



# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

## **EXTENSIÓN LATACUNGA**

### **CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

“Automatización del control de presión del horno de fundición para disminuir los desperdicios en la producción de lingotes de aluminio en la empresa CEDAL de la ciudad de Latacunga.”

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**

**INGENIERO MECATRÓNICO**

***ANA LUCÍA QUEZADA CANTUÑA***

**Latacunga, Noviembre del 2011**

# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

## **CERTIFICADO**

**ING. WILSON SANCHEZ (DIRECTOR)**

**ING. FRANKLIN SILVA (CODIRECTOR)**

### **CERTIFICAN:**

Que el trabajo titulado **“Automatización del control de presión del horno de fundición para disminuir los desperdicios en la producción de lingotes de aluminio en la empresa CEDAL de la ciudad de Latacunga.”** realizado por la señorita: QUEZADA CANTUÑA ANA LUCÍA ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

Latacunga, Noviembre de 2010.

-----  
Ing. Wilson Sánchez

**DIRECTOR**

-----  
Ing. Franklin Silva

**CODIRECTOR**

# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

## **DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, ANA LUCÍA QUEZADA CANTUÑA

### **DECLARO QUE:**

El proyecto de grado denominado **“Automatización del control de presión del horno de fundición para disminuir los desperdicios en la producción de lingotes de aluminio en la empresa CEDAL de la ciudad de Latacunga.”**, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, Noviembre del 2011.

---

ANA LUCIA QUEZADA CANTUÑA

## **AUTORIZACIÓN**

Yo, Ana Lucía Quezada Cantuña, como autora de la tesis **“Automatización del control de presión del horno de fundición para disminuir los desperdicios en la producción de lingotes de aluminio en la empresa CEDAL de la ciudad de Latacunga.”**, autorizo la publicación del presente proyecto de grado en la biblioteca virtual de la ESPE.

Latacunga, Noviembre del 2011

.....  
Ana Lucía Quezada Cantuña

## **AGRADECIMIENTO**

A la Gerencia, Jefes Departamentales y a todo el personal que labora en la Planta de Producción de la Corporación Ecuatoriana de Aluminio CEDAL S.A. en Latacunga, por la apertura y colaboración permanente para el desarrollo de este proyecto de grado.

En especial al Departamento de Mantenimiento por la ayuda prestada en la instalación y puesta a punto del sistema de control diseñado.

Al Director y Codirector del Proyecto de Grado por su acertada guía y oportunos consejos para culminar este trabajo con los mejores resultados.

## **DEDICATORIA**

A Dios por permitirme disfrutar de cada nuevo día lleno de alegrías y retos.

A mis padres Jorge Quezada y Clara Cantuña, por su buen ejemplo de trabajo y honradez, por su paciencia e infinita comprensión en todo momento.

A mis tíos y primos que me han apoyado durante días difíciles y compartido grandes alegrías.

A Alexander que me ha acompañado incondicionalmente en todo momento.

*Ana Lucía*

# ÍNDICE

PORTADA.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
DECLARACION DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
ÍNDICE.....	vii
RESUMEN.....	xviii
PRESENTACIÓN.....	xix

## CAPÍTULO I

1. FUNDAMENTO TEÓRICO .....	1
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO .....	1
1.1.1 GENERALIDADES DE CEDAL .....	1
1.1.2 CARACTERÍSTICAS DEL ALUMINIO .....	2
1.1.3 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS DE CEDAL .....	3
1.1.4 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE FUNDICIÓN.....	6
1.1.5 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE FUNDICIÓN .....	7
1.1.6 ALEACIÓN.....	9
1.1.7 MATERIA PRIMA. ....	11
1.1.8 ELEMENTOS DE ALEACIÓN E INSUMOS PRINCIPALES .....	13

1.1.9 HORNO DE FUNDICIÓN .....	14
1.1.10 CHIMENEA .....	15
1.1.11 DÁMPER PARA DESFOGUE DE GASES .....	16
1.2 GENERALIDADES DEL CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS .....	16
1.2.1 AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL .....	16
1.2.2 DEFINICIONES.....	17
1.2.3 CONTROL DE PROCESOS .....	19
1.2.4 TIPOS DE CONTROL.....	22
1.2.5 CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO .....	22
1.2.6 ELEMENTOS DEL SISTEMA DE CONTROL.....	25
1.2.7 CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES PLC.....	33
1.2.8 PLC FAMILIA MICROLOGIX .....	39
1.2.9 REDES DE ÁREA LOCAL EN APLICACIONES INDUSTRIALES ....	42
1.2.10 RS-LOGIX Y RS-LINX.....	44
1.2.11 ACTUADORES .....	44
1.2.12 ESTUDIO PRELIMINAR .....	49

## **CAPÍTULO II**

2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CONTROL DE PRESIÓN PARA EL HORNO DE FUNDICIÓN .....	52
2.1 INTRODUCCIÓN.....	52
2.2 SITUACIÓN ACTUAL .....	53
2.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROBLEMA A RESOLVER.....	53
2.4 VISIÓN GENERAL DEL PROYECTO.....	54
2.5 PARÁMETROS UTILIZADOS EN EL PROCESO DE FUNDICIÓN .....	56
2.6 DISEÑO DEL SISTEMA .....	57

2.6.1	VARIABLES A SUPERVISAR Y CONTROLAR.....	57
2.6.2	REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA PARA CONTROLAR LA PRESIÓN EN EL HORNO DE FUNDICIÓN DE ALUMINIO. ....	58
2.7	DISEÑO DEL HARDWARE .....	58
2.7.1	DISEÑO DEL DÁMPER.....	59
2.7.2	DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA DE SENSORES Y ACTUADORES.....	61
2.8	SISTEMA DE CONTROL MEDIANTE PLC .....	64
2.8.1	SELECCIÓN DEL PLC .....	64
2.8.2	FUENTE DE ALIMENTACIÓN PARA ENTRADAS DEL PLC.....	65
2.8.3	TIPO DE CPU .....	65
2.8.4	MÓDULOS DE E/S DE EXPANSIÓN 1762.....	67
2.8.5	RESUMEN DE REQUERIMIENTOS DE HARDWARE DEL PLC PARA EL SISTEMA DE CONTROL.....	68
2.9	SELECCIÓN DEL TRANSMISOR DE PRESIÓN.....	69
2.9.1	IDENTIFICACION DEL TRANSMISOR .....	69
2.9.2	DATOS DE PLACA .....	70
2.9.3	CARACTERISTICAS DEL EQUIPO.....	71
2.10	SELECCIÓN DEL ACTUADOR ROTATORIO ELÉCTRICO .....	75
2.10.1	CARACTERÍSTICAS DEL MODUTROL .....	75
2.11	ELEMENTOS DE CONEXIÓN FÍSICA.....	77
2.12	REQUERIMIENTOS GENERALES DE HARDWARE .....	78
2.13	DISEÑO DEL SOFTWARE .....	79
2.13.1	ANÁLISIS DE ENTRADAS Y SALIDAS DEL SISTEMA.....	79
2.13.2	SECUENCIA PRINCIPAL DEL PROGRAMA.....	81
2.14	ADQUISICIÓN DE EQUIPOS .....	87
2.14.1	COTIZACIÓN.....	87

2.14.2 COSTOS .....	88
---------------------	----

## **CAPÍTULO III**

3. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA .....	91
3.1 MONTAJE MECÁNICO .....	91
3.1.1 CONSIDERACIONES PARA EL MONTAJE MECÁNICO .....	91
3.1.2 INSTALACIÓN DEL DÁMPER EN LA CHIMENEA.....	91
3.1.3 INSTALACIÓN DEL TRANSMISOR DIFERENCIAL DE PRESIÓN.	97
3.1.4 INSTALACIÓN DEL MOTOR MODUTROL.....	99
3.2 MONTAJE ELÉCTRICO .....	102
3.2.1 CONSIDERACIONES PARA EL MONTAJE ELÉCTRICO .....	102
3.2.2 ALIMENTACIÓN PRINCIPAL Y PUESTA A TIERRA. ....	102
3.2.3 TABLERO DE CONTROL .....	104
3.2.4 UBICACIÓN DEL TABLERO DE CONTROL .....	107
3.2.5 CONEXIONES INTERNAS EN EL TABLERO DE CONTROL .....	108
3.2.6 CABLEADO DEL TRANSMISOR DIFERENCIAL DE PRESIÓN.....	109
3.2.7 CABLEADO DEL MODUTROL .....	111
3.2.8 CABLEADO DE LAS TERMOCUPLAS .....	112
3.3 IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE.....	114
3.3.1 ESTABLECER COMUNICACIÓN.....	114
3.3.2 CONFIGURACIÓN DE LAS ENTRADAS Y SALIDAS .....	118
3.3.3 DESCARGAR.....	121

## **CAPÍTULO IV**

4. PRUEBAS Y RESULTADOS.....	122
4.1 PRUEBAS A LAS CONEXIONES ELÉCTRICAS.....	122
4.2 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL PLC.....	124
4.3 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL TRANSMISOR DIFERENCIAL DE PRESIÓN .....	127
4.4 VERIFICACIÓN DEL ESTADO DEL DÁMPER Y CAMBIO DE POSICIÓN EN FUNCIÓN DE LA PRESIÓN .....	128
4.5 COMPUERTA LATERAL EN FUNCIONAMIENTO .....	129
4.6 PRUEBAS EN EL PROCESO DE FUNDICIÓN .....	129
4.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	130
4.7.1 CARACTERÍSTICAS PRELIMINARES.....	130
4.7.2 BENEFICIOS OBTENIDOS .....	130
4.7.3 NIVEL DE MEDICIÓN DE ESCORIA ANTES Y DESPUÉS DE LA INSTALACIÓN DEL PROYECTO .....	131
4.8 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS .....	139

## **CAPÍTULO V**

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	140
CONCLUSIONES.....	140
RECOMENDACIONES .....	142
BIBLIOGRAFIA.....	143
GLOSARIO.....	146
ANEXOS.....	148

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Horno de Fundición de Aluminio Fuente CEDAL .....	3
Figura 1-2 Materia Prima Fuente CEDAL .....	4
Figura 1-3 Área de matricería Fuente CEDAL .....	4
Figura 1-4 Área de Extrusión Fuente CEDAL.....	4
Figura 1-5 Anonizado Fuente CEDAL .....	5
Figura 1-6 Área de Pintura Fuente CEDAL.....	5
Figura 1-7 Empaque Fuente CEDAL .....	5
Figura 1-8 Área de Fundición. La chatarra ingresa al horno de fundición para la formación de los lingotes. Fuente CEDAL.....	6
Figura 1-9 Diagrama de flujo del proceso de Fundición CEDAL FUENTE Departamento de fundición de CEDAL.....	9
Figura 1-10: Lingote de Aluminio Primario Fuente: CEDAL.....	12
Figura 1-11. Aluminio Segunda Fusión FUENTE: CEDAL.....	12
Figura 1-12. Horno de Fundición CEDAL Fuente área de fundición de aluminio	14
Figura 1-13 Chimenea del Horno de Fundición de Aluminio.....	15
Figura 1-14 Dámper mariposa .....	16
Figura 1-15 Sistema de control Lazo Abierto .....	20
Figura 1-16 Sistema de control en Lazo cerrado .....	20
Figura 1-17 Flujo de control en lazo cerrado .....	21
Figura 1-18 Lazo de Control PID .....	23
Figura 1-19 Acción de control PID (Proporcional Integral derivativo), P (proporcional) PD (proporcional derivativo) Fuente. Instrumentación Industrial <i>Antonio Creus</i> .....	25
Figura 1-20 Elementos de control Final.....	27
Figura 1-21 Transmisor de Presión Capacitivo .....	29
Figura 1-22 Transmisor de Presión Piezoresistivo .....	30
Figura 1-23 Transmisor Diferencial de presión .....	31
Figura 1-24 Termopares .....	33
Figura 1-25 Estructura de un controlador lógico programable. Fuente Componentes PLC curso de PLCs.....	34
Figura 1-26 Ciclo de funcionamiento de la CPU .....	36
Figura 1-27 PLC Compacto Fuente curso de PLCs .....	37
Figura 1-28 PLC Modular.....	38
Figura 1-29 PLC Familia MicroLogix Fuente: catalogo familia MicroLogix boletín 1763-A .....	40
Figura 1-30 PLC MicroLogix 1100.....	41
Figura 1-31 Red Computador y PLC.....	43
Figura 1-32 Actuadores Neumáticos.....	48
Figura 1-33 Diagrama del Horno de Fundición – Energía Fuente CEDAL .....	49

Figura 1-34 Relación entre Escoria y Chatarra ingresada al horno para la producción de lingotes Fuente CEDAL .....	51
Figura 2-1 Visión General del sistema de control .....	55
Figura 2-2 Producción de lingotes de Aluminio Planta de Fundición Fuente CEDAL - .....	56
Figura 2-3 Dimensiones Dámper Horno de Fundición de Aluminio Fuente Planos Mecánicos CEDAL .....	59
Figura 2-4 Tipos de cierre para Dámper .....	61
Figura 2-5 Esquema de Selección de un PLC MicroLogix 1100 .....	65
Figura 2-6 PLC MicroLogix 1100 y Módulos de expansión .....	67
Figura 2-7 Familia de Transmisores de Presión .....	69
Figura 2-8 Transmisor Diferencial de Presión .....	71
Figura 2-9 Esquema de conexión al proceso FUENTE Manual de instalación IDP10 .....	73
Figura 2-10 Diagrama esquemático y manifold M4T .....	75
Figura 2-11 Montaje al proceso .....	75
Figura 2-12 Motor Modulador .....	76
Figura 2-13 Angulo de recorrido del MODUTROL M7284 .....	77
Figura 2-14 Secuencia Principal del Programa .....	81
Figura 2-15 Secuencia de encendido del sistema .....	83
Figura 2-16 Secuencia de RESET .....	83
Figura 2-17 Funcionamiento Dámper .....	85
Figura 2-18 Secuencia de control de Alarmas en emergencia .....	86
Figura 3-1 Supervisión de estado de la chimenea y evaluación del dámper antiguo .....	92
Figura 3-2 Eje del dámper en la chimenea del horno .....	93
Figura 3-3 Eje Dámper antiguo .....	93
Figura 3-4 Construcción del Dámper .....	94
Figura 3-5 Acople Dámper al Modutrol .....	94
Figura 3-6 Posición adecuada para colocar la chaveta de ajuste Fuente CEDAL proceso de instalación .....	95
Figura 3-7 Ajuste de las bridas exteriores Fuente CEDAL proceso de instalación .....	95
Figura 3-8 Dámper posición abierta Fuente CEDAL proceso de instalación .....	96
Figura 3-9 Sellando La Chimenea Fuente CEDAL proceso de instalación .....	96
Figura 3-10 Instalación de la tubería para captar la presión del horno de fundición. ....	97
Figura 3-11 Tubería y accesorios utilizados en la instalación .....	98
Figura 3-12 Instalación del transmisor diferencial de presión .....	98
Figura 3-13 Colocación de la barrera de aislamiento de calor .....	99
Figura 3-14 Mecanismo de funcionamiento del Motor Modulador .....	100

