,384
6	0,162	0,525	0,393
7	0,161	0,528	0,399
8	0,148	0,528	0,392

**Fuente:** Autores de Tesis.

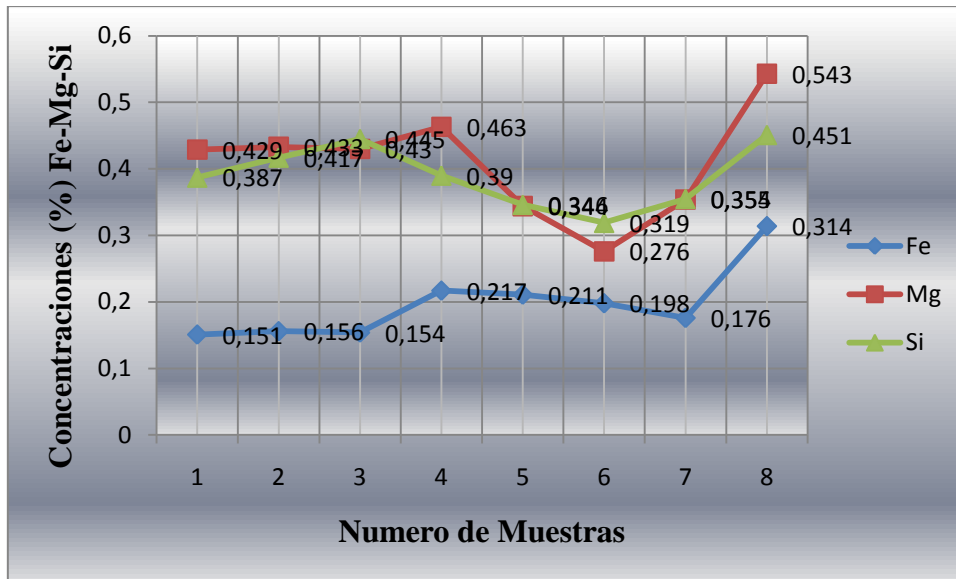


**Figura 77. Chatarra Negra Importada.**

**Tabla 38. Composición Química de Chatarra Negra Nacional.**

Numero de Muestras	% Fe	% Mg	% Si
1	0,151	0,429	0,387
2	0,156	0,433	0,417
3	0,154	0,430	0,445
4	0,217	0,463	0,390
5	0,211	0,344	0,346
6	0,198	0,276	0,319
7	0,176	0,354	0,355
8	0,314	0,543	0,451

**Fuente:** Autores de Tesis.



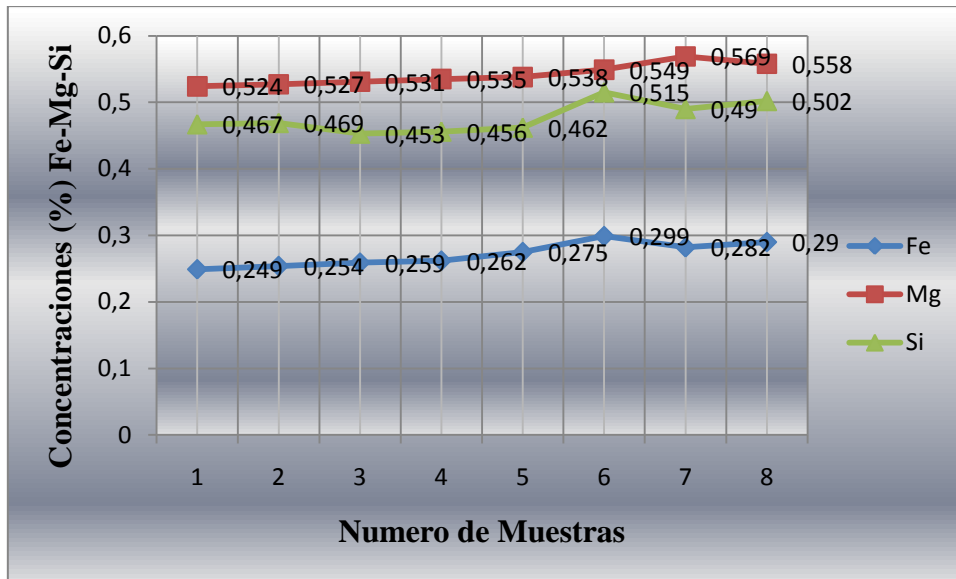
**Figura 78. Chatarra Negra Nacional.**

**Tabla 39. Composición Química de Aluminio de Segunda Fusión.**

Numero de Muestras	% Fe	% Mg	% Si
1	0,249	0,524	0,467
2	0,254	0,527	0,469
3	0,259	0,531	0,453
4	0,262	0,535	0,456
5	0,275	0,538	0,462
6	0,299	0,549	0,515
7	0,282	0,569	0,490
8	0,290	0,558	0,502

**Fuente:** Autores de Tesis.





**Figura 79. Aluminio de Segunda Fusión**

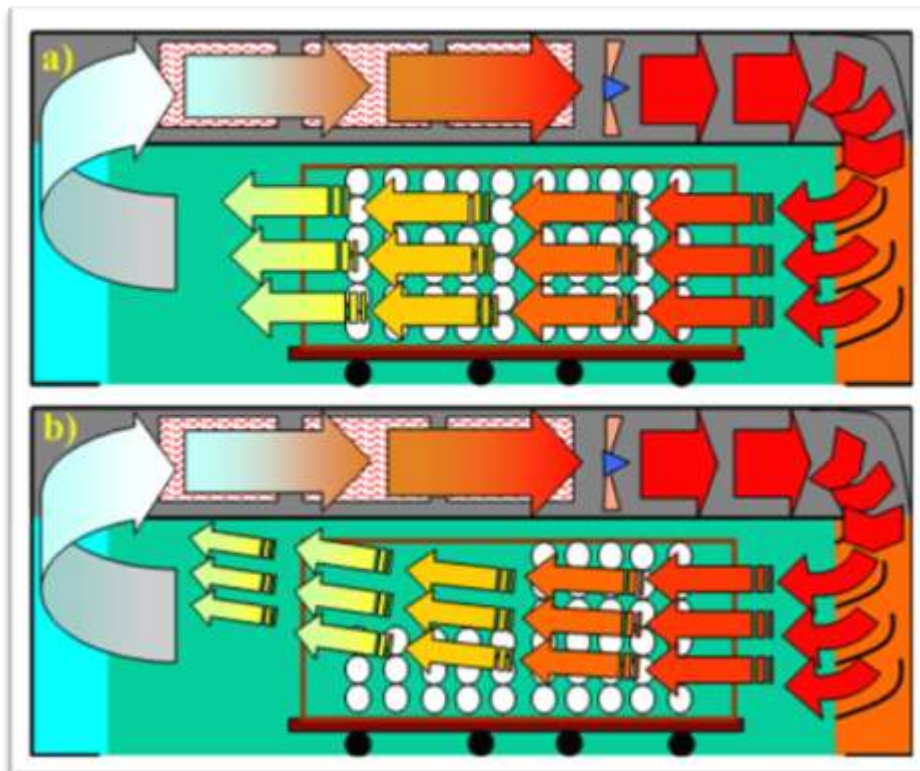
De acuerdo a los resultados obtenidos de cada muestra y su gráfica se ve la necesidad de:

- Disminuir su uso y trabajar de forma organizada con las Áreas de Control de Calidad y Extrusión para establecer valores con tendencia a la aleación ideal y standard.
- Organizar las chatarras en cajas y muy bien identificados (peso, tipo de chatarra, composición química, procedencia).