Figura 3-15 Cableado eléctrico del Modutrol. Fuente CEDAL proceso de instalación.....	100
Figura 3-16Cubierta del Modutrol.....	101
Figura 3-17 Montaje final del Motor Modutrol para controlar la posición del dámper Fuente CEDAL proceso de instalación .....	101
Figura 3-18 Tablero principal de Distribución de Fuerza de la Planta De Fundición.....	102
Figura 3-19 Break de alimentación principal para el tablero de control .....	103
Figura 3-20 Tablero del Transformador.....	103
Figura 3-21 Puesta a Tierra.....	104
Figura 3-22 Distribución de Elementos en el tablero de control.....	105
Figura 3-23 Sugerencia de instalación del PLC Micrologix 1100.....	106
Figura 3-24 Riel DIM utilizado para la instalación.....	107
Figura 3-25 Ubicación de los pulsadores y luces indicadoras en el tablero de control .....	107
Figura 3-26 Distribución de elementos .....	108
Figura 3-27 Colocación del PLC.....	108
Figura 3-28 Cableado de Entrada y Salidas.....	109
Figura 3-29 Compartimento de conexiones eléctricas del TDP .....	109
FIGURA 3-30 Terminales de Instalación.....	110
Figura 3-31 Conexión del Transmisor Diferencial de Presión utilizado en el proceso.....	111
Figura 3-32 Tablero de Supervisión de cableado del Tablero al Modutrol .....	111
Figura 3-33 Conexiones eléctrica motor Modutrol.....	112
Figura 3-34 Termocuplas en el Horno de Fundición de Aluminio .....	112
Figura 3-35 Conexiones de Termocuplas Tipo k.....	113
Figura 3-36 Conexión en el Modulo de Termocuplas .....	114
Figura 3-37 Verificación de loa comunicación serial del PLC Micrologix 1100..	115
Figura 3-38 BOOTP-DHCP Server.....	115
Figura 3-39 Asignación de la dirección IP mediante dirección MAC .....	116
Figura 3-40 Ventana de selección de procesador .....	116
Figura 3-41 Configuración del canal de comunicación .....	117
Figura 3-42 Asignación de la dirección IP.....	117
Figura 3-43 Verificación de la conexión.....	118
Figura 3-44 Lista de módulos de ampliación para el PLC MicroLogix 1100.....	118
Figura 3-45 Configuración del módulo de entradas Analógicas.....	119
Figura 3-46 Configuración del módulo de entradas de termocupla .....	120
Figura 3-47 Configuración del módulo de salidas analógicas. ....	121
Figura 3-48 Ventanas de Descarga .....	121
Figura 4-1 Tablero de control de Presión del Horno de Aluminio .....	122
Figura 4-2 Medición de Voltajes a la Entrada y Salida del Transformador.....	123
Figura 4-3 Verificación del voltaje de entrada al Tablero de Control.....	124

Figura 4-4 Verificación de la fuente de 24 VDC .....	124
Figura 4-5 Encendido el PLC .....	125
Figura 4-6 Entrada y Salidas del PLC en Ejecución.....	125
Figura 4-7 Lecturas del módulo de termocuplas.....	126
Figura 4-8 Primera Medición del transmisor diferencial de Presión. ....	127
Figura 4-9 Presión de Trabajo del Horno de Fundición. ....	127
Figura 4-10 Dámper Posición Abierta y Posición Cerrada vista desde el ducto de la chimenea.....	128
Figura 4-11 Dámper en funcionamiento .....	128
Figura 4-12 Funcionamiento Compuerta Lateral .....	129
Figura 4-13 Grafico dinámico total de Kg de chatarra VS kg de escoria .....	132
Figura 4-14 Gráfico dinámico Tipos de Chatarra VS Escoria. ....	133
Figura 4-15 Tendencia de Producción mensual VS consumo de combustible ..	135
Figura 4-16 Curva entre el diferencial de Presión y Temperatura del Aluminio FUENTE: Metalurgía General II Guillermo Tantalean Vanini.....	137
Figura 4-17 Quemadores Apagados.....	138

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1-1. CARACTERÍSTICAS DEL ALUMINIO .....	2
TABLA 1-2. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE ALEACIONES DE ALUMINIO. ....	10
TABLA 1-3. VALORES DE LAS ACCIONES DE CONTROL .....	25
TABLA 1-4 . TIPOS DE TERMOPARES Y RANGO DE OPERACIÓN.....	32
TABLA 1-5 CARACTERÍSTICAS DEL ACTUADOR ROTATORIO, NEUMÁTICO, ELÉCTRICO E HIDRÁULICO.....	45
TABLA 1-6 ANÁLISIS DE ESCORIA DE CEDAL .....	50
TABLA 1-7 DETALLE DE ESCORIA GENERADO EN LOS MESES PREVIOS A LA AUTOMATIZACIÓN. ....	50
TABLA 2-1 NIVELES DE TEMPERATURA ÓPTIMOS PARA LA FABRICACIÓN DE LINGOTES DE ALUMINIO. ....	57
TABLA 2-2 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DE UN DÁMPER.....	60
TABLA 2-3 ELEMENTOS DE CONTROL PARA LAS VARIABLES DE ENTRADA.....	62
TABLA 2-4 ELEMENTOS DE CONTROL PARA LAS VARIABLES DE SALIDA	62
TABLA 2-5 ENTRADAS DEL SISTEMA DE CONTROL .....	63
TABLA 2-6 SALIDAS DEL SISTEMA DE CONTROL .....	63
TABLA 2-7 ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA Y CONFIGURACIÓN DE E/S DEL CONTROLADOR MICROLOGIX 1100 .....	66
TABLA 2-8 MÓDULOS DE E/S DE EXPANSIÓN 1762.....	67
TABLA 2-9 HARDWARE UTILIZADO PARA EL PLC.....	68
TABLA 2-10 PARÁMETROS DE IDENTIFICACIÓN DEL MODELO DEL TRANSMISOR DE PRESIÓN.....	70
TABLA 2-11 GENERALIDADES DEL TRANSMISOR DIFERENCIAL DE PRESIÓN.....	71
TABLA 2-12 LÍMITES DE PRESIÓN DE TRABAJO DEL TRANSMISOR DIFERENCIAL DE PRESIÓN.....	72
TABLA 2-13 TRANSMISORES Y MANIFOLD .....	74
TABLA 2-14 ESPECIFICACIÓN PARA SELECCIONAR UN MOTOR MODULADOR .....	76
TABLA 2-15 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN.....	78
TABLA 2-16 HARDWARE UTILIZADO EN EL PROCESO.....	78
TABLA 2-17 ASIGNACIÓN DE VARIABLES LÓGICAS PARA LAS ENTRADAS. .....	80
TABLA 2-18 ASIGNACIÓN DE VARIABLES LÓGICAS PARA LAS SALIDAS. ..	80
TABLA 2-19 LISTADO DE ELEMENTOS DE CONTROL ELÉCTRICO .....	89
TABLA 2-20 LISTADO DE ELEMENTOS DE MONTAJE MECÁNICO.....	90
TABLA 2-21 LISTADO DE ELEMENTOS ADQUIRIDOS POR CEDAL.....	90
TABLA 2-22 COSTO TOTAL FINAL DEL PROYECTO.....	90
TABLA 4-1 TOTAL DE KG DE CHATARRA VS KG DE ESCORIA.....	132

TABLA 4-2 RESUMEN DE PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE DIESEL POR MES EN EL HORNO DE FUNDICIÓN .....	135
TABLA 4-3 PORCENTAJE DE COSTOS DE PRODUCCIÓN EN MATERIALES DIRECTOS .....	137

## ***RESUMEN***

En la actualidad la mayoría de las industrias buscan modernizar sus procesos de producción, para obtener mayor competitividad de sus productos, logrando con esto mantenerse en el mercado nacional e internacional. Con esta filosofía, la Corporación Ecuatoriana de Aluminio (CEDAL S.A.) ha encaminado sus esfuerzos a la modernización de sus procesos de producción en el área de Fundición.

El objetivo de este proyecto es automatizar el control de presión del horno de fundición para disminuir los desperdicios en la producción de lingotes de aluminio en la empresa CEDAL, para lograr esto se ha implementado un sistema de control.

El proyecto estabiliza la presión del horno de fundición y paralelamente mantiene la temperatura en el horno, de esta manera se busca alcanzar una eficiencia energética, si esta presión supera el límite de trabajo abrirá el dámper de la chimenea y si la presión disminuye se cierra el dámper para evitar que los gases fuguen al exterior.

El PLC envía una señal de control a un motor modulador que se encuentra acoplado al dámper de la chimenea, el mismo da apertura al desfogue de gases al exterior. Para la correcta operación de este sistema se verifica los valores de la temperatura del horno en la cámara de fundición Melting, la cámara de Casting, la temperatura en el ducto que conduce a la chimenea y la temperatura de la colada de aluminio. En casos de emergencia donde los valores de presión sean elevados se abrirá una compuerta auxiliar que está ubicada al costado inferior de la chimenea.

# PRESENTACIÓN

El presente trabajo describe todo lo referente a la automatización del control de presión en el horno de fundición de Aluminio de la empresa CEDAL de la ciudad de Latacunga.

El capítulo I contiene una descripción general de las etapas que intervienen en el proceso de fundición de Aluminio para la fabricación de Lingotes; luego se centra en la descripción de los instrumentos y componentes que forman parte del sistema de control de presión.

En el capítulo II se presenta una descripción más detallada de la situación actual de la presión del horno de fundición, además define el funcionamiento del sistema de control, describe el diseño y selección de componentes y el software utilizado para su diseño.

En el capítulo III se detalla la implementación de los componentes del sistema de control, el montaje mecánico y eléctrico, la creación del programa del PLC para controlar el dámper y mantener el valor de presión estable en el horno de fundición.

En el capítulo IV se refiere la evaluación del proyecto y análisis de los resultados obtenidos, presentando las pruebas realizadas y verificando el cumplimiento de la hipótesis.

El capítulo V contiene las conclusiones y recomendaciones del proyecto.

# **CAPÍTULO I**

## **1. FUNDAMENTO TEÓRICO**

Hoy en día las empresas se encuentran en constante crecimiento y gracias a la implementación de sistemas automáticos buscan la solución a sus problemas, para de esta manera aumentar al máximo la eficiencia de sus operaciones y mejorar el servicio al cliente.

A continuación se detallan los principios y conceptos que constituyen la base teórica para la automatización del control de presión en el horno de fundición de la empresa CEDAL, en una primera parte se tiene un resumen del proceso de fundición de Aluminio, continuando con una descripción de los componentes del sistema.

### **1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO**

#### **1.1.1 GENERALIDADES DE CEDAL**

Corporación Empresarial S.A. CORPESA, es un renombrado Holding ecuatoriano constituido en el año 1992 y conformado por cinco compañías entre ellas CEDAL S.A. que son líderes en sus respectivos negocios: producción y comercialización de perfiles de aluminio, distribución de productos de aluminio en Colombia, fabricación, ingeniería y servicios de construcción principalmente con aluminio y vidrio, y negocios agroindustriales.

La Corporación Ecuatoriana de Aluminio CEDAL S.A. es una compañía constituida en el año 1974 en la ciudad de Latacunga, provincia de

Cotopaxi, con el fin de producir y comercializar perfiles estructurales y arquitectónicos de aluminio. CEDAL es ampliamente reconocida en el mercado nacional y extranjero 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 en el Ecuador.

### 1.1.2 CARACTERÍSTICAS DEL ALUMINIO

El Aluminio es un metal no ferroso de excelente resistencia a la corrosión, peso liviano y que gracias a sus propiedades mecánicas y temple se obtienen una gama de resistencias mecánicas para diferentes usos y acabados.

Se funde a 660°C, su peso específico es de 2.71 gramos por centímetro cúbico<sup>1</sup>, entre otras características del aluminio se detallan en la Tabla 1-1

TABLA 1-1. CARACTERÍSTICAS DEL ALUMINIO

<b>Número Atómico</b>	13
<b>Peso Atómico</b>	26.974
<b>Temperatura de Fusión</b>	99.97 % ==> 660.24 °C 99.70 % ==> 658.90 °C 99.50 % ==> 658. 40 °C
<b>Coeficiente de Poisson</b>	0.34
<b>Módulo de Elasticidad</b>	6.900 kg/mm <sup>2</sup>
<b>Módulo de Torsión</b>	2.700 kg/mm <sup>2</sup>
<b>Conductividad térmica</b>	0.52 cal/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad</b>	2,699 g/cm <sup>3</sup>

Fuente: Enciclopedia del Aluminio y Catálogo de perfiles de Aluminio

<sup>1</sup> Cedal, "Catálogo de Perfiles" (Aluminio en su máxima expresión)

### 1.1.3 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS DE CEDAL <sup>2</sup>

Actualmente CEDAL S.A. está formada por ocho áreas, de las cuales Fundición, Extrusión, Anonizado, Pintura y Empaque forman parte del proceso productivo del aluminio y las restantes Bodega, Matricería y Bodega del Producto Terminado, son áreas de apoyo.

**PLANTA DE FUNDICIÓN.-** Encargada de la fabricación de lingotes a partir del aluminio recuperado del proceso de extrusión y la perfilería rechazada, estos son nuevamente fundidos, manteniendo las características de su aleación para ser reutilizados en el proceso de producción.



Figura 1-1 Horno de Fundición de Aluminio Fuente CEDAL

**Materia prima.-** La materia prima utilizada para la fabricación de perfiles de aluminio y lingotes de aleación de aluminio 6063, 6061, 6005 es de origen de la propia empresa e importada de Venezuela, Brasil y Argentina.

---

<sup>2</sup> Página web oficial de CEDAL [www.cedal.com.ec](http://www.cedal.com.ec)



**Figura 1-2 Materia Prima Fuente CEDAL**

**Matricería.-** La matriz es el molde que da la forma a los perfiles de aluminio durante el proceso de extrusión, va colocada en la prensa de extrusión. CEDAL cuenta con 3300 diseños exclusivos para cada cliente.



**Figura 1-3 Área de matricería Fuente CEDAL**

**Extrusión.-** La extrusión es una deformación plástica en donde un bloque de metal es forzado por compresión a pasar a través de la abertura de un molde (matriz) que tiene un área seccional menor a la del bloque de metal.



**Figura 1-4 Área de Extrusión Fuente CEDAL**

**Anodizado.-** Proceso electroquímico por el cual se forma sobre la superficie del perfil un recubrimiento de óxido de aluminio, al mismo que se le puede impartir varias tonalidades cromáticas empleando distintos parámetros de corriente, pH de las soluciones químicas y sales minerales.



Figura 1-5 Anodizado Fuente CEDAL

**Pintura electrostática.-** Es un proceso de acabado superficial que protege a los perfiles de aluminio con una capa de pintura en polvo depositada electro-estáticamente y que luego es fundida y curada en un horno.

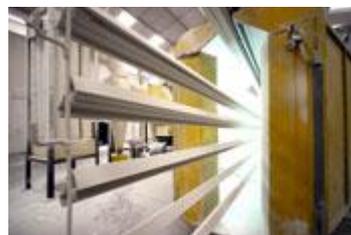


Figura 1-6 Área de Pintura Fuente CEDAL

**Empaque.-** Cedal empaqueta todos sus productos en fundas de polietileno, con el fin de evitar que las piezas tengan defectos (marcas de tráfico o marcas de fricción) y para que se mantengan secas durante el transporte.



Figura 1-7 Empaque Fuente CEDAL

#### 1.1.4 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE FUNDICIÓN

La planta de fundición en la empresa CEDAL es la encargada de transformar la chatarra, barras de aluminio y los residuos generados en el proceso de extrusión, en lingotes de aluminio.