### 4.3 Optimización del Proceso de Homogenizado.

Es necesario implementar el enfriamiento combinado de ventiladores y agua o la construcción de una **cabina de enfriamiento (Ver Anexo 17)**; el cual evitará la acumulación de lingotes terminados luego del proceso de homogenizado. El enfriamiento con agua ayudará a reducir la temperatura de homogenizado ( $580^{\circ}\text{C}$ ) en un intervalo de ( $60$  a  $40$ )  $^{\circ}\text{C}$ , aproximadamente en 2 horas; mejorando la velocidad de extrusión (extrubilidad).

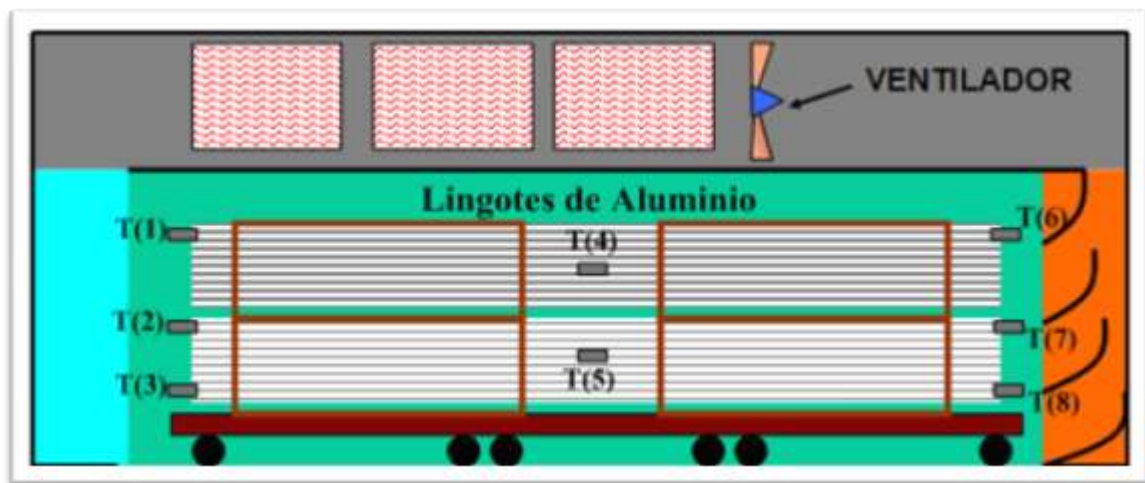
Se deberá sugerir al personal de Fundición realizar el montaje completo de lingotes de aluminio en el coche de homogenizado, ya que una carga incompleta disminuye en el rendimiento del horno y se obtiene un incorrecto homogenizado interno de los lingotes:



**Figura 80. Homogenizado: a) Carga Completa; b) Carga Incompleta.**

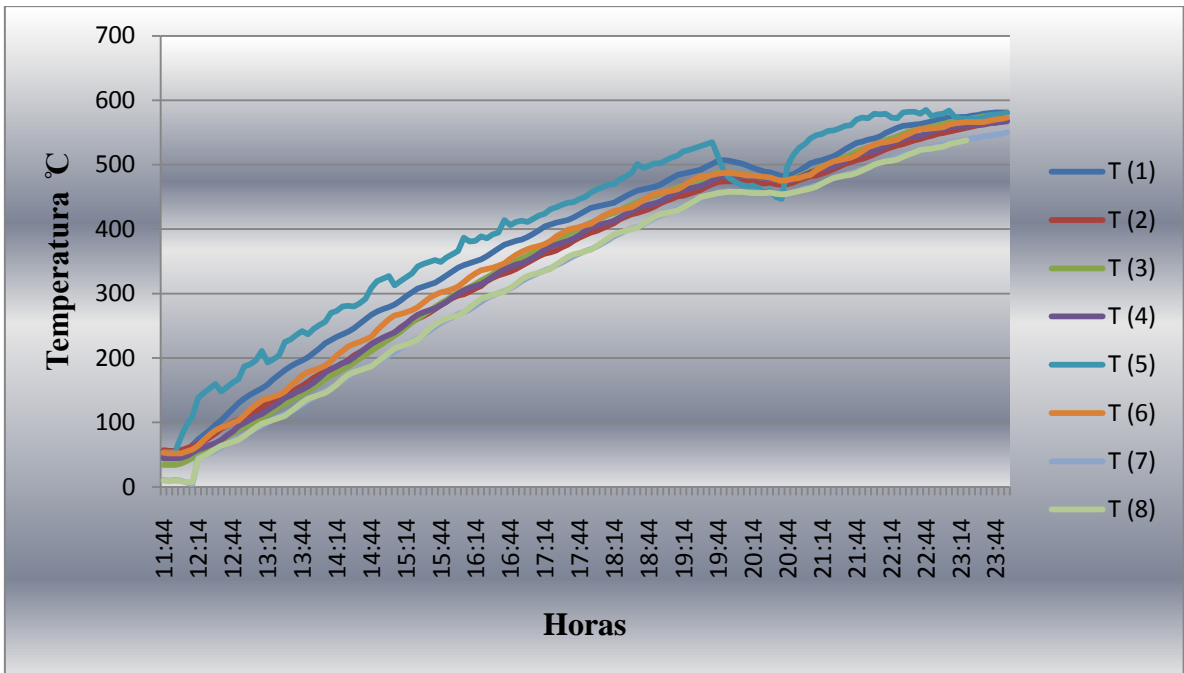
#### **4.3.1 Análisis de las Temperaturas Obtenidas en el Homogenizado de Lingotes de Aluminio.**

El registro de las temperaturas (**Anexo 18**) se realizó de forma experimental a través de termocuplas del tipo “K”, conectados a un set-point e instalados en ocho lingotes de aluminio debidamente agujerados en su interior; donde el programa “CEDAL-Temperaturas” facilitó la información sobre las temperaturas internas de los lingotes en diferentes zonas de la carga; y sus temperaturas de enfriamiento.