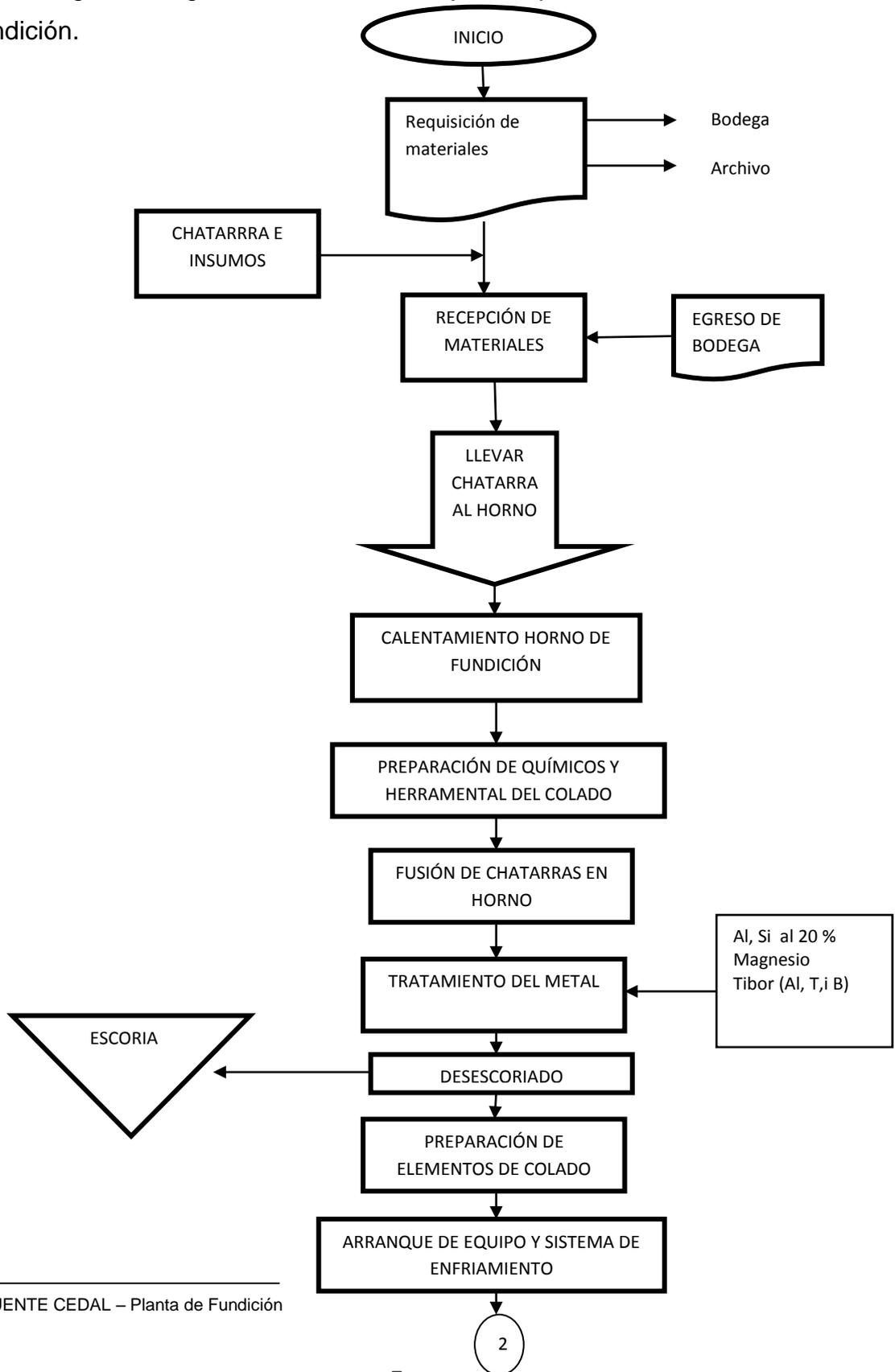
El proceso se inicia con la fundición de aluminio puro y chatarra en el horno de fundición (Figura 1 - 8), estos se funden con otros minerales, generalmente silicio, magnesio, manganeso, cobre o hierro en pequeñas cantidades obteniendo así una mezcla semilíquida que se solidifica luego en barras cilíndricas o lingotes de aluminio llamados billets, los que a continuación pasarán por el proceso de extrusión.



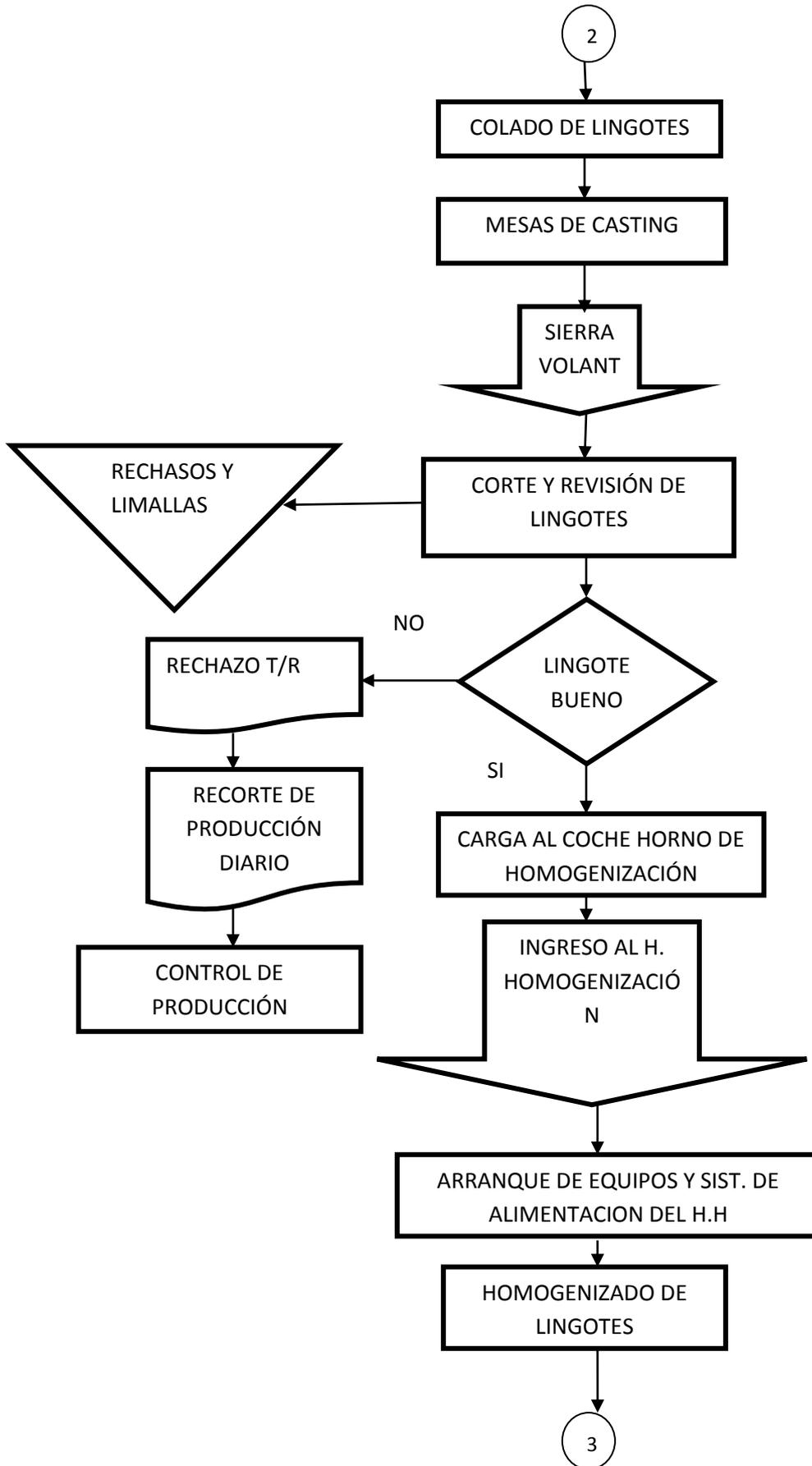
**Figura 1-8 Área de Fundición. La chatarra ingresa al horno de fundición para la formación de los lingotes. Fuente CEDAL**

### 1.1.5 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE FUNDICIÓN<sup>3</sup>

En la siguiente figura se detalla el flujo del proceso en el área de fundición.



<sup>3</sup> FUENTE CEDAL – Planta de Fundición



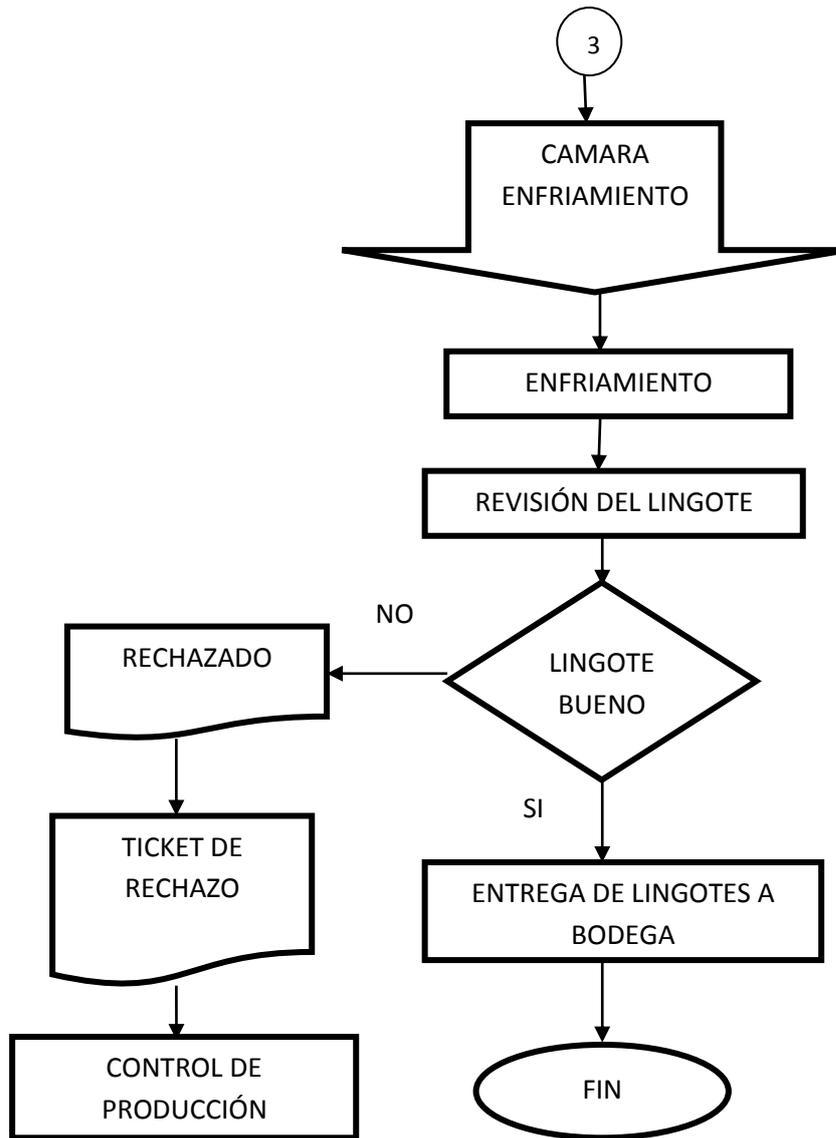


Figura 1-9 Diagrama de flujo del proceso de Fundición CEDAL FUENTE Departamento de fundición de CEDAL

### 1.1.6 ALEACIÓN<sup>4</sup>.

Las aleaciones de aluminio son obtenidas a partir de aluminio y otros elementos (generalmente cobre, zinc, manganeso, magnesio o silicio), forman parte de las llamadas aleaciones ligeras, con una densidad mucho menor que los aceros, pero no tan resistentes a la corrosión como el aluminio puro, que forma en su superficie una capa de óxido de aluminio (alúmina).

<sup>4</sup> Datos obtenidos del área de fundición de CEDAL: Procedimiento de control de aleación.

Las aleaciones de aluminio tienen como principal objetivo mejorar la dureza y resistencia del aluminio, que es en estado puro un metal muy blando. CEDAL utiliza la aleación 6063 para perfilería arquitectónica y 6005 para perfilería estructural, CEDAL emplea las aleaciones de aluminio de acuerdo a su requerimiento.

### **ALEACIÓN 6063.**

6063 es una aleación de aluminio, con magnesio y silicio como los elementos principales ya que estos tiene características mecánicas generalmente buenas y es utilizada para aplicaciones arquitectónicas y decorativas tales como ventanas, puertas, muros, cortinas, mamparas, marquetería, ángulos, revestimientos, etc.

### **ALEACIÓN 6005.**

La aleación 6005 posee una mayor resistencia que la 6063 pero es un poco más difícil de extruir, es apta para el anodizado desde un punto de vista de protección, pero resulta más deficiente el acabado decorativo. Este tipo de aleación es utilizada para uso estructural tal como: estructuras especiales, vigas, escaleras, etc.

**TABLA 1-2. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE ALEACIONES DE ALUMINIO.**

Composición Química de aleaciones según norma ASTM B221								
	<b>Fe</b>	<b>Si</b>	<b>Mg</b>	<b>Mn</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Cr</b>	<b>Ti</b>
<b>6063</b>	máx. 0,35	0.20 - 0.60	0.45 - 0.90	máx. 0.10	máx. 0.10	máx. 0.10	máx. 0.10	máx. 0.05
<b>6005</b>	máx. 0,35	0.60 - 0.90	0.40- 0.60	máx. 0.10				

Fuente: CEDAL/ Dep. Fundición

CEDAL recomienda a sus clientes la utilización de aleaciones de aluminio en función de sus necesidades para sus aplicaciones de tipo estructural, cumpliendo con las normas internacionales.

#### **1.1.7 MATERIA PRIMA.**

La materia prima que se utiliza para la fabricación de lingotes de aluminio se detalla a continuación.

- **CHATARRA NACIONAL.**

La chatarra nacional proviene de las Empresas de acopio o recolección RECYNTER S.A y RIMESA, esta chatarra es considerada negra por su alto contenido de metales pesados, CEDAL también procesa aluminio de segunda fundición Nacional, es decir aluminio recuperado.

- **CHATARRA IMPORTADADA.**

Este tipo de chatarra también conocida como chatarra de mesa de extrusión, es el material que sobra una vez cortados los perfiles a las medidas necesarias, proviene de distintos países como son: Costa Rica, República Dominicana, Perú y Argentina.

- **CHATARRA CEDAL.**

Este tipo de chatarra es generada dentro de la misma empresa, es decir los lingotes rechazados o reproceso, una parte de los residuos generados en el proceso de Extrusión, aquellos perfiles que se encuentran en mal estado y material de desecho, también cuenta con material de aporte de Acabados y Empaque.

- **ALUMINIO PRIMARIO IMPORTADO.**

Los lingotes de aluminio puro (Figura 1-10) están libres de escoria y cualquier otro elemento que afecte sus características, el peso aproximado es de: 22,7Kg (250 lb), sus dimensiones son: 768mm (30,2")x 190 mm(7,5") x 102mm(4"). Los proveedores del Aluminio primario son: Aluar (ARGENTINA) y Venalum (VENEZUELA).



**Figura 1-10: Lingote de Aluminio Primario Fuente: CEDAL**

- **ALUMINIO SEGUNDA FUNDICIÓN IMPORTADO.**

Estos lingotes o pallets de aluminio (figura 1-11) ya pierden sus componentes al ser fusionados con otros elementos más bajos y pueden alterar la composición final si no son monitoreados adecuadamente. Son importados de Argentina, Venezuela y Brasil.



**Figura 1-11. Aluminio Segunda Fusión FUENTE: CEDAL**

### 1.1.8 ELEMENTOS DE ALEACIÓN E INSUMOS PRINCIPALES

En la aleación 6063 se requiere controlar los siguientes elementos:

- Silicio
- Magnesio
- Hierro

Para poder mantener estos elementos dentro de los parámetros establecidos se adicionan Silicio y Magnesio y/o Aluminio puro a la colada de aluminio Fundido dentro del horno, para así cumplir con los requerimientos adecuados.

Como insumos principales tenemos los siguientes:

- Tibor (titanio-boro).- Utilizado como refinador de grano en una relación de 5:1.
- Argón grado 4.8.- Gas inerte usado como medio para desgasificar la colada de aluminio. Permite eliminar el encapsulamiento de oxígeno, nitrógeno y otros, en la formación del Lingote.
- Nitrógeno.- Utilizado como sustituto del argón en la cámara de casting con el propósito principal de agitar la colada y mantenerla homogénea.
- Aceite lubricante para los moldes EXAL 45.
- Materiales cerámicos.- utilizados en los canales y para la preparación de los moldes.
- Materiales varios: barras de grafito, aceite para corte, polvo desmoldante.

### 1.1.9 HORNO DE FUNDICIÓN

Un horno es un dispositivo en el cual se pueden alcanzar temperaturas elevadas. El mismo debe mantener dicha temperatura durante el tiempo que dure el proceso, por lo cual requiere de materiales especiales que no permitan pérdidas significativas de calor hacia el entorno (materiales refractarios que soportan altas temperaturas y son aislantes).

Existen diferentes diseños de hornos, en función de las necesidades caloríficas, del tipo de combustible y de la manera de introducir el aire para la combustión. En algunas ocasiones, el horno también desempeña la función de un reactor (al proporcionar el calor de reacción necesario). Todos los procesos de combustión trabajan con un exceso de aire u oxígeno para asegurar que la combustión sea completa. Una combustión incompleta, además de generar gases altamente contaminantes, malgasta el combustible y aumenta los costos de operación y mantenimiento del equipo, Cedal cuenta con un horno de fundición horizontal de aluminio (Figura 1-12)



Figura 1-12. Horno de Fundición CEDAL Fuente área de fundición de aluminio

### 1.1.10 CHIMENEA

Una chimenea es un sistema usado para evacuar gases calientes y humo de calderas, hornos, fogones u hogares a la atmósfera. Como norma general son completamente verticales para asegurar que los gases calientes puedan fluir sin problemas. Las chimeneas construidas deben disponer de una inclinación diferente a  $0^\circ$  para facilitar la salida de humos. A la corriente de aire que origina el fuego y que hace que el humo ascienda por la chimenea se le denomina "tiro", el horno de fundición de aluminio cuenta con una chimenea (Figura 1-13).



**Figura 1-13 Chimenea del Horno de Fundición de Aluminio**

**Fuente departamento de mantenimiento CEDAL**

### 1.1.11 DÁMPER PARA DESFOGUE DE GASES

Los gases de combustión que produce el horno de fundición de aluminio generan una presión que necesita desfogarse, el horno de fundición cuenta con una chimenea por donde recorre los gases de combustión y son expulsados a la atmósfera.

El dämper es un dispositivo como una válvula de mariposa que regula la diferencia de presión entre el consumo y salida de aire en el horno. El amortiguador también regula la pérdida de calor. A medida que la compuerta se cierra, la cantidad de calor que se escapa del horno disminuye.



Figura 1-14 Dämper mariposa

## 1.2 GENERALIDADES DEL CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS<sup>5</sup>

### 1.2.1 AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

Proviene del griego antiguo *auto*: guiado por uno mismo, y es el uso de sistemas o elementos computarizados y electromecánicos para controlar

---

<sup>5</sup> MAVAINSA, CONTROL DE PROCESOS, Octubre 2010

maquinarias y/o procesos industriales sustituyendo a operadores humanos. El alcance va más allá que la simple mecanización de los procesos ya que ésta provee a operadores humanos mecanismos para asistirlos en los esfuerzos físicos del trabajo.

Los tipos de automatización industrial son el control automático de procesos, el procesamiento electrónico de datos, la automatización fija, el control numérico computarizado, y también la automatización flexible.

Estos tipos de automatización han cambiado a medida que pasan los años ya que las personas y empresarios pueden ir incorporando nuevas máquinas que le permiten alcanzar el mejor funcionamiento, por ejemplo con un funcionamiento óptimo de la industria, la persona encargada obtendrá muchas ganancias que será tanto gracias a los productos elaborados y a las máquinas o empleados que son los que las elaboran.

### 1.2.2 DEFINICIONES<sup>6</sup>

**Controlador Programable:** Instrumento basado en microordenador que realiza funciones de secuencia y enclavamiento de circuitos y, como complemento, funciones de control PID.

**Elemento Final de Control:** Recibe la señal del controlador y modifica el caudal del fluido o agente de control. La válvula de control es el elemento final típico.

---

<sup>6</sup> MARAÑA Juan Carlos INSTRUMENTACION Y CONTROL DE PROCESOS 2010

**Estabilidad:** Capacidad de un instrumento para mantener su comportamiento durante su vida útil y de almacenamiento especificadas.

**Precisión:** Es el grado de repetición de valores obtenidos al medir la misma cantidad, no significa necesariamente que las medidas realizadas sean exactas.

**Proceso Continuo:** Proceso en el cual entran componentes y salen productos en caudales sin restringir y durante largos periodos de tiempo.

**Punto de Consigna:** Variable de entrada en el controlador que fija el valor deseado de la variable controlada.

**Rango o campo de medida:** Conjunto de valores de la variable medida comprendidos dentro de los límites superior e inferior del campo de medición de un instrumento.

**Sensor:** Convierte una variable física (presión, temperatura, caudal, etc.), en otra señal compatible con el sistema de medida o control.

**Señal de Salida:** Señal producida por un instrumento que es función de la variable medida.

**Transmisor:** Capta la variable de proceso a través del elemento primario y la convierte a una señal de transmisión estándar.

**Variable Controlada:** Dentro del bucle de control es la variable que se capta a través del transmisor y que origina una señal de realimentación.

**Variable Manipulada:** Cantidad o condición del proceso variada por el elemento o elementos finales de control.

### 1.2.3 CONTROL DE PROCESOS<sup>7</sup>

El objeto de todo proceso industrial es la obtención de un producto final, de características determinadas de forma que cumpla con las especificaciones y niveles de calidad exigidos por el mercado. El control aplicado en la industria se conoce como control de procesos. Se ocupa sobre todo del control de variables como temperatura, *presión*, caudal, etc., en un proceso de una planta.

La misión del sistema de control de proceso será corregir las desviaciones surgidas en las variables de proceso respecto de unos valores determinados, que se consideran óptimos para conseguir las propiedades requeridas en el producto producido.

El objetivo del control automático es poder manejar con una o más entradas, una o más salidas de una planta o sistema, para hacerlo, se debe colocar entre la referencia y la planta, un controlador que sea el inverso de la función de transferencia de la planta, de tal manera que la función de transferencia de todo el sistema (la planta más el controlador), sea igual a uno; logrando de esta manera que la salida sea igual a la entrada; esta primera idea se denomina control en lazo abierto(Figura 1-15).

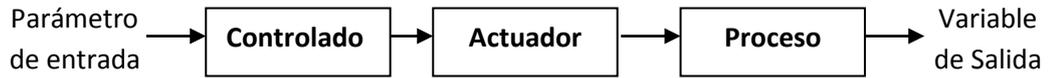
Las desventajas que tiene el control por lazo abierto son:

- Jamás se conoce la planta por lo que no se puede lograr el inverso perfecto.
- No se puede usar para controlar plantas inestables.
- No compensa perturbaciones en el sistema.

---

<sup>7</sup> Bishop Robert H. Sistemas de control moderno, décima edición, Pearson prentice hall, Cali, pagina 2, 3, 9, 17, 788.

- Es imposible invertir perfectamente una planta, si esta tiene retardos, ya que su inverso sería un adelanto en el tiempo (se debería tener la capacidad de predecir el futuro).



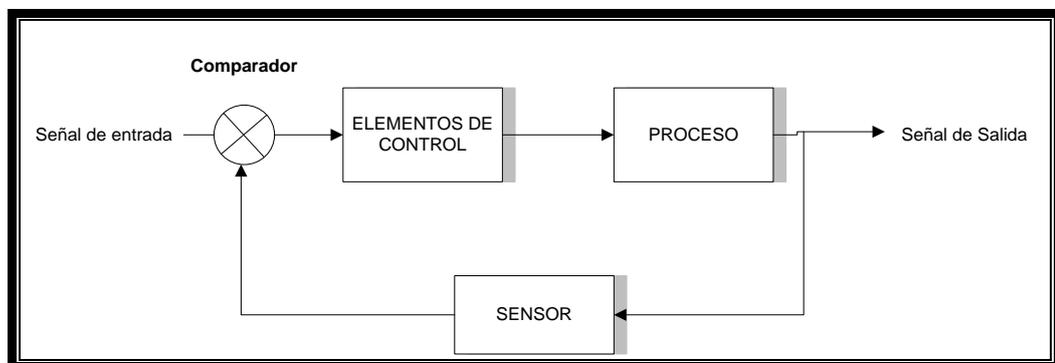
**Figura 1-15 Sistema de control Lazo Abierto**

Una idea más avanzada, y más ampliamente implementada, es el concepto de feedback o realimentación (Figura 1-16), en que se usa la medición de la salida del sistema, como otra entrada del mismo, de tal forma que se puede diseñar un controlador que ajuste la actuación para variar la salida y llevarla al valor deseado. Las ventajas que tiene el control por retroalimentación son:

- Puede controlar sistemas inestables
- Puede compensar perturbaciones
- Puede controlar sistemas incluso si estos tienen errores de modelado.

#### **Desventajas:**

- Se introduce el problema del ruido, al hacer la medición



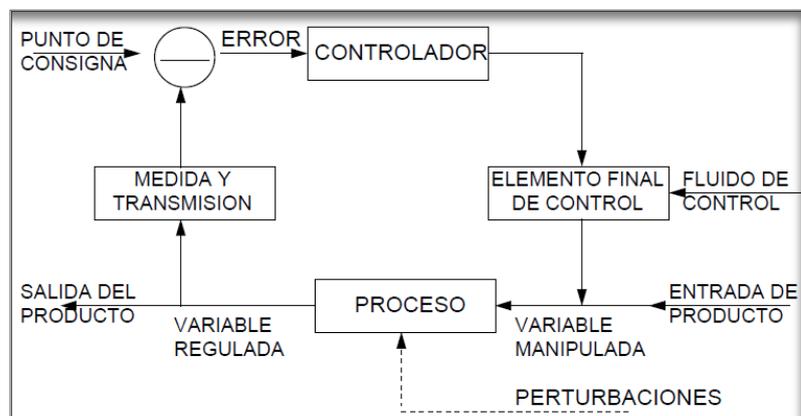
**Figura 1-16 Sistema de control en Lazo cerrado**

El control del proceso consistirá en la recepción de las entradas, variables del proceso, su procesamiento y comparación con unos valores predeterminados por el usuario, y posterior corrección en caso de que se haya producido alguna desviación respecto al valor preestablecido de algún parámetro de proceso.

El bucle de control típico estará formado por los siguientes elementos.

- Elementos de medida (*Sensores*).- Generan una señal indicativa de las condiciones de proceso.
- Elementos de control lógico (*Controladores*).- Leen la señal de medida, comparan la variable medida con la deseada (*punto de consigna*) para determinar el error, y estabilizan el sistema realizando el ajuste necesario para reducir o eliminar el error.
- Elementos de actuación (*Válvulas y otros elementos finales de control*).- Reciben la señal del controlador y actúan sobre el elemento final de control, de acuerdo a la señal recibida.

Esta serie de operaciones de medida, comparación, cálculo y corrección, constituyen una cadena. El conjunto de elementos que hacen posible este control reciben el nombre de *bucle de control (control loop)*, obsérvese la *Figura 1-17*.



**Figura 1-17 Flujo de control en lazo cerrado**

#### 1.2.4 TIPOS DE CONTROL

Se puede hacer una clasificación de los sistemas de control atendiendo al procedimiento lógico usado por el controlador del sistema para regular la evolución del proceso. Los principales tipos de control utilizados en los procesos industriales son:

- Sistemas de realimentación. (Feed-back)
  - \* Proporcional
  - \* Integral
  - \* Derivativo
- Sistema anticipativo (Feed-Foward)
- Sistema en cascada (Cascade)
- Sistema selectivo (Over-Ride)

Los controladores industriales analógicos, se pueden clasificar de acuerdo con sus acciones de control de la siguiente forma:

- Controladores de dos posiciones (on-off)
- Controladores proporcionales
- Controladores integrales
- Controladores PI (proporcional-integral)
- Controladores PD (proporcional-derivativo)
- Controladores PID (proporcional-integral-derivativo)

#### 1.2.5 CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO

La combinación de los efectos proporcional, integral y derivativo, se denomina acción **PID**. Esta combinación tiene la ventaja de cada una de las tres acciones de control individuales.

Un PID es un mecanismo de control por realimentación que calcula la desviación o error entre un valor medido y el valor que se quiere obtener, para aplicar una acción correctora que ajuste el proceso. El algoritmo de cálculo del control PID se da en tres parámetros distintos: *el proporcional, el integral, y el derivativo*. El valor Proporcional determina la reacción del error actual. El Integral genera una corrección proporcional a la integral del error, esto nos asegura que aplicando un esfuerzo de control suficiente, el error de seguimiento se reduce a cero. El Derivativo determina la reacción del tiempo en el que el error se produce.

La suma de estas tres acciones es usada para ajustar al proceso vía un elemento de control como la posición de una válvula de control o la energía suministrada a un calentador. Ajustando estas tres variables en el algoritmo de control del PID (Figura 1-18), el controlador puede proveer un control diseñado para lo que requiera el proceso a realizar.

Los controladores PID se utilizan en procesos donde las constantes de tiempo son largas. (Procesos de control de temperatura y control de concentración). Los procesos en los que las constantes de tiempo son pequeñas (control de presión y flujo), son rápidos y susceptibles al ruido.

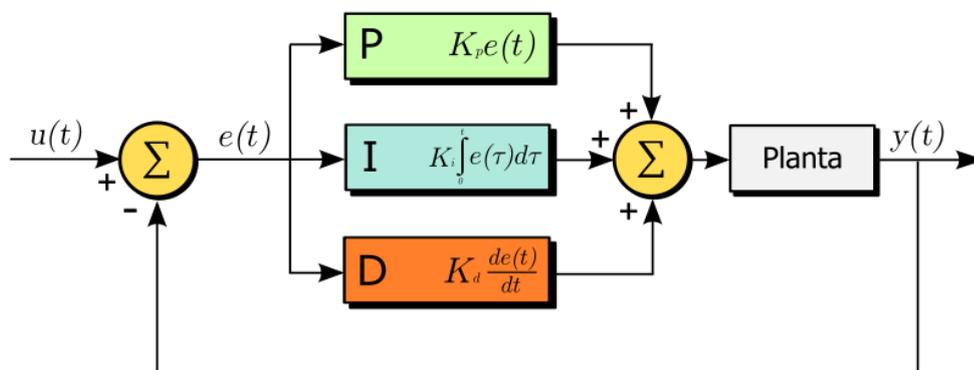


Figura 1-18 Lazo de Control PID

### 1.2.5.1 **FUNCIONAMIENTO**<sup>8</sup>

Para el correcto funcionamiento de un PID que regule un proceso o sistema se necesita, al menos:

- Un sensor, que determine el estado del sistema (termómetro, caudalímetro, manómetro, etc.)
- Un controlador, que genere la señal que gobierna al actuador.
- Un actuador, que modifique al sistema de manera controlada (resistencia eléctrica, motor, válvula, bomba, etc).

El sensor proporciona una señal analógica o digital al controlador, la cual representa el *punto actual* en el que se encuentra el proceso o sistema. La señal puede representar ese valor en tensión eléctrica, intensidad de corriente eléctrica o frecuencia.

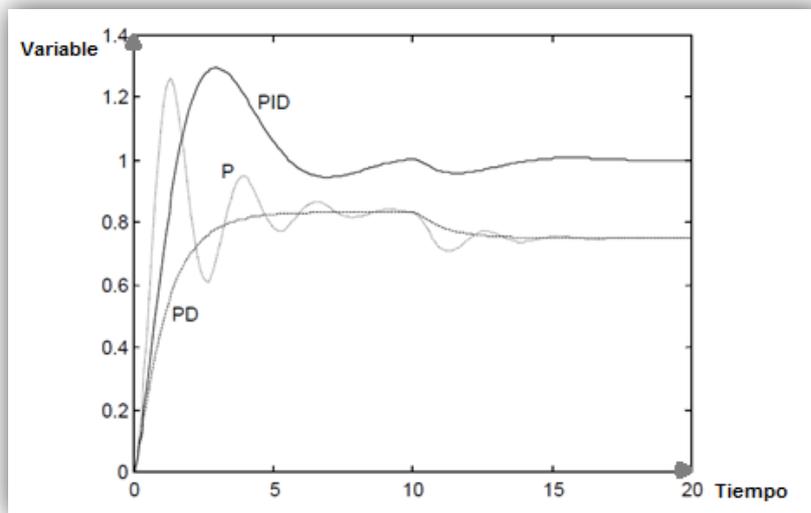
El controlador lee una señal externa que representa el valor que se desea alcanzar. Esta señal recibe el nombre de punto de consigna (o punto de referencia), la cual es de la misma naturaleza y tiene el mismo rango de valores que la señal que proporciona el sensor. El controlador resta la señal de punto actual a la señal de punto de consigna, obteniendo así la señal de error, que determina en cada instante la diferencia que hay entre el valor deseado (consigna) y el valor medido.