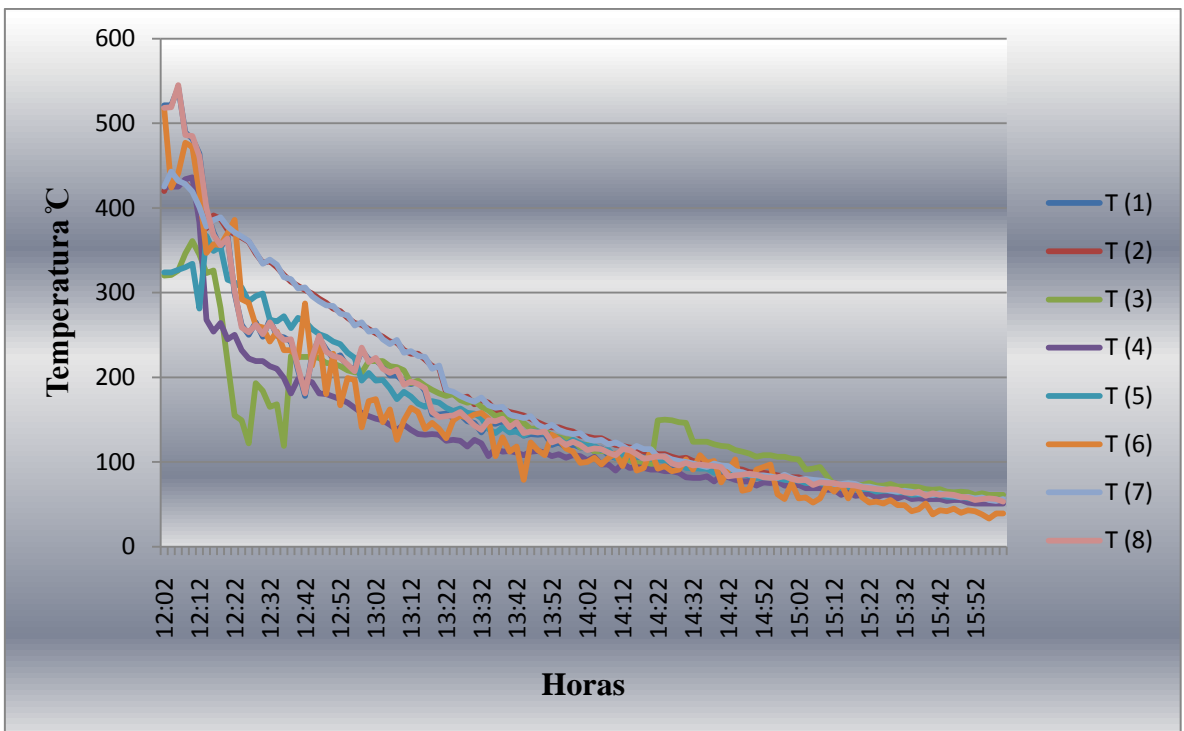


**Figura 81. Disposición de Termocuplas.**

A continuación se muestran gráficos de temperaturas de homogenizado y su respectiva temperatura de enfriamiento:



**Figura 82. Temperaturas Internas de Homogenizado.**



**Figura 83. Temperaturas de Enfriamiento del Homogenizado.**

Los resultados obtenidos de la temperatura de homogenizado y su enfriamiento determinaron los siguientes resultados:

- La temperatura ambiente del horno establecida (580 a 620) °C; es variable con la temperatura interna de los lingotes (550 a 569) °C durante el proceso de homogenizado.
- El tiempo establecido de homogenizado para carga inicial 9 horas y carga continua 8 horas; es superior en el proceso actual de 10 a 12 horas.
- El tiempo de enfriamiento de los lingotes homogenizados es de 4 horas.

Mediante los análisis obtenidos se ve la necesidad de establecer un mantenimiento más frecuente del horno de homogenizado, en especial en su sistema de quemadores y filtros de combustibles. De igual manera el de establecer controles continuos de temperatura durante el homogenizado de lingotes de aluminio.

#### **4.3.2 Determinación de la Temperatura Promedio para Homogenizar.**

Se determinó con el registro de temperaturas (**Ver Anexo 19**), de un proceso óptimo del horno de homogenizado para cargas continuas de 8 horas obteniéndose los siguientes resultados:

**Tabla 40. Temperatura Promedio.**

<b>Temperatura Promedio de Homogenizado de Cada/Termocupla</b>							
<b>T1 (°C)</b>	<b>T2 (°C)</b>	<b>T3 (°C)</b>	<b>T4 (°C)</b>	<b>T5 (°C)</b>	<b>T6 (°C)</b>	<b>T7 (°C)</b>	<b>T8 (°C)</b>
<b>558</b>	<b>562</b>	<b>553</b>	<b>555</b>	<b>557</b>	<b>566</b>	<b>557</b>	<b>555</b>
<b>Temperatura promedio para homogenizar:</b>				<b>558°C</b>			

**Fuente:** Autores de Tesis.

#### **4.3.3 Determinar las Características y Propiedades Obtenidas al Homogenizar los Lingotes de aluminio.**

El homogenizado de lingotes de aluminio, nos brinda los siguientes resultados:

**Tabla 41. Composición Química Aleación 6063 (% en Aleantes).**

<b>Lingote de Aluminio sin Homogenizar</b>		
<b>% Fe</b>	<b>% Mg</b>	<b>% Si</b>
0,20	0,52	0,43
<b>Lingote de Aluminio Homogenizado</b>		
<b>% Fe</b>	<b>% Mg</b>	<b>% Si</b>
0,199	0,49	0,41

**Fuente:** Autores de Tesis.

### **Características:**

- El proceso de homogenizado se realizó en carga continua de 8 horas.
- La temperatura de homogenizado se mantiene estable durante 2 horas aproximadamente.
- El % de Mg disminuye 0,03% y Si 0,02% mientras que el % de Fe disminuye en mínimo 0,001%, estos valores pueden variar según la composición química.
- Los elementos más importantes de esta aleación son el Magnesio y Silicio.

### **Propiedades:**

- La aleación ofrece gran velocidad de extrusión, mejor acabado superficial.
- Se mecanizan con facilidad y tienen una buena resistencia a la corrosión.
- El hierro (Fe) incrementa la resistencia mecánica; el magnesio (Mg) tiene alta resistencia tras el conformado en frío; el silicio (Si) combinado con (Mg) tiene mayor resistencia mecánica.
- El silicio (Si) incrementa las características de colabilidad del aluminio, mejora la fluidez, la resistencia a la fractura en caliente y el comportamiento de alimentación de la cavidad del molde.

## **4.4 Optimización del Horno de Fundición.**

Para la optimización del Horno de Fundición de CEDAL S.A., se realizó el siguiente estudio e investigación de Empresas Fundidoras donde su proceso de fundición de aluminio emplea Hornos de Operación Continua o Tipo Batch, con sistema de colado vertical el cual se detalla en el siguiente ítem .

#### **4.4.1 Caracterización del Tipo de Horno Adecuado.**

El estudio e investigación realizada tiene las siguientes características:

- Es un horno de carga vertical, cuya área de trabajo está rodeada por tubos radiantes calentados por GLP.
- Evitan la oxidación severa por fusión directa de los quemadores a la chatarra (mínima producción de escoria, mejor fluidez de calor en aluminio líquido).
- Su operación de colado continuo hace innecesario el uso de grandes y costosos laminadores para laminar lingotes y convertirlos en planchones.
- Los lingotes realizados por colado vertical continuo se solidifican en segundos. Por esta razón hay mayor uniformidad en la composición química y las propiedades mecánicas.

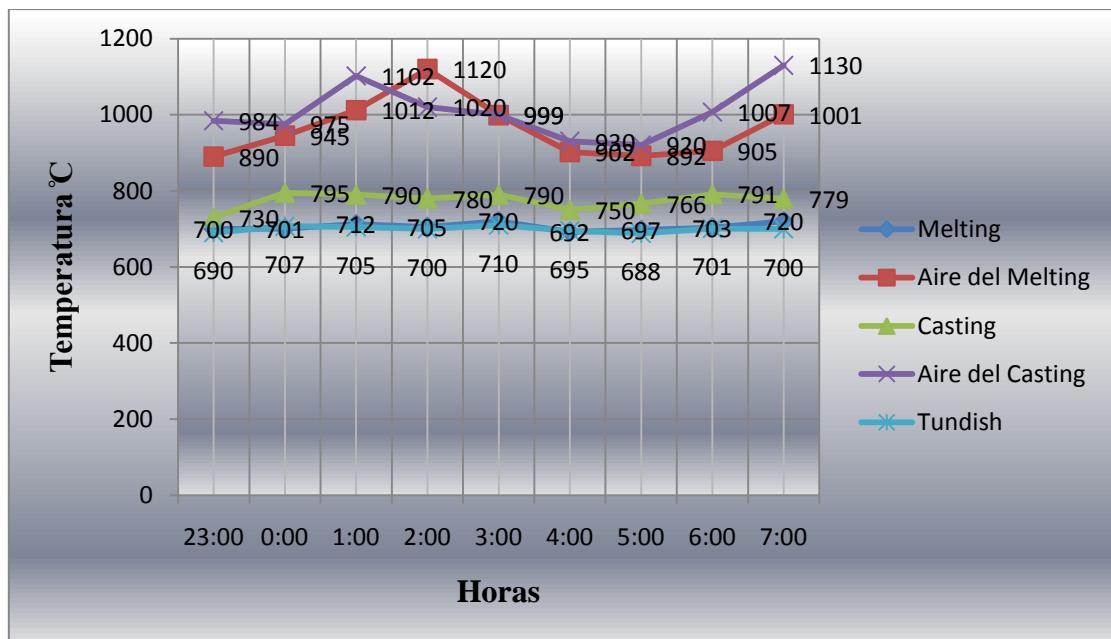


**Figura 84. Horno Tipo Batch, (Sistema de Colado Vertical).**

#### **4.4.2 Análisis de las Temperaturas Obtenidas con las Termocuplas Instaladas en el Horno de Fundición.**

Para realizar el análisis de temperaturas se consideró que la temperatura mínima en el tundish debe ser 680°C, si hay temperaturas por debajo de este valor existe el riesgo de congelamiento de aluminio en el tundish. El rango de temperaturas en el tundish es de (680°C min a 720°C máx.).

El registro de temperaturas (**Anexo 20**) obtenido, determina el siguiente gráfico de temperaturas durante el funcionamiento del Horno de Fundición y sus componentes.



**Figura 85. Temperaturas de los Componentes del Horno de Fundición.**

El gráfico de temperaturas del Horno de Fundición y sus componentes nos determina los siguientes resultados:

- Las temperaturas del aire en el Horno de Colado (Casting) y Horno de Fusión (Melting), varían de acuerdo a las veces que se abran sus puertas la variación es constante.
- La temperatura de colado de aluminio en Casting y Melting permanecen casi estables dependiendo de la masa de aluminio fundido que tenga el horno y la energía interna almacenada en los ladrillos refractarios.

#### **4.4.3 Mejora en la Colocación de Chatarra en el Horno de Fundición.**



Se propone al Área de Fundición, establecer una ficha de registros del porcentaje necesario en (Kg) por cada chatarra a ser utilizada en los turnos de trabajo; el cual ayudará a mantener estable la composición química del colado de aluminio, sin alterarlo y una mejor utilización rotativa de cada chatarra. La capacidad del Horno de Fundición es de 22000 Kg (22 Ton.)

A continuación se propone fichas con porcentajes a ser utilizados en fundición, el cual puede variar por cantidades existentes en su almacenamiento, problemas de adquisición y fallas en equipos de producción:

**Tabla 42. Porcentajes de Chatarras en (Kg).**

<b>Ficha de Registro N.- 01</b>		
<b>Tipo de Chatarra</b>	<b>Porcentaje (%)</b>	<b>Peso (Kg)</b>
Aluminio Primario	35	7700
Chatarra CEDAL (Blanca)	29	6380
Chatarra Negra Nacional	21	4620
Chatarra Mesa Extrusión Importada	15	3300
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>22000Kg</b>
<b>Ficha de Registro N.- 02</b>		
<b>Tipo de Chatarra</b>	<b>Porcentaje (%)</b>	<b>Peso (Kg)</b>
Chatarra Cedal (Blanca)	33	7260
Chatarra Mesa Extrusión Importada	36	7920
Chatarra Negra Importada	19	4180
Alambre de Aluminio	12	2640
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>22000 Kg</b>

**Fuente:** Autores de Tesis.

**Tabla 43. Porcentajes de Chatarras en (Kg) (Continuación).**

Ficha de Registro N.- 03		
Tipo de Chatarra	Porcentaje (%)	Peso (Kg)
Aluminio Primario	32	7040
Chatarra CEDAL (Blanca)	28	6160
Chatarra Mesa Extrusión Importada	26	5720
Aluminio de Segunda Fusión	14	3080
Total	100%	22000 Kg
Ficha de Registro N.- 04		
Tipo de Chatarra	Porcentaje (%)	Peso (Kg)
Chatarra CEDAL (Blanca)	25	5500
Chatarra Mesa Extrusión Importada	32	7040
Alambre de Aluminio	23	5060
Chatarra Negra Nacional	11	2420
Viruta o Limalla de Aluminio	9	1980
Total	100%	22000 Kg

Fuente: Autores de Tesis.

#### **4.5 Optimización de los Materiales Refractarios.**

Para la optimización de los materiales refractarios empleados en el Área de Fundición de CEDAL S.A., se realizó el siguiente estudio e investigación de empresas productoras de refractarios con la finalidad de encontrar los materiales refractarios más apropiados en fundición de aluminio.