La señal de error es utilizada por cada uno de los tres componentes del controlador PID. Las tres señales sumadas, componen la señal de salida que el controlador va a utilizar para gobernar al actuador. La señal resultante de la suma de estas tres se llama variable manipulada y no se aplica directamente sobre el actuador, sino que debe ser transformada para ser compatible con el actuador utilizado.

---

<sup>8</sup> CREUS Antonio INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL 6<sup>ta</sup> Edición ALFAOMEGA GRUPO EDITOR 1998 Control Proporcional Integral Derivativo

Las tres componentes de un controlador PID son: parte **Proporcional**, acción **Integral** y acción **Derivativa**. El peso de la influencia que cada una de estas partes tiene en la suma final, viene dado por la constante proporcional, el tiempo integral y el tiempo derivativo, respectivamente. Se pretenderá lograr que el bucle de control corrija eficazmente y en el mínimo tiempo posible los efectos de las perturbaciones (Figura1-19).



**Figura 1-19 Acción de control PID (Proporcional Integral derivativo), P (proporcional) PD (proporcional derivativo) Fuente. Instrumentación Industrial Antonio Creus**

**TABLA 1-3. VALORES DE LAS ACCIONES DE CONTROL**

	<b>% Banda Proporcional (ganancia)</b>	<b>Tiempo Integral (min/rep)</b>	<b>Tiempo Derivativo (minutos)</b>
<b>Presión</b>	20 (5)	-	-
<b>Caudal</b>	80-250 (1,25-0,4)	0,5-15	-
<b>Nivel</b>	50-100 (2-1)	-	-
<b>Temperatura</b>	20-50 (5-2)	0,5-15	0,5-3

FUENTE: Instrumentación Industrial Antonio Creus

### 1.2.6 ELEMENTOS DEL SISTEMA DE CONTROL

Con el fin de poder entender mejor el flujo del proceso y los instrumentos utilizados para el desarrollo de este proyecto conviene aclarar previamente algunos conceptos acerca de los tipos de instrumentos. Los

instrumentos de medición y control son relativamente complejos y su función puede entenderse si se clasifican de manera adecuada.

#### 1.2.6.1 INSTRUMENTOS POR SU FUNCIÓN<sup>9</sup>

Los instrumentos por su función pueden subdividirse en los siguientes tipos:

- **Elementos Primarios:** Son aquellos instrumentos que están en contacto con el fluido o variable, utilizando o absorbiendo energía del medio controlado para dar al sistema de medición una indicación en respuesta a la variación de la variable controlada. Los ejemplos más típicos son las placas de orificio y los elementos de temperatura (termopares o termo resistencias). Cabe indicar que a los instrumentos compactos como manómetros, termómetros, transmisores de presión, etc. ya se supone que el elemento primario está incluido dentro del propio instrumento.
- **Transmisores:** Son aquellos instrumentos que captan la variable de proceso, generalmente puede ser a través de un elemento primario, y la transmiten a distancia en forma de señal neumática (3-15 psi), electrónica (4-20 mA), pulsos, protocolarizada (hart) o bus de campo (Fieldbus Foundation, Profibus, etc.). Estos instrumentos dan una señal continua de la variable de proceso. Dentro de los transmisores los hay ciegos (sin indicador local) y con indicador local incorporado.
- **Indicadores Locales:** Son aquellos instrumentos que captan la variable de proceso y la muestran en una escala visible localmente. Los indicadores locales más utilizados son los manómetros (presión), termómetros (temperatura), rotámetros (caudal), etc. Normalmente

---

<sup>9</sup> CREUS Antonio INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL 6<sup>ta</sup> Edición ALFAOMEGA GRUPO EDITOR 1998

estos instrumentos no llevan electrónica asociada, aunque también se consideran indicadores locales a los indicadores electrónicos conectados a los transmisores. Estos últimos pueden ser analógicos o digitales.

- **Interruptores:** Son aquellos instrumentos que captan la variable de proceso, y para un valor establecido actúan sobre un interruptor. Es decir, cambian de estado de reposo a activado cuando el proceso llega a un valor predeterminado. Es un instrumento todo-nada. Los instrumentos más habituales son los presostatos (presión), termostatos (temperatura), interruptores de nivel, flujostatos (caudal), etc.
- **Convertidores:** Son aquellos instrumentos que reciben un tipo de señal de un instrumento y la modifican a otro tipo de señal. Pueden ser convertidores de señal neumática a electrónica, de mV a mA, etc.
- **Elementos finales de control:** Son aquellos instrumentos que reciben un tipo de señal procedente de un controlador y modifica el caudal del fluido o agente de control. Los más habituales son las válvulas de control, servomotor o variador de frecuencia.



Figura 1-20 Elementos de control Final

### **1.2.6.2 INSTRUMENTOS POR VARIABLE DE PROCESO**

De acuerdo a la variable del proceso, los instrumentos se dividen en instrumentos de caudal, nivel, presión, temperatura, densidad y peso específico, humedad, viscosidad, posición, velocidad, pH, frecuencia, fuerza, etc. Esta clasificación corresponde específicamente al tipo de señal medida siendo independiente del sistema empleado en la conversión de la señal del proceso.

- ***MEDIDAS DE PRESIÓN***

La medición de presión, junto a la de temperatura y nivel, son las variables de proceso más utilizadas en los procesos industriales, las medidas de presión comúnmente utilizadas en la industria son:

- Presión relativa o manométrica.
- Presión absoluta.
- Presión diferencial.

En cuanto a las unidades utilizadas para las presiones, las más utilizadas son “bar”, “kg/cm<sup>2</sup>”, “mm.c.a”, para la mayoría de los proyectos. En proyectos americanos la unidad de presión por excelencia es el “psi”.

Existe una diversa variedad de tipos de instrumentos de presión, pero para este proyecto se enfatiza en los transmisores de presión.

### **TRANSMISORES DE PRESIÓN**

Este tipo de instrumentos de presión convierten la deformación producida por la presión en señales eléctricas. Una diferencia respecto a los anteriores es la necesidad de incluir una fuente de alimentación eléctrica,

mientras que tienen como ventaja las excelentes características dinámicas, es decir, el menor cambio producido por deformación debida a la presión, es suficiente para obtener una señal perfectamente detectable por el sensor.

### **Transmisores de Presión Capacitivos**

Son instrumentos que se basan en la variación de capacidad que se produce en un condensador al desplazarse una de sus placas por la aplicación de presión. La placa móvil tiene forma de diafragma y se encuentra situada entre dos placas fijas.

De este modo se tienen dos condensadores, uno de capacidad fija o de referencia y el otro de capacidad variable. Tienen un tamaño reducido, son robustos y adecuados para medidas estáticas y dinámicas.



**Figura 1-21 Transmisor de Presión Capacitivo**

### **Transmisores de Presión Resistivos.**

Son instrumentos que contienen un elemento elástico (tubo bourdon o cápsula), que varía la resistencia óhmica de un potenciómetro en función de la presión. Son instrumentos sencillos y la señal de salida es potente,

por lo que no requiere de amplificación. Son insensibles a pequeñas variaciones, sensibles a vibraciones.

### **Transmisores de Presión Piezoeléctricos**

Los elementos piezoeléctricos son materiales cristalinos que al deformarse físicamente por la acción de una presión, generan una señal eléctrica. Son elementos ligeros, de pequeño tamaño y construcción robusta. Son sensibles a los cambios de temperatura y requieren de amplificadores de señal.

### **Transmisores de Presión Piezoresistivos o “Strain Gage”**

Están basados en la variación de longitud y diámetro, por lo tanto de resistencia, que tiene lugar cuando un hilo de resistencia se encuentra sometido a una tensión mecánica por la acción de una presión.

El hilo o galga forma parte de un puente de Wheatstone, que cuando está sin tensión tiene una resistencia eléctrica determinada. Cualquier variación de presión que mueva el diafragma del transductor cambia la resistencia de la galga y desequilibra el puente. Una innovación de esta tecnología lo constituyen los transductores de presión de silicio difundido, al que se le añaden microprocesadores para añadir inteligencia al instrumento. La precisión es del orden de 0,2%.



**Figura 1-22 Transmisor de Presión Piezoresistivo**

## TRANSMISOR DIFERENCIAL DE PRESIÓN

El transmisor diferencial de presión IDP10-A se utiliza en la medición de flujos de masa mediante la diferencia entre dos presiones aplicadas a los lados opuestos de un microsensor de silicio, ensamblado en el transmisor, que mide la tensión (strain gauge). La resistencia variable es luego convertida a una señal de corriente de 4-20 mA proporcional a la presión diferencial. Esta señal sale por los dos cables que llevan la información, por donde también son energizados; es decir es un transmisor de 2 hilos.



Figura1-23 Transmisor Diferencial de presión

Fuente Catalogo de Transmisores de Foxboro

- **MEDIDAS DE TEMPERATURA**

Al igual que las medidas de presión y nivel, la medida de temperatura es una de las variables de proceso más utilizadas en la industrial y es de gran ayuda para el desarrollo de este proyecto.

## ELEMENTOS PRIMARIOS DE TEMPERATURA.

Existen dos tipos de elementos primarios que son los termopares y las termoresistencias.

**Termopares.-** Permite la circulación de una corriente en un circuito formado por dos metales diferentes cuyas uniones se mantienen a distinta temperatura se desarrolla una pequeña tensión continua proporcional a la temperatura de la unión de medida, siempre que haya una diferencia de temperaturas con la unión de referencia.

Los valores de esta f.e.m. están perfectamente tabulados en tablas de conversión, existen diferentes clases de termopares, siendo su diferencia en el tipo de bimetales utilizados y por lo tanto en la f.e.m. generadas en función de las temperaturas, se adjunta una tabla de termopares (Tabla 1-4), según la denominación, materiales y rangos de actuación.

**TABLA 1-4 . TIPOS DE TERMOPARES Y RANGO DE OPERACIÓN**

TIPO DE TERMOPAR	MATERIAL	RANGO NORMAL
J	Hierro- Constantan	-190 °C a 760 °C
T	Cobre – Constantan Cobre- (Cobre Niquel)	-200 °C a 370 °C
K	Cromel- Alumel (Cromo- Niquel)- (Aluminio- niquel)	-190 °C a 1260 °C
E	Cromel- Constantan	-100 °C a 1260 °C
S	(90% platino- 10%Rodio)- Platino	0 °C a 1480 °C
R	(87% platino- 13%Rodio)- Platino	0 °C a 1480 °C

FUENTE: Giovanni Tomazzolli Mediciones Industriales 2008

Los termopares suelen estar encapsulados en un tubo de material apropiado al entorno donde se va a efectuar la medida, normalmente de acero inoxidable. Asimismo, la unión caliente puede estar unida al

extremo de la funda de protección o aislada de la misma, para que no exista comunicación a masa o tierra de la planta, se debe utilizar un cable de extensión del mismo tipo que el termopar.



**Figura 1-24 Termopares**

**Termo-resistencias.-** La termo-resistencia es el corazón sensible a la temperatura de cualquier termómetro de resistencia. Aparte de la forma de montaje, son sus características las que básicamente determinan las propiedades técnicas de medida del sensor.

### **1.2.7 CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES PLC.**

Los controladores lógicos programables son computadores industriales dedicados a las tareas de control de procesos. Dichos dispositivos fueron creados para mejorar el sistema de control convencional. Entre los problemas que presentaban los sistemas de control convencional están: poca flexibilidad, difícil supervisión y corrección de errores, poca confiabilidad y alto consumo de energía.

Las razones de estos problemas radican en que los sistemas convencionales implementan la lógica de control mediante cableados complicados y múltiples elementos discretos como temporizadores, contactores, interruptores, enclaves mecánicos y botoneras, todos los cuales están sujetos a fallo. Además, el hecho de que la lógica esté implementada por cableados hace difícil su modificación.

Como respuesta, surgió la idea de tener un único elemento programable que realizara la lógica de control. Entonces, bastará con programar dicha lógica en la memoria del dispositivo para obtener el mismo resultado que con la red de contactores que se tenía previamente. El dispositivo fue llamado controlador lógico programable PLC, nombre que resalta su característica más importante: el hecho de que es *programable*.

Esta cualidad permite que el equipo pueda ser utilizado en una gran diversidad de procesos, ofreciendo a la industria flexibilidad y adaptabilidad a los cambios.

### 1.2.7.1 Componentes básicos de los PLC.

- **Unidad central de proceso:** o CPU, es el elemento principal de procesamiento del PLC. Una vez digitalizadas, las señales de entrada son pasadas al CPU, el cual les aplica el *algoritmo de control* para generar las salidas.
- **Memoria del PLC:** Es el lugar físico donde residen el sistema operativo, el *programa*, los datos de ejecución y las imágenes de entrada y salida.

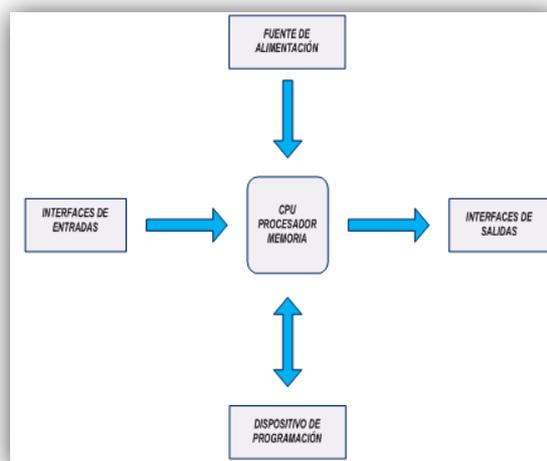


Figura 1-25 Estructura de un controlador lógico programable. Fuente Componentes PLC curso de PLCs

- **Entradas:** Constituyen la etapa de entrada del PLC. Desde la parte externa del PLC lucen como una bornera donde se deben colocar los cables con las señales que provienen de los transductores, pero internamente están conformadas por circuitos electrónicos que acoplan esas señales a las especificaciones de señales que el PLC puede manipular.

Según la naturaleza de la señal que se recibe de los transductores, las entradas se clasifican en:

- a) **Entradas digitales:** Estas entradas se diseñan para recibir señales de los sensores de campo. Dichas señales varían sólo entre dos estados. El PLC codifica estas señales según su amplitud en: 1 lógico para el valor de amplitud mayor, y 0 lógico para el nivel de amplitud menor.
  - b) **Entradas analógicas:** Son las que reciben señales analógicas de los transductores de campo. Estas señales generalmente provienen de sensores que miden el valor instantáneo de una variable física.
- **Salidas:** Internamente son circuitos electrónicos que realizan el acople entre las señales digitales utilizadas por el PLC y las señales analógicas que utilizan los actuadores. Las salidas se clasifican, al igual que en el caso de las entradas, en digitales y analógicas. Las salidas digitales se aplican a actuadores como bobinas de contactores, electroválvulas, etc.

Existen salidas digitales: de voltaje y de relé. Las salidas de voltaje asignan una magnitud de voltaje, que depende del fabricante, al estado 1 lógico y de 0 V al estado 0 lógico. Las salidas de relé consisten en un contacto seco que se cierra en el estado 1 y se abre en el estado 0.

En el caso de salidas analógicas, los valores de salida están generalmente entre 0 Vdc a 10 Vdc para las salidas de voltaje y de 4 mA

a 20 mA para las de corriente, aunque estos valores varían según el fabricante. Estas señales comandan actuadores como válvulas solenoides, servomotores, etc.

- **Fuente de poder:** Es el elemento que brinda la alimentación a todos los componentes del PLC. Generalmente los componentes funcionan a bajos voltajes de *DC*. La fuente realiza la transformación de los voltajes AC de las líneas de potencia a esos niveles *DC*.
- **Unidad de Programación:** Los terminales de programación, son el medio de comunicación entre el hombre y la máquina; estos aparatos están constituidos por teclados y dispositivos de visualización.
- **Funcionamiento del CPU.-** Al comenzar el ciclo (Figura1-26), la CPU lee el estado de las entradas, después ejecuta la aplicación empleando el último estado leído, una vez completado el programa, la CPU ejecuta tareas internas de diagnóstico y comunicación. Al final del ciclo se actualizan las salidas.

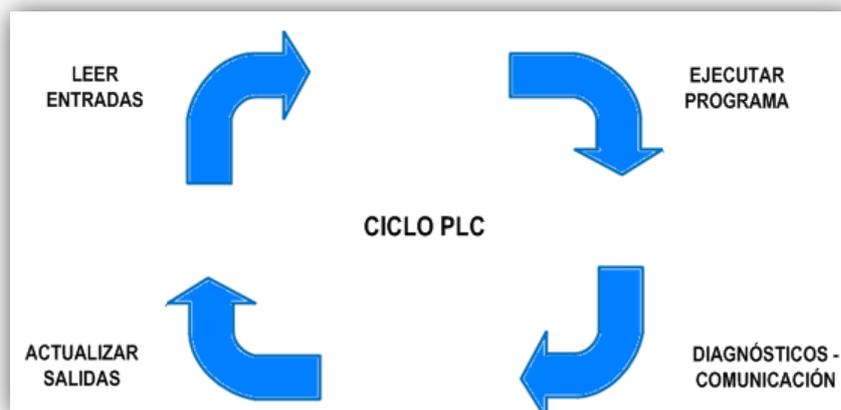


Figura 1-26 Ciclo de funcionamiento de la CPU

Las ventajas en el uso del PLC comparado con sistemas basados en relé o sistemas electromecánicos son:

- **Flexibilidad:** Posibilidad de reemplazar la lógica cableada de un tablero o de un circuito impreso de un sistema electrónico, mediante un programa que corre en un PLC.
- **Tiempo:** Ahorro de tiempo de trabajo en las conexiones a realizar, en la puesta en marcha y en el ajuste del sistema.
- **Cambios:** Facilidad para realizar cambios durante la operación del sistema.
- **Confiabledad**
- **Espacio**
- **Modularidad**

#### 1.2.7.2 TIPOS DE PLC.

Los PLC se clasifican, según la forma como se presentan sus componentes en compactos y modulares:

**Compactos:** Todos los componentes se encuentran integrados en un solo gabinete (Figura 1-27). El usuario no tiene acceso a ellos, por lo que no los puede modificar. Generalmente se pueden encontrar con diferentes capacidades en aspectos como: número de entradas, capacidad de memoria, número de salidas, opciones de comunicación, etc.



Figura 1-27 PLC Compacto Fuente curso de PLCs

**Modulares:** Consisten en un bastidor o chasis donde se introducen los diferentes componentes o módulos (Figura1-28). Los módulos son intercambiables de un bastidor a otro por lo que las capacidades de un PLC pueden ser ampliadas fácilmente.

Generalmente son más costosos que los tipo compacto, pero son mucho más versátiles y útiles en aplicaciones que exigen adaptabilidad a cambios.



Figura 1-28 PLC Modular

### 1.2.7.3 PROGRAMACIÓN DE UN PLC.

Para que el PLC pueda relacionar lógicamente las entradas con las salidas, necesita seguir un *programa* en su memoria. El *programa* tiene descrito, en forma de instrucciones, el *algoritmo de control* deseado.

El programa consiste en un archivo o archivos que son generados por la aplicación de programación. Estas aplicaciones de programación son ejecutadas en dispositivos especiales como herramientas portátiles o computadores personales. Una vez generado el archivo de *programa*, éste se debe descargar a la memoria del PLC.

Las aplicaciones de programación brindan una serie de herramientas al usuario para que pueda completar la creación de un programa. Entre las herramientas que se suelen ofrecer están: configuración de los componentes del PLC que se utilizará, opciones de comunicación,

diferentes editores de programa, un compilador y plataformas de simulación y de monitoreo.

La mayoría de los fabricantes ofrecen tres editores de *programa*: lista de instrucciones, escalera y diagrama de flujo.

- **Lista de instrucciones:** consiste es una programación por texto, en la cual se le indica al CPU la operación a realizar mediante un comando. Los comandos que se pueden utilizar están predeterminados por el fabricante.
- **Escalera:** Es un lenguaje gráfico que se parece mucho a los diagramas en escalera que se acostumbran en el control convencional. Su lógica incluye los conceptos de contactos normalmente abiertos, cerrados, salidas hacia bobinas, etc.
- **Diagrama de función:** Es un lenguaje gráfico por bloques, en el que se dispone de una serie de bloques que realizan funciones específicas. La lógica del programa se logra al interconectar los bloques.

### 1.2.8 PLC FAMILIA MICROLOGIX

La familia de controladores programables MicroLogix (Figura 1-29) ofrece cuatro niveles de control. Pequeño en tamaño y enorme en rendimiento, el MicroLogix 1000 ofrece capacidades de control en un paquete compacto y al alcance de su presupuesto. El MicroLogix 1200 es lo suficientemente pequeño para caber en espacios reducidos, pero lo suficientemente potente para aceptar una amplia gama de aplicaciones. El MicroLogix 1500 está diseñado para crecer a la par de sus necesidades y le ayuda a lograr un alto nivel de control en una variedad de aplicaciones.



Figura 1-29 PLC Familia MicroLogix Fuente: catalogo familia MicroLogix boletín 1763-A

### 1.2.8.1 MicroLogix 1000<sup>10</sup>

El MicroLogix 1100 está diseñado para ampliar la cobertura de aplicaciones mediante entradas analógicas incorporadas, comunicaciones Ethernet y capacidades de visualización. Los controladores MicroLogix 1100 mantienen las mismas funciones críticas que se esperan de la familia MicroLogix y expande esa capacidad para incluir una verdadera edición en línea. Los controladores MicroLogix 1100 son controladores más sencillos para las aplicaciones que requieren de hasta 80 E/S digitales.

Cada MicroLogix 1100 contiene dos entradas analógicas incorporadas, con 10 entradas digitales y 6 salidas digitales. Este controlador también permite expandir sus capacidades de E/S utilizando los mismos módulos que el MicroLogix 1200. Se pueden utilizar hasta cuatro de los módulos de 1762 E/S con un solo controlador MicroLogix 1100.

---

<sup>10</sup> Guía de selección de PLC Familia Micrologix catalogo productos Allen Bradley



**Figura 1-30** PLC MicroLogix 1100

Gracias a que utiliza la versión del software de programación RSLogix 500, el controlador MicroLogix 1100 se puede programar con un conjunto de instrucciones común entre las familias de controladores MicroLogix 1000, MicroLogix 1200, MicroLogix 1500 y SLC 500.

Cada controlador admite un puerto integrado combinado RS-232 / RS-485 para comunicación en serie y en red, así como un segundo puerto integrado Ethernet/IP, que admite mensajería Ethernet de igual a igual. La pantalla de cristal líquido incorporada le permite monitorear el estado de las E/S y del controlador, así como hacer cambios a datos de enteros y de bits.

### **Ventajas de los controladores MicroLogix 1100**

- Amplia memoria de 8 K (4 K para el programa de usuario con 4 K para datos de usuario) para cubrir una variedad de aplicaciones.
- Su verdadera edición en línea permite el ajuste del programa, incluido PID, sin tener que estar fuera de línea.
- Interruptor de modo Marcha/Remoto/Programa
- Opciones de expansión de E/S de gran rendimiento (hasta cuatro módulos de E/S 1762, en cualquier combinación)
- Dos entradas analógicas integradas de 0 a 10 VCC.

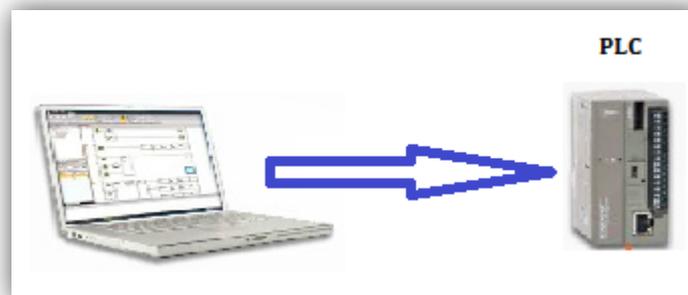
- Temporizadores de alta resolución de 1 ms
- El Canal 0 de comunicación proporciona compatibilidad eléctrica aislada con RS-232 ó RS-485.
- El Canal 1 de comunicación consiste en un puerto RJ45 incorporado que es compatible con mensajería Ethernet de igual a igual. Este puerto de 10/100 Mbps es compatible con BOOTP y DHCP.
- Botón pulsador selector de comunicaciones que permite asignar al puerto del Canal 0 del controlador ya sea los parámetros de comunicaciones configurados por el usuario, o bien los parámetros predeterminados establecidos en la fábrica.
- La protección contra descarga de archivos de datos impide la modificación de datos importantes del usuario mediante descargas de programas desde computadoras de programación o módulos de memoria.
- La dirección IP puede ser monitoreada directamente a través de la pantalla de cristal líquido integrada
- Dos potenciómetros de ajuste digital integrados
- Operaciones matemáticas con enteros de 32 bits con signo
- Compatible con archivos de datos con enteros dobles y con punto flotante (coma flotante)
- Capacidades PID integradas

### **1.2.9 REDES DE ÁREA LOCAL EN APLICACIONES INDUSTRIALES**

En cualquier sistema de automatización de la producción es imprescindible un intercambio de datos. En muchos casos, dicha comunicación es preciso realizarla siempre entre componentes de automatización con más o menos años a sus espaldas, y en la mayoría de los casos de diferentes fabricantes.

La tendencia actual se encamina hacia una integración de la automatización de forma que, en ningún momento, los equipos que la componen sean considerados como islas de automatización, sino que estén dotados de un poder de comunicación que revierta en la posibilidad de realizar análisis estadísticos de producción, horas de funcionamiento de cada una de las máquinas, realización de mantenimientos preventivos, etc.

Dicho de otra forma, hoy en día ya no se concibe un automatismo, por pequeño que sea, que no tenga como elemento adicional un PC o una pequeña pantalla en la cual se puedan visualizar los datos antes mencionados.



**Figura 1-31 Red Computador y PLC**

Las LAN (Local Área Network) industriales intentan que la comunicación entre todos los niveles sea completa, es decir, que los puntos más altos puedan saber en todo momento qué es lo que se está realizando en los puntos más bajos y, en caso necesario, poder *dar órdenes hacia ellos*, al ser posible sin la intervención de los “gateways”, en lo cual cada vez se avanza más. Para ello es necesaria una red única que recorra todos los niveles implicados.

### 1.2.10 RS-LOGIX Y RS-LINX.

Los programas necesarios para programar el PLC MicroLogix 1100 son: RSLogix y RSLinx, propiedad de Allen Bradley.

En la aplicación RSLogix el usuario puede configurar el PLC y programar el *algoritmo de control*, configurar el PLC es importante, pues se debe corroborar que las direcciones de las variables de entrada/salida que se utilizan en el *programa* corresponden realmente a los módulos conectados al chasis.

RSLogix permite escribir el programa y descargarlo en el PLC. El programa RSLinx es una aplicación de comunicación entre los sistemas operativos Windows y una serie de aplicaciones creadas por Rockwell Software para Allen Bradley.

La aplicación RSLogix permite crear y cargar un *programa* en el PLC. Además permite actualizarlo y modificarlo según lo requiera el usuario.

### 1.2.11 ACTUADORES <sup>11</sup>

Un ACTUADOR es un dispositivo inherentemente mecánico cuya función es proporcionar fuerza para mover o “actuar” otro dispositivo mecánico. La fuerza que provoca el actuador proviene de tres fuentes posibles: Presión neumática, presión hidráulica, y fuerza motriz eléctrica (motor eléctrico o solenoide). Dependiendo del origen de la fuerza el actuador se denomina “neumático”, “hidráulico” o “eléctrico”.

Actualmente hay dos tipos de actuadores.

---

<sup>11</sup> VILDÓSOLA Eugenio **ACTUADORES**, C. Soltex Chile S.A. 2010, pag 1,3,6-8

- Lineales
- Rotatorios

Los actuadores lineales generan una fuerza en línea recta, tal como un pistón. Los actuadores rotatorios generan una fuerza rotatoria, como un motor eléctrico.

### 1.2.11.1 **FUNCIONAMIENTO DEL ACTUADOR ROTATORIO**

El objetivo final del actuador rotatorio es generar un movimiento giratorio, el movimiento debe estar limitado a un ángulo máximo de rotación. Normalmente se habla de actuadores de cuarto de vuelta, o 90°; fracción de vuelta para ángulos diferentes a 90°, por ejemplo 180°; y de actuadores multivuelta, para válvulas lineales que poseen un eje de tornillo o que requieren de múltiples vueltas para ser actuados.

La variable básica a tomar en cuenta en un actuador rotatorio es el torque o par; también llamado momento y es expresado en lb-in, lb-pie, N-m, etc. El actuador rotatorio dependiendo de su diseño, consta de las siguientes partes móviles básicas:

**TABLA 1-5 CARACTERÍSTICAS DEL ACTUADOR ROTATORIO, NEUMÁTICO, ELÉCTRICO E HIDRÁULICO**

	<b>Actuador Neumático</b>	<b>Actuador Eléctrico</b>	<b>Actuador Hidráulico</b>
<b>Fuerza Generadora de Movimiento</b>	Presión de aire	Energía eléctrica	Presión hidráulica
<b>Elemento Motriz</b>	Émbolo, Pistón o Veleta	Motor Eléctrico	Émbolo, Pistón o Veleta
<b>Transmisión de Fuerza o Torque</b>	Eje o Cremallera	Reductor	Eje
<b>Conversión mecánica</b>	Yugo o Piñón	- No hay -	Yugo o Piñón

### **1.2.11.2 ACTUADOR ROTATORIO ELÉCTRICO**

Para hacer funcionar el actuador eléctrico, se debe energizar los bornes correspondientes para que el motor actúe en la dirección apropiada. Usualmente vienen con un controlador local o botonera que hace este proceso más sencillo. Sin embargo para la automatización remota del actuador, se debe considerar el diagrama de cableado que viene con el actuador. Las conexiones deben considerar fuerza, señales de límites de carrera y torque, señales análogas o digitales de posición y torque, etc.

El torque generado por el motor eléctrico es aumentado por un reductor interno o externo para dar salida al torque final en el tiempo seleccionado. Esta es la razón por la que los actuadores eléctricos toman más tiempo en recorrer la carrera que los Neumáticos o hidráulicos.

### **1.2.11.3 DIMENSIONAMIENTO DE UN ACTUADOR ROTATORIO ELÉCTRICO**

- Primero se debe determinar el torque que se necesita para generar el movimiento rotatorio. Este torque puede ser expresado en N-m, lb-in, lb-ft, etc.
- No olvidar considerar la presión de la línea, que muy posiblemente lucha en contra del actuador.
- Establecer el porcentaje de sobredimensionamiento. Usualmente y dependiendo del tamaño y diseño de la válvula, entre 10% y 50% de sobredimensionamiento.
- Debe establecerse la carrera angular del actuador (90°, 180°, multivuelta).
- Si es multivuelta, determinar el número de vueltas necesarias para cubrir el total de la carrera de la válvula.

- Obtener la disponibilidad de energía en el punto de instalación. Voltaje, frecuencia, número de fases.
- Con los torques ya determinados, y recurriendo a las tablas de torque de los diferentes modelos, se puede escoger un modelo adecuado para la aplicación.
- Verificar el torque máximo admisible para el vástago de la válvula.
- Al escoger el actuador con su motor, tomar los datos de consumo y factor de potencia. Los actuadores eléctricos tienen tiempos de funcionamiento más largos que los actuadores neumáticos, por lo que es un dato a considerar. Dependiendo del tamaño de la válvula, estos tiempos fluctúan normalmente entre 20 segundos hasta 90 segundos o más.