##### **4.5.1 Caracterización de los Refractarios Utilizados en Fundición.**

El estudio e investigación de los materiales refractarios realizado determina las siguientes características:

- Ladrillos refractarios con alto contenido en alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), tienen un coeficiente de dilatación térmica muy bajo, soportan altas temperaturas y se enfrían sin presentar dilataciones o deformaciones.
- Ladrillos refractarios con alto contenido de sílice ( $\text{SiO}_2$ ), soportan elevadas temperaturas y a diferencia del anterior, se dilatan de manera considerable cuando son sometidos a fases alternativas y continuas de calor y frío.
- Poseen baja conductividad térmica, alto punto de fusión y resistente a la abrasión.
- Compuesto o elemento capaz de conservar sus propiedades físicas, químicas y mecánicas a elevada temperatura.
- Su refractariedad (resistencia pirosfópica), es igual o superior a  $1500^\circ\text{C}$ . Es decir, resisten esas temperaturas sin fundir o reblandecer.
- Poseen una resistencia mecánica elevada en temperaturas, para poder resistir sin deformarse su propio peso y el de los materiales que están en contacto sobre ellos.

#### **4.5.2 Determinar el Refractario Adecuado a ser Utilizado en los Equipos de Fundición.**

Para el Área de Fundición se ve la necesidad de implementar la utilización de recubrimiento refractario de Nitruro de Boro (BN), del tipo Blue en canales de alimentación del aluminio líquido y sus equipos auxiliares de desgasificación, tundish, filtros y porta filtro cerámico.

El nitruro de boro (BN) tiene las siguientes ventajas:

- Es lúbricamente/agente de desmoldeo de alta temperatura, antiadherente para procesos de prensado en caliente.

- Es ideal para formar un sedimento, una barrera que proteja a la cerámica, o metal que se utilizan en las operaciones de fundición, ya que forman una capa no humectante y no reactiva con el aluminio fundido, el magnesio y sus escorias.
- Su aplicación es sencilla en capas uniformes y delgadas.
- Además su aplicación permite un secado rápido por su base de acetona/alcohol y disminuye el consumo de (BN) en forma de masa.



**Figura 86. Nitruro de Boro.**

#### **4.6 Optimización de Combustibles y Fundentes.**

La optimización de combustibles y fundentes se basa en el siguiente estudio e investigación, ya que forman parte fundamental en el Área de Fundición de CEDAL S.A. y se expone en los siguientes ítems.

##### **4.6.1 Determinación del Tipo de Combustible Empleado en Hornos de Fundición.**

El estudio e investigación realizada determina las siguientes ventajas de los combustibles gaseosos frente a los líquidos.

###### **Mejor rendimiento energético derivado de:**

- Posibilidad de reducir el exceso de aire al mínimo.

- Ausencia de inquemados (componentes del combustibles que no se oxidan totalmente, los más importantes son CO e H<sub>2</sub>).
- Calentamientos directos con llama o gases de combustión.
- Facilidad de implantación de sistemas de recuperación de calor y regulación automática.

Menores costos de mantenimiento por:

- Ausencia de sistemas de preparación del combustible y almacenamiento en algunos casos.
- Mayor duración de los equipos consumidores.

Inherentes a la naturaleza del combustible:

- Eliminación de emisiones de SO<sub>2</sub> y SO<sub>3</sub> (lluvia ácida).
- Ausencia de inquemados sólidos y/o cenizas.
- Menores emisiones de CO y CO<sub>2</sub> (efecto invernadero).
- Menores emisiones de NO<sub>x</sub> (lluvia ácida y efecto invernadero).

Hornos Continuos de Recalentamiento:

- Reducción de las pérdidas por oxidación y descarburación.
- Las pérdidas de calor sensible son menores que en el caso del fuel-oil, por ser menor la cantidad de gases.
- Mayor duración de los refractarios.
- Menor necesidad de limpieza del horno.

Inconvenientes:

- Las combustiones son peligrosas porque existe riesgo de explosión, y por tanto los depósitos de gas deben estar alejados del horno, por lo que su costo es elevado.
- Las emisiones, aunque son menores que en el caso de combustibles líquidos, siguen siendo una desventaja frente a los hornos eléctricos.

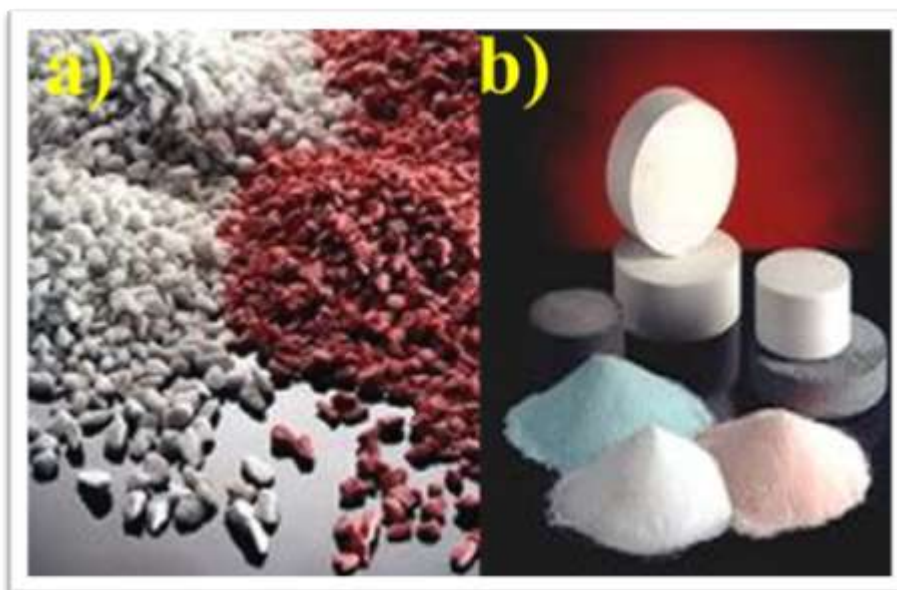
**4.6.2 Determinación del Fundente más Utilizado en Fundición.**

Se expone a continuación varias clases de fundentes utilizados en fundición de aluminio, los cuales pueden ser implementados para obtener un mejor proceso de desescoriado en el Área de Fundición:

**Tabla 44. Tipos de Presentación del Fundente (COVERAL).**

Tipo	Ventajas	Inconvenientes
Forma de Polvo	<p>Reacción rápida</p> <p>Fácil de inyectar</p> <p>Puede adherirse a las paredes</p>	<p>Mayor dosis (0,3 a 0,6)%</p> <p>Volátil (se puede inhalar)</p> <p>Humos de reacción</p>
Forma de Granulado	<p>Reducción de pérdidas por aspiración</p> <p>Más ecológico: menos humo y no se levanta</p> <p>Dosis reducida: (0,15 a 0,3)%</p>	<p>Reacción más lenta</p> <p>Más difícil de inyectar</p> <p>No se adhiere a las paredes</p>

**Fuente:** Autores de Tesis.



**Figura 87. Fundentes: a) Tipo Granulado; b) Tipo Polvo y Pastilla.**

**Coveral 55**, fundente desescoriador exotérmico en forma de polvo adecuado para todo tipo de aleaciones de aluminio, a excepción de aleaciones de AlMg con más del 3% de Mg:

- Reduce la pérdida de fusión sin encendido de la escoria.
- Su temperatura de aplicación es de > 720 a 750°C.