#### **1.2.11.4 ACTUADORES ROTATORIOS CON POSICIÓN DE FALLA**

A veces es conveniente que la válvula vuelva por sí sola a una cierta posición si es que la energía falla. A estos actuadores se les denomina de “simple efecto” o “Falla Cierre” o “Falla Abre”, FC o FA respectivamente (FC y FO en inglés), o bien de “vuelta por resorte”.

Efectivamente, un resorte acumula energía para liberarla en la presencia de alguna falla, o cuando se libere el actuador para que vuelva a su posición de falla. Esta es la solución más robusta desde el punto de vista industrial. Hay otras alternativas para acumular energía para un actuador, pero el resorte es lo más confiable.

#### **1.2.11.5 FUNCIONAMIENTO DEL ACTUADOR NEUMÁTICO**

A los mecanismos que convierten la energía del aire comprimido en trabajo mecánico se les denomina actuadores neumáticos. Aunque en

esencia son idénticos a los actuadores hidráulicos, el rango de compresión es mayor en este caso, además de que hay una pequeña diferencia en cuanto al uso y en lo que se refiere a la estructura, debido a que estos tienen poca viscosidad.

En esta clasificación aparecen los fuelles y diafragmas, que utilizan aire comprimido y también los músculos artificiales de hule, que últimamente han recibido mucha atención.

- De efecto simple
- Cilindro neumático
- Actuador neumático de efecto doble
- Con engranaje
- Motor neumático con veleta
- Con pistón
- Motor rotatorio con pistón
- De ranura vertical
- De émbolo
- Fuelles, diafragma y músculo artificial



**Figura 1-32 Actuadores Neumáticos**

### 1.2.12 ESTUDIO PRELIMINAR

Para determinar las condiciones iniciales del horno de fundición de aluminio y la factibilidad de este proyecto se analizaron las entradas y salidas del sistema, el consumo de combustibles, la cantidad de materia prima que ingresa al horno y la cantidad de escoria generada como residuo en el proceso.

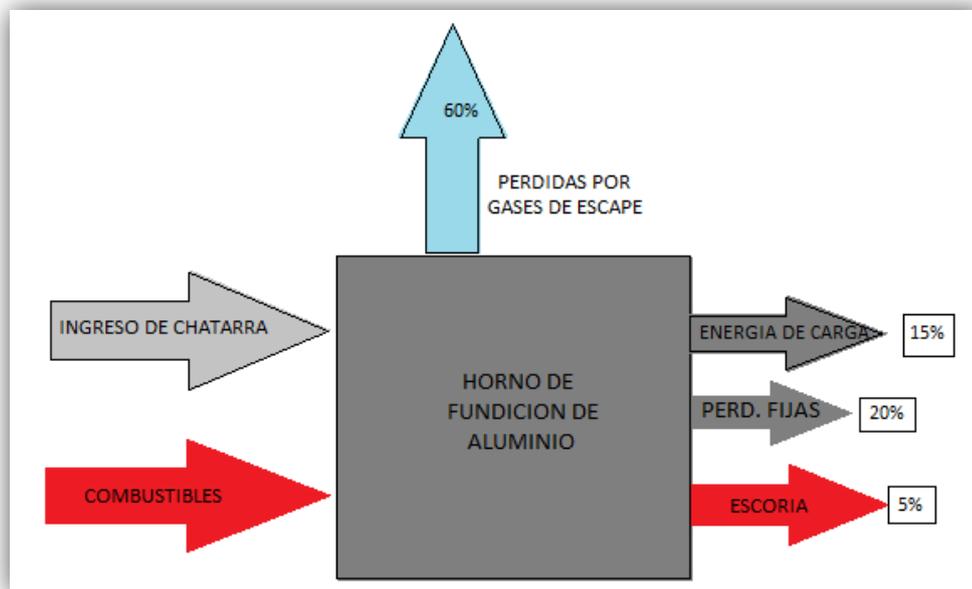


Figura 1-33 Diagrama del Horno de Fundición – Energía Fuente CEDAL

### COMPOSICIÓN DE LA ESCORIA

De acuerdo a un estudio realizado en la Escuela Politécnica Nacional la escoria que se genera como residuo en el proceso de fundición de aluminio está compuesta de los siguientes elementos detallados en la tabla (1-6).

**TABLA 1-6 ANÁLISIS DE ESCORIA DE CEDAL**

<b>MINERAL</b>	<b>FÓRMULA</b>	<b>MUESTRA CONTENIDO (%)</b>
Corundum	AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20
Bayerita	Al(OH) <sub>3</sub>	10
Spinel	MgAlO <sub>4</sub>	15
Aluminum Nitrite	AlN	20
Zinc aluminum Oxide	(Zn <sub>0,3</sub> Al <sub>0,7</sub> ) Al <sub>1,7</sub> O <sub>4</sub>	10
Nickel, magnesium aluminum oxide	(Na,Ca)Al(Si,Al)Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	4
Aluminum	Al	11
Randorfite	Ca <sub>8</sub> Mg(SiO <sub>4</sub> ) <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>	5

Fuente CEDAL

En el área de fundición hasta la actualidad existe los siguientes niveles de producción y el registro de Kg de escoria generados.

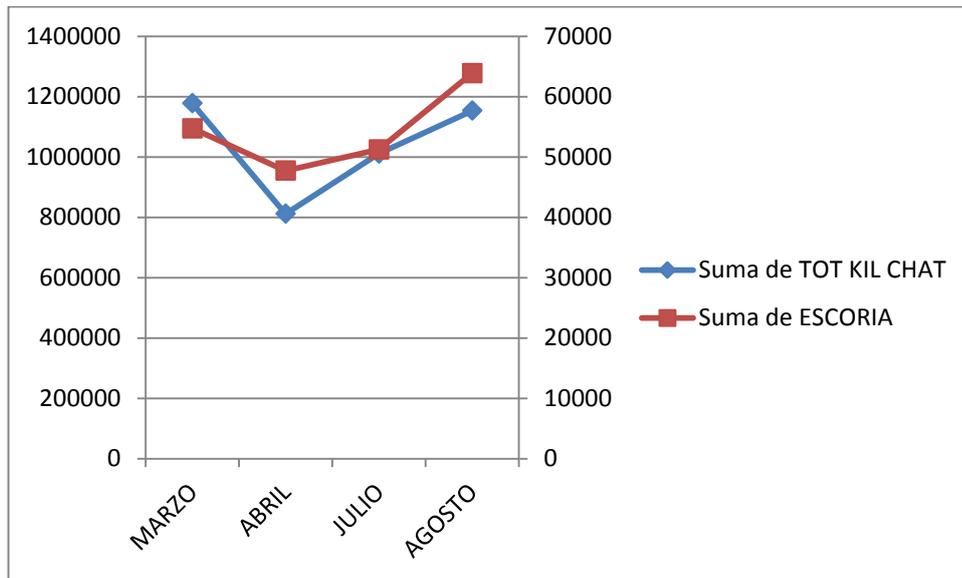
**TABLA 1-7 <sup>12</sup>DETALLE DE ESCORIA GENERADO EN LOS MESES PREVIOS A LA AUTOMATIZACIÓN.**

<b>MES</b>	<b>TOT KIL CHATARRA</b>	<b>ESCORIA</b>	<b>%escoria</b>
MARZO	1177478,529	54740	4,64
ABRIL	811348	47710	5,88
JULIO	1010800,257	51240	5,06

Fuente: Datos globales de producción Departamento de Fundición

El promedio de escoria generado por mes es de 5,19% del total de ingreso de chatarra al horno, con la instalación del proyecto se pretende disminuir estos niveles y aprovechar al máximo la materia prima, en la figura 1-34 se muestra un gráfico comparativo entre el ingreso de chatarra y la escoria generada en la fundición.

<sup>12</sup> Niveles de producción en el Área de Fundición FUENTE: CEDAL



**Figura 1-34 Relación entre Escoria y Chatarra ingresada al horno para la producción de lingotes Fuente CEDAL**

# **CAPÍTULO II**

## **2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CONTROL DE PRESIÓN PARA EL HORNO DE FUNDICIÓN**

### **2.1 INTRODUCCIÓN**

En la actualidad la mayoría de las industrias buscan modernizar sus procesos de producción, para obtener mayor competitividad de sus productos, logrando con esto mantenerse en el mercado nacional e internacional. Con esta filosofía, la Corporación Ecuatoriana de Aluminio (CEDAL S.A.) ha encaminado sus esfuerzos a la modernización de sus procesos de producción en el área de Fundición.

El horno de Fundición de Aluminio no cuenta con un control de presión y el objetivo de este trabajo es estabilizar la presión en el horno y paralelamente evitar pérdidas de temperatura.

Si la presión supera el límite de trabajo abrirá el dámper de la chimenea y por el contrario si existe una caída súbita de presión se cerrará para evitar que los gases de combustión fuguen al exterior y exista perdidas de calor en el horno.

Para la correcta operación de este sistema se verifica los valores de la temperatura del horno en la cámara Melting, en la cámara Casting, la temperatura del ducto de la chimenea y la temperatura de la colada. En casos de emergencia donde los valores de presión sean elevados se abrirá una compuerta auxiliar que está ubicada al costado inferior de la chimenea.

## **2.2 SITUACIÓN ACTUAL**

El horno de fundición de aluminio no cuenta con un control de presión. La variación en los niveles de produce daños internos y externos, tales como desgaste en las paredes cuando la presión se eleva, problemas de funcionamiento y perjuicios en los elementos de control, como sensores y motores los cuales han generado pérdidas económicas en la empresa. La disminución de presión provoca el ingreso de aire frío al interior del horno, que ocasiona deficiencia en la productividad e incrementa la tasa de desperdicio, de tal manera existe un mayor consumo de energía y los equipos necesitan de mantenimiento constante.

## **2.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROBLEMA A RESOLVER**

La realización de este proyecto de automatización del control de presión en el horno de fundición en la empresa CEDAL, se justifica porque reducirá la tasa de desperdicios en la fabricación de lingotes, evitando el consumo excesivo de energía y combustible, además es de vital importancia para la empresa ya que disminuirá las pérdidas económicas en el mantenimiento del horno y de esta manera mejorar las condiciones de trabajo del personal, al mismo tiempo se impulsará la automatización en las demás líneas de producción de la empresa.

Por lo anteriormente expuesto la importancia radica en:

- Disminuir la cantidad de escoria generada en el proceso de fundición.
- Reducir el consumo de combustible en los quemadores ya que al mantener la presión se estabiliza la temperatura en los niveles óptimos para la fundición del aluminio.

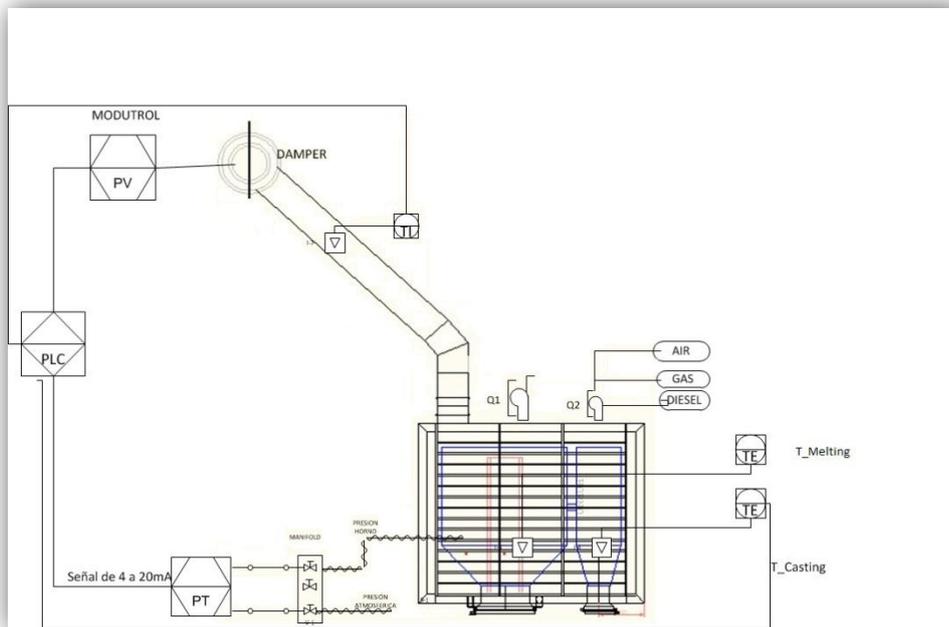
- Disminuir el riesgo de impacto negativos con una elevada presión en el horno de fundición.
- Reducir el costo en el mantenimiento de las paredes del ducto y recubrimiento de cemento refractario en el horno de fundición.
- Mejorar el proceso de fundición de aluminio para la fabricación de lingotes.

El nuevo sistema de control de presión no debe representar un cambio drástico en lo que se refiere al manejo y operación del proceso, puesto que esto involucraría tiempos de adaptación más largos e innecesarios .

El sistema debe garantizar una seguridad para el personal de operación y personal de mantenimiento, por lo que se deben aplicar normas para la seguridad de instalaciones eléctricas industriales. Los elementos de protección deben ser bien dimensionados y seleccionados para garantizar la vida útil de los componentes electrónicos.

## **2.4 VISIÓN GENERAL DEL PROYECTO.**

El control de presión en el horno de fundición de aluminio inicia desde la adquisición de la presión con la ayuda de un transmisor diferencial de presión (Figura 2-1), enviando el valor en señales de 4 a 20mA a un PLC que utiliza un algoritmo PID para mantener el horno en condiciones estables, si esta presión supera el límite de trabajo abrirá el dámper de la chimenea.



**Figura 2-1 Visión General del sistema de control**

El PLC envía una señal de control a un motor modulador que se encuentra acoplado al dampedor de la chimenea y controla la apertura y cierre del mismo. La influencia de la temperatura del horno de fundición tanto de la cámara Melting como Casting y la del ducto permiten verificar la relación entre temperatura y presión en el horno de fundición, la temperatura de la colada o temperatura en el Tundish permite monitorear el buen funcionamiento del proceso.

En casos de emergencia donde los valores de presión sean elevados se abrirá una compuerta auxiliar de desfogue de gases que está ubicada al costado de la chimenea.

Este capítulo tiene como ejes fundamentales el diseño del sistema de control, el análisis se llevará a cabo en dos etapas. En la primera etapa se realizará el diseño del hardware del sistema y en la segunda etapa se

desarrollará el diseño del software utilizado por los diferentes dispositivos, se especificará la configuración de los dispositivos y la programación del PLC.

## 2.5 PARÁMETROS UTILIZADOS EN EL PROCESO DE FUNDICIÓN

Cedal produce 92 lingotes de aluminio por turno (Figura 2-2) sumándose alrededor de 900 toneladas mensuales, es por eso que los parámetros de presión y temperatura deben estar acordes a las necesidades del proceso (Tabla 2-1), ya que un desequilibrio en la temperatura alteraría el punto de solidificación del aluminio y formaría grietas en los lingotes generando pérdidas.



**Figura 2-2 Producción de lingotes de Aluminio Planta de Fundición Fuente CEDAL**

Para monitorear el proceso se debe considerar los siguientes rangos de temperatura en el horno de fundición tanto en le Melting, en el Casting en el ducto de la chimenea y la temperatura colada.

**TABLA 2-1 NIVELES DE TEMPERATURA ÓPTIMOS PARA LA FABRICACIÓN DE LINGOTES DE ALUMINIO.**

<b>TIPO</b>	<b>VALOR</b>
TEMPERATURA MELTING	770 C- 1000 C
TEMPERATURA DE CASTING	700 C - 850 C
TEMPERATURA DUCTO	650 C - 900 C
TEMPERATURA DE LA COLADA	680 C - 720 C

## **2.6 DISEÑO DEL SISTEMA**

Una vez delimitado el problema es importante definir las variables a controlar para obtener resultados acorde a las necesidades.