**Coveral 88**, fundente exotérmico en polvo para limpiar las paredes de hornos, a continuación sus ventajas:

- Evita la acumulación de óxidos en las paredes y mantiene la capacidad del horno.
- Evita la acumulación de Corundum (aglomeración de los óxidos sobre las paredes de los hornos).
- Deja la escoria muy pulverizante, fácil de retirar.
- Bajo consumo: de 1 a 2 Kg/m<sup>2</sup> de pared, y aplicación semanal.

**Coveral GR 2510**, fundente desescoriador en forma granulada está desarrollado para tratar todas las aleaciones de aluminio, excepto para las que tienen más del 3% de Magnesio.

- Grado de tamizado (1 a 3) mm diseñado para la inyección de lanza y rotor.
- Responsable con el medio ambiente.
- No produce polvo durante el uso.
- Emisión de cantidades pequeñas de humo durante la aplicación.
- Mezcla granular que permite índices de aplicación bajos en comparación con los fundentes en polvo.
- Mejor consistencia química de grano a grano y el hecho de que no se produce segregación durante el transporte o la manipulación del material.

**Coveral GR 2516**, es un fundente desescoriador en forma granulada; permite la desoxidación y eliminación de impurezas no metálicas, sin retener mucho metal en las escorias (son secas y con muy poco metal). Desarrollado para las aleaciones con Mg < 3%.

- Temperatura de utilización: desde 640°C.

#### **4.6.3 Determinación de Características de los Fundentes.**

Según el estudio e investigación realizada, se determina las siguientes características al ser utilizados en fundición de aluminio:

- Crean una barrera líquida entre la atmósfera del horno (las flamas), y el aluminio fundido.
- Previenen la oxidación del metal y ayudan a evitar la absorción de hidrogeno.
- Forman una buena barrera de protección con la atmósfera de los hornos con poca interacción química con los refractarios de los hornos.
- Ablandan y ayudan en la eliminación de las aglomeraciones de óxidos sobre las paredes de los hornos que tienden a reducir la capacidad de los hornos y “ensuciar”.

#### **4.7 Optimización de Equipos y Accesorios.**

La optimización de equipos y accesorios utilizados en el Área de Fundición de CEDAL S.A., permitirá mejorar su utilización en cada proceso a continuación se realizó el siguiente estudio e investigación el cual se expone en los siguientes ítems.

##### **4.7.1 Mejora en el Sistema de Alimentación de Aluminio Líquido.**

Se determina para el Área de Fundición implementar la utilización de una cubierta metálica combinada de refractario (**Anexo 21**), para proteger los canales de flujo del aluminio líquido. El cual ayudará a disminuir la pérdida de calor durante su flujo a la formación del lingote de aluminio.





**Figura 88. Oxidación de la Superficie de aluminio.**

#### **4.7.2 Mejora del Proceso de Desgasificación.**

El proceso de desgasificación es fundamental en la fundición de aluminio, donde se utiliza gas inerte argón (Ar) del grado 4.8; el cual es empleado en el equipo desgasificador, además el nitrógeno (N) se utiliza en la desgasificación del Horno de Fundición. A continuación se determina para un mejor proceso de desgasificación del Horno de Fundición la implementación de un generador de nitrógeno (N<sub>2</sub>), el cual produce las siguientes ventajas:

- Producen nitrógeno de alta pureza (99,99%) a través del aire comprimido lo que permite la disponibilidad continua.
- Eliminan los gastos asociados a la compra y/o alquileres de botellas, depósitos criogénicos de nitrógeno.
- Permite una permanente fuente de nitrógeno, con un mínimo consumo de energía y mantenimiento.
- Puede conectar a un depósito externo que permita una reserva para un consumo adecuado a las necesidades de cada aplicación.
- Recuperación de la inversión en menos de 2 años.



**Figura 89. Generador de Nitrógeno (N<sub>2</sub>).**

## CAPÍTULO V

### 5. ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO.

#### 5.1 Análisis de Productividad.

La productividad es la relación entre la producción obtenida en un determinado período de tiempo utilizando factores como eficiencia técnica y económica de la empresa. Cuando existen varias combinaciones de factores para fabricar un mismo producto la elección depende del precio de los factores de producción.

$$Productividad = \frac{\text{toneladas Producidas}}{\text{N}^\circ \text{ de horas maquinas trabajadas}} \quad (4)$$

- **Cálculo de la Producción Actual:**

En base a los datos obtenidos de acuerdo al análisis que se realizó en la Empresa CEDAL S.A.; se dividió las toneladas fundidas para las máquinas empleadas en el área de fundición obteniendo así.

#### **Producción de Toneladas Fundidas al Mes (Actual):**

$$Productividad \text{ Física} = \frac{950 \text{ Toneladas}}{504 \text{ horas} \times 10 \text{ máquinas}} \quad (5)$$

$$Productividad \text{ Física} = 0,1885 \text{ Toneladas/ horas máquina}$$

#### 5.1.1 Análisis de la Productividad Actual con la Propuesta.

Según la implementación y estudio técnico donde se propone el aumento de toneladas para producir en el Área de Fundición; y con el mismo número de operarios en la fundición de aluminio, se puede obtener la siguiente productividad propuesta.

**Producción de Toneladas Fundidas al Mes (Propuesta):**

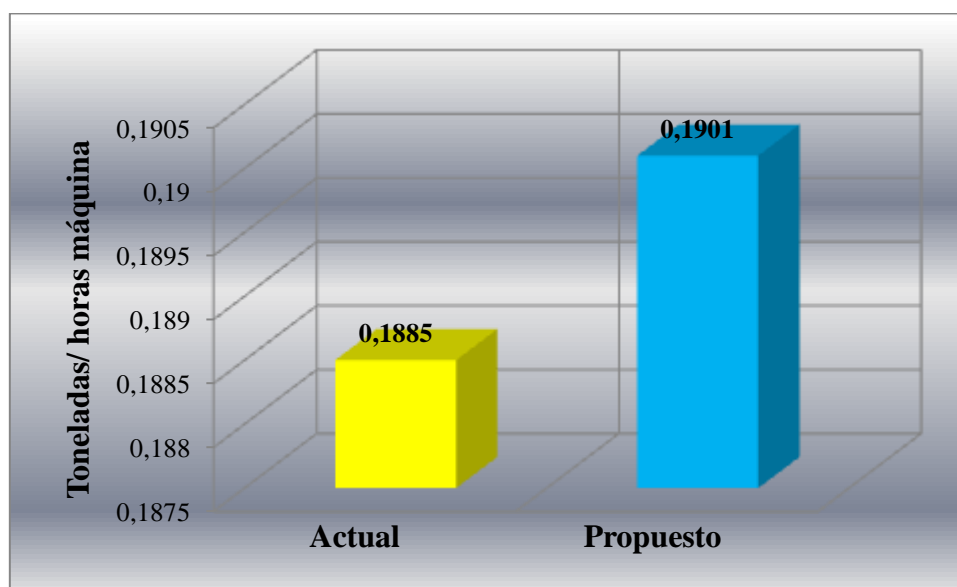
$$Productividad\ Física = \frac{1150\ Toneladas}{504\ horas \times 12\ máquinas} \quad (6)$$

$$Productividad\ Física = 0,1901\ Toneladas/horas\ máquina$$

**Tabla 45. Indicadores de Productividad.**

Análisis de Productividad		
Modelo	Actual	Propuesto
Toneladas/ horas máquina	0,1885	0,1901

**Fuente:** Autores de Tesis.



**Figura 90. Indicadores de productividad.**

**5.2 Comparación Económica entre la Situación Actual y Situación Propuesta.**

**Tabla 46. Producción de Toneladas en Dólares.**

Venta Total		
Descripción	Actual	Propuesto
Toneladas	950	1150
Dólares	1'049.750	1'270.750

Fuente: Autores de Tesis.

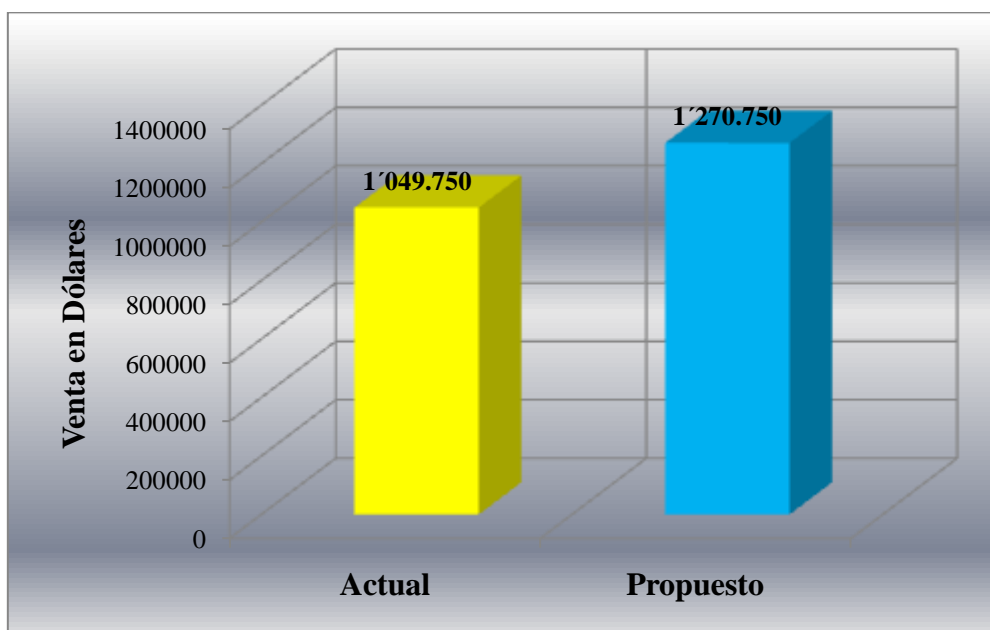
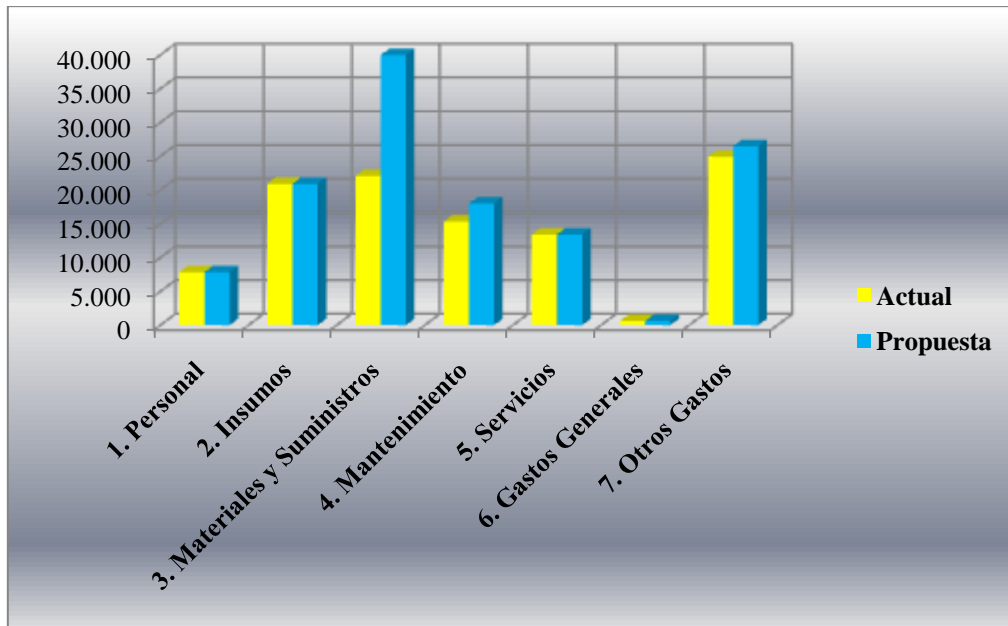


Figura 91. Toneladas Venta Total

Tabla 47. Gastos de Producción.

Departamento	Gastos	Actual	Propuesta
Fundición	1. Personal	7.847	7.847
	2. Insumos	20.937	20.937
	3. Materiales y Suministros	22.100	40.000
	4. Mantenimiento	15.316	18.000
	5. Servicios	13.438	13.438
	6. Gastos Generales	604	604
	7. Otros Gastos	24.952	26.500
<b>Total Fundición</b>		<b>105194</b>	<b>127326</b>

Fuente: Autores de Tesis.



**Figura 92. Gastos de Producción**

### **5.3 Inversiones.**

La inversión que deberá realizar la Empresa CEDAL S.A.; para el Área de Fundición se determina en los siguientes análisis que se detallan a continuación:

- La optimización e implementación de fundición planteada, se determina en el estudio de los procesos productivos de acuerdo al método de trabajo del Área de Fundición.
- La construcción de nuevas áreas para un mejor almacenamiento de chatarras y recuperación de escorias ayudara a evitar su acumulación en zonas inadecuadas y por ende un menor impacto ambiental en zonas aledañas a la empresa.

**Tabla 48. Detalle de la Implementación**

Descripción	Costo (usd)
Recuperador de Aluminio (Al)	42500
Compactadora	50000
Generador de nitrógeno	4000
Construcción de Galpón para Almacenar Escoria	4500
Personal para construcción	1500
Reorganización y para de la producción	245000
Otros gastos	1500
<b>Total</b>	<b>349000</b>

Fuente: Autores de Tesis.

### 5.3.1 Evaluación Económica.

$$Rentabilidad = \frac{\text{Promedio- utilidades}}{\text{Inversión}} \quad (7)$$

$$Rentabilidad = \frac{1270750}{349000} \quad (8)$$

Rentabilidad = 3,6411

Interpretación: Por cada dólar invertido, se recuperará 3,6411

- **Período de Recuperación de la Inversión:**

$$PRC = ( \text{Inversión neta} ) / ( \text{Beneficio Anual} ) = \# \text{ años} \quad (9)$$

$$PRC = \frac{349000}{1270750} = \# 0,27 \text{ años} \quad (10)$$

## CAPÍTULO VI

### **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

#### **CONCLUSIONES**

- Al realizar el análisis en los procesos de producción del Área de Fundición, se determinó que existe aplicación de métodos de trabajo sin parámetros técnicos principalmente en el proceso de homogenizado; donde no existe un control de temperaturas el cual afecta en la facilidad del moldeo de los lingotes de aluminio utilizados posteriormente en el Área de Extrusión.
- Se aplican técnicas de trabajo incorrectas en el Área de Fundición por parte de los operarios, las cuales son empíricas, sin realizar consultas previas al Área de Control de Calidad.
- Se determinó que en el Área de Fundición existen procesos donde no se aplican nuevos métodos técnicos, equipos, accesorios en fundición de aluminio para obtener una mejor utilización de la chatarra de aluminio.

#### **RECOMENDACIONES**

A través del estudio técnico - investigativo realizado en los procesos de producción, se ha determinado, que para beneficio de la "Empresa CEDAL S.A.", debe tomarse en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Implementar los cambios que se detallan, a los procesos de producción, así como la aplicación de diferentes herramientas técnicas creadas para este fin:
  - En iluminación: claraboyas y techos translucidos.
  - Acceso: separadores transversales metálicos y nueva Área de Recepción y Almacenamiento de chatarra de aluminio.



- Eliminación de desperdicios: nueva Área de Almacenaje y Procesamiento de escorias de aluminio.
  - Análisis de Espectrometría de chispa o arco, en chatarras con elevados porcentajes de aleaciones químicas.
  - Fichas de registros con porcentajes en (Kg), de cada chatarra a ser utilizado en fundición.
  - Registro y análisis de temperaturas internas en lingotes de aluminio durante el proceso de homogenizado y enfriamiento.
- 
- Capacitar e informar al personal de fundición sobre la importancia de la Tecnología en Fundición de Aluminio, dando a conocer su aplicación técnica durante los procesos de fundición de las chatarras y su utilización por parte de los operarios.
  
  - Implementar la utilización de nuevos equipos y accesorios, con el objetivo de optimizar los procesos de fundición; y, obtener una mejor producción de lingotes de aluminio y reducir su impacto ambiental:
    - Equipo recuperador de escoria.
    - Máquina compactadora para perfiles de aluminio.
    - Construcción de una cabina de enfriamiento en lingotes homogenizados.
    - Utilización de recubrimiento refractario de Nitruro de Boro (BN), del tipo Blue.
    - Aplicación del fundente COVERAL, en desescoriado del Horno de Fundición.
    - Utilización de una cubierta metálica y refractaria en canales de flujo de aluminio líquido.
    - Utilización de un generador de nitrógeno (N<sub>2</sub>), en desgasificación del Horno de Fundición.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

### **Bibliografía:**

**GÓMEZ, S.** Procedimientos de Mecanizado. Editorial Paraninfo. Madrid: 2006.

**SMITH, W. F.** Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales. Editorial McGraw Hill. Madrid: 1998.

**ARRIZABALAGA, N.** Técnicas Máquinas Herramientas. Editorial Thomson ISBN 84-283-1968-5. Madrid: 2004

**CAICEDO, J. R.** Influencia de la Temperatura de Colado sobre la Fluidéz de las Aleaciones de Al-Mg-Si. Riobamba. 2003.

**ASKELAND, D.** Ciencia e Ingeniería de Materiales. 2da Ed. Iberoamérica. 1990.

**MANGONON, P. L.** Ciencia de Materiales Selección y Diseño. 3ra Ed. Prentice Hall. 2001.

**CZOCHRALSKI, J.** Die Löslichkeit Von Gases in Aluminium, Zeitschrift für Metallkunde. 1922.

**DARDEL, Y.** Purification of Aluminium and its Alloys, Metals Technology. Vol. 14. 1947.

**CAPELLO E.** Tecnología de la Fundición. Barcelona 1971. Editorial G. Gili S.A., Pag.147-149.

## **LINKOGRAFÍA**

### **ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL**

[www.cedal.com.ec](http://www.cedal.com.ec)

2010 – 03 – 01

### **MATERIALES CERAMICOS**

[www.nutecfibratec.com](http://www.nutecfibratec.com)

[www.juval.com](http://www.juval.com)

2010 – 04 – 25

### **CARACTERISTICAS DEL HOMOGENIZADO**

[http://www.luis-aguilera.com/LuisAguilera2\\_archivos/page0003.htm](http://www.luis-aguilera.com/LuisAguilera2_archivos/page0003.htm)

2010 – 06 – 26

### **ALUAR ALUMINIO PRIMARIO**

[www.barromexbcn.com](http://www.barromexbcn.com)

2010 – 07 – 30

### **ESCORIA**

[www.metalcom.com.ar/escoriadealuminio.htm](http://www.metalcom.com.ar/escoriadealuminio.htm)

2010 – 07 – 30

### **FACTORES QUE AFECTAN A LA PLANTA**

[www.pdf.rincondelvago.com/factores-de-riesgo-y-condiciones-de-trabajo.html](http://www.pdf.rincondelvago.com/factores-de-riesgo-y-condiciones-de-trabajo.html)

[www.ual.es/GruposInv/Prevencion/evaluacion/procedimiento/Condiciones\\_ambientales/2-Iluminacion.pdf](http://www.ual.es/GruposInv/Prevencion/evaluacion/procedimiento/Condiciones_ambientales/2-Iluminacion.pdf)

[www.cualimetal.com/visor/Cubiertas/Cubiertas03001a.jpg](http://www.cualimetal.com/visor/Cubiertas/Cubiertas03001a.jpg)

2010 – 08 – 15