### **2.6.1 VARIABLES A SUPERVISAR Y CONTROLAR.**

#### **VARIABLES DE ENTRADA:**

- Presión Diferencial.- Valor obtenido de la diferencia de presión en el horno de fundición de Aluminio y la atmosférica. (MBar).
- Temperatura del horno melting (°C ), valor sentido por la termocupla tipo K que se encuentra instalado en el horno melting.
- Temperatura de la cámara casting (°C ), valor sentido por la termocupla tipo K que se encuentra instalado en la cámara Casting.
- Temperatura del ducto (°C), valor sentido por la termocupla tipo K que se encuentra instalada en el ducto que conduce a la chimenea.

- Temperatura de la colada ( $^{\circ}\text{C}$ ), valor sensado por la termocupla tipo K que se encuentra instalada en el Tundish

#### **VARIABLES DE SALIDA:**

- Ángulo de giro del motor modulador acoplado al Dámper de la chimenea.
- Compuerta Lateral
- Luces indicadoras
- Luz de Emergencia

#### **2.6.2 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA PARA CONTROLAR LA PRESIÓN EN EL HORNO DE FUNDICIÓN DE ALUMINIO.**

1. Control de los niveles de presión en el Horno de Fundición.
2. Mantener la Temperatura del Horno entre  $800^{\circ}\text{C}$  y  $1000^{\circ}\text{C}$  sugerida por el personal de producción.
3. Mantener la Temperatura de la colada entre  $680^{\circ}\text{C}$  y  $720^{\circ}\text{C}$  sugerida por el personal de producción.
4. Control de la apertura del Dámper colocado en la chimenea para el desfogue de gases.
5. Alarmas Luminosa en casos de presión elevada.

#### **2.7 DISEÑO DEL HARDWARE**

El primer paso es diseñar el hardware del sistema, es decir la parte física, esto incluye el diseño mecánico del dámper, ubicación de la toma de

presión en el horno de fundición, selección de los materiales a utilizarse para que las instalaciones ayuden al buen funcionamiento del proyecto.

### 2.7.1 DISEÑO DEL DÁMPER

Para el desarrollo de este proyecto se debe determinar las características del dämper, las dimensiones y el material adecuado para trabajar en alta temperatura.

Mediante la revisión de los documentos Técnicos de la Planta de Fundición se logró recopilar las dimensiones del dämper (Figura 2-3), a partir de estos se procedió a la selección del material óptimo para su construcción.

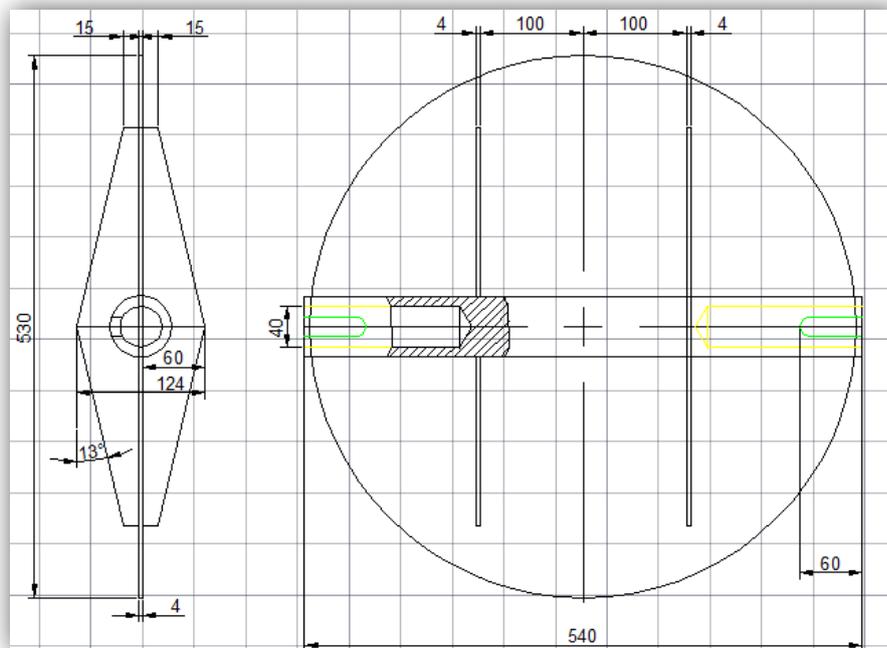


Figura 2-3 Dimensiones Dämper Horno de Fundición de Aluminio Fuente Planos Mecánicos CEDAL

## CARACTERÍSTICAS

El material para evitar la corrosión y deterioro del dampfer por el exceso de temperatura es de importancia, tanto del cuerpo, la mariposa y el tipo de cierre.

Existen diferencias en el tipo de material utilizado en funci3n de la temperatura de trabajo, dichas diferencias se detallan en la Tabla 2-2.

TABLA 2-2 MATERIALES DE CONSTRUCCI3N DE UN DAMPFER

MATERIALES DE CONSTRUCCI3N EN FUNCI3N DE LA TEMPERATURA			
Temperatura	Cuerpo	Mariposa	Cierre
300°C	S275JR	S275JR	S275JR
500°C	AISI 304	AISI 304	AISI 304
650°C	AISI 316	AISI 316	AISI 316

Fuente: Fabricaci3n dampfer España

De acuerdo a las condiciones de trabajo del horno de fundici3n de Aluminio el material seleccionado para la construcci3n del dampfer es el ACERO AISI 316.

**ACERO AISI 316<sup>13</sup>.**- Es un acero inoxidable perteneciente a la familia de aceros Austeníticos, su popularidad se debe a su excelente formabilidad y superior resistencia a la corrosi3n.

Esta familia de aceros se obtiene adicionando elementos formadores de austenita, tales como níquel, manganeso y nitr3geno. El contenido de cromo generalmente varía del 16 al 26% y su contenido en carbono se

<sup>13</sup> SOLA Rolando Manual de Selecci3n y control de Materiales Escuela Politcnica Nacional marzo 2009

mantiene siempre bajo, en el rango del 0.03% a 0.08%. El cromo proporciona una resistencia a la oxidación y a la corrosión a altas temperaturas.

**TIPOS DE CIERRE.-** Para la construcción de un d mper es necesario definir el tipo de cierre, en funci3n de las necesidades del proceso, siendo dos tipos: *Sin Tope* y con una Estanqueidad 97% o *con Tope* y Estanqueidad del 99%, como se observa en la figura 2-4.



Figura 2-4 Tipos de cierre para D mper

Fuente Catalogo de D mper VIDAPRO

Los planos de diseño se adjuntan en el ANEXO A.

## 2.7.2 DISEÑO Y SELECCI3N DEL SISTEMA DE SENSORES Y ACTUADORES.

Una vez definidas las variables de entrada y salida para el sistema de control, se procede a la selecci3n de los elementos de control, elementos eléctricos y mecánicos que serán utilizados en la implementaci3n de acuerdo a las necesidades del diseño. En la Tabla 2- 3 se detalla los elementos de control para las variables de entrada, mientras que en la tabla 2-4 se enfatiza en los elementos para la salida.

**TABLA 2-3 ELEMENTOS DE CONTROL PARA LAS VARIABLES DE ENTRADA.**

<b>VARIABLES DE ENTRADA</b>	<b>ELEMENTO DE CONTROL</b>	<b>FUNCIÓN</b>
Determinar la Presión del Horno de Fundición de Aluminio	TRANSMISOR DE PRESIÓN	Sensar la Presión en el Horno de Fundición y enviar una señal de 4 a 20mA al PLC.
Medir la Temperatura del Horno cámara Melting	Termocupla tipo K	Sensar la Temperatura del Horno cámara Melting
Medir la Temperatura del Horno cámara Casting	Termocupla tipo K	Sensar la Temperatura del Horno cámara Casting
Medir la Temperatura del ducto de la chimenea	Termocupla tipo K	Sensar la Temperatura del ducto de la chimenea.
Medir la Temperatura en el Tundish	Termocupla tipo K	Sensar la Temperatura de la colada

**TABLA 2-4 ELEMENTOS DE CONTROL PARA LAS VARIABLES DE SALIDA**

<b>VARIABLES DE SALIDA</b>	<b>ELEMENTO DE CONTROL</b>	<b>FUNCIÓN</b>
Ángulo de giro del Dámper	Motor Modulador	Determinar el giro del dámper de acuerdo a una señal de 4 a 20mA.
Compuerta Lateral	Válvula selenoide	Extender o contraer el cilindro neumático de doble efecto acoplado a la compuerta lateral
Luz de Emergencia	Luz licuadora	Activarse en casos de emergencia cuando la presión del horno sea alta

El proyecto deberá ser de fácil adaptabilidad para el operario y cumplir las funciones requeridas que se definirán más adelante, a continuación se describe los elementos de entrada y salida definiendo el tipo de señal que manejan.

**TABLA 2-5 ENTRADAS DEL SISTEMA DE CONTROL**

<b>ENTRADAS</b>	<b>NOMBRE VARIABLE</b>	<b>TIPO</b>	<b>SENSOR - ACTUADOR</b>	<b>Num.</b>
	Presión del Horno de Fundición	Analógica	Transmisor diferencial de presión	1
	Temperatura Melting	Analógica	Termocupla tipo K	1
	Temperatura Casting	Analógica	Termocupla tipo K	1
	Temperatura Ducto	Analógica	Termocupla tipo K	1
	Temperatura Colada	Analógica	Termocupla tipo K	1
	Power On	Digital	Pulsador verde	1
	Power OFF	Digital	Pulsador rojo	1
	Selector Opción Automático	Digital	Sentido Izquierdo	1
	Selector Opción Manual	Digital	Sentido Derecho	1
	Selector Compuerta CERRAR	Digital	Sentido Izquierdo	1
	Selector Compuerta ABRIR	Digital	Sentido Derecho	1
	Pulsador Reset	Digital	Pulsador verde	1
	Pulsador Tundish	Digital	Pulsador verde	1
	PARO DE EMERGENCIA	Digital	Pulsador tipo hongo	1
<b>TOTAL INs</b>			<b>14</b>	

**TABLA 2-6 SALIDAS DEL SISTEMA DE CONTROL**

<b>SALIDAS</b>	<b>NOMBRE VARIABLE</b>	<b>TIPO</b>	<b>SENSOR - ACTUADOR</b>	<b>Num.</b>
	Motor Dámper	Analógica	Motor Modulador IV	1
	DAMPER ABIERTO	Digital	MOTOR F -	1
	COMP_LATERAL	Digital	Electroválvula	1
	LUZ_ON	Digital	LUZ amarilla	1
	LUZ_MA	Digital	Luz roja	1
	LUZ_AUT	Digital	Luz verde	1
	LUZ_C.LATER ABIERTA	Digital	Luz verde	1
	LUZ_Tundish	Digital	Luz Licuadora	1
	LUZ_EMER	Digital	Luz Licuadora	1
<b>TOTAL OUTs</b>			<b>9</b>	

**TOTAL DE ENTRADAS Y SALIDAS = 23**

## **2.8 SISTEMA DE CONTROL MEDIANTE PLC**

### **2.8.1 SELECCIÓN DEL PLC**

La familia de controladores programables MicroLogix ofrece cuatro niveles de control.

- MicroLogix 1100: Pequeño en tamaño y enorme en rendimiento, el ofrece capacidades de control en un paquete compacto y al alcance de su presupuesto.
- MicroLogix 1200: Suficientemente pequeño para caber en espacios reducidos, pero potente para aceptar una amplia gama de aplicaciones.
- MicroLogix 1500: Diseñado para crecer a la par de sus necesidades y le ayuda a lograr un alto nivel de control en una variedad de aplicaciones.

De acuerdo al análisis de entradas y salidas del sistema, se necesita un módulo de entradas analógicas para captar la señal del transmisor diferencial de presión, un módulo de salidas analógicas que enviara la señal al motor modulador para el movimiento del dámper, además se debe contar con un módulo para leer el valor de temperatura. Para el desarrollo de este proyecto se necesita 8 entradas digitales y 5 salidas digitales.

Por tal razón y gracias a las ventajas que ofrece el PLC MicroLogix 1100 es el seleccionado para este proyecto, además ya que este cuenta con un puerto integrado para comunicación Ethernet y no se necesita adquirir el módulo por separado.

## 2.8.2 FUENTE DE ALIMENTACIÓN PARA ENTRADAS DEL PLC

Las entradas del PLC deberán ser de 24V DC ya que este es el voltaje de trabajo del transmisor diferencial de presión y de los elementos de entrada del sistema, adicionalmente las salidas son de 110V AC.

## 2.8.3 TIPO DE CPU

MicroLogix 1100 cumple los requerimientos y se debe seleccionar la CPU acorde al tipo de entrada y salidas disponibles en el proceso. En el catálogo de selección de PLC de la familia MicroLogix se detalla la cantidad de entradas y salidas disponibles para cada CPU, el tipo de alimentación eléctrica, en la Figura 2-5 se ilustra el esquema de selección.

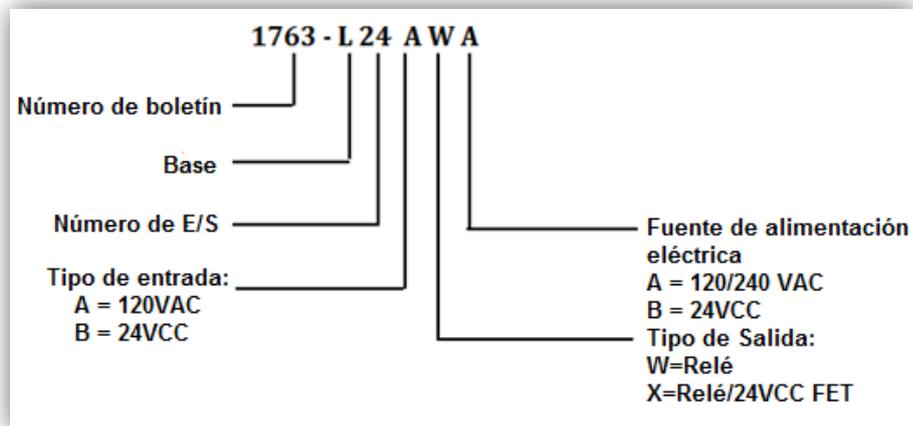


Figura 2-5 Esquema de Selección de un PLC MicroLogix 1100

Posteriormente en la tabla 2-7 se detalla las CPU disponibles y sus características de alimentación de voltaje de línea, y el número de entradas y salidas disponibles.

**TABLA 2-7 ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA Y CONFIGURACIÓN DE E/S DEL CONTROLADOR MICROLOGIX 1100**

Núm de Cat.	Voltaje de Línea	Número de entradas	Número de salidas	E/S de alta velocidad
1763-L16AWA	120/240 VCA	(10) 120VAC (2) de voltaje analógico	(6) relés aislados individualmente	Ninguna
<b>1763-L16BWA</b>	<b>120/240 VCA</b>	<b>(6) 24 VCC (4) rápidas de 24 VCC (2) de voltaje analógico</b>	<b>(6) relés aislados individualmente</b>	<b>(4) entradas de 20 kHz</b>
1763-L16BBB	24 VCC	(6) 24 VCC (4) rápidas de 24 VCC (2) de voltaje analógico	(2) relés aislados individualmente (2) FET de 24 VCC (2) FET rápidos de 24 VCC	(2) salidas de 20 kHz

Fuente Catalogo de selección MicroLogix 1100 Allen Bradley

Los controladores MicroLogix 1100 se expanden con la misma plataforma de E/S 1762 que los controladores MicroLogix 1200. Los módulos de expansión de E/S 1762 proporcionan una funcionalidad superior en un paquete de bajo costo y de tamaño reducido. Una variedad de módulos complementan y amplían las capacidades de los controladores MicroLogix 1100 al maximizar la flexibilidad en cuanto a las cantidades y tipos de E/S.

El diseño del sistema MicroLogix 1100 permite que los módulos puedan ser montados en riel DIN o en panel. Por estas razones y de acuerdo al análisis de los requerimientos del sistema es óptimo para el desarrollo del proyecto trabajar con el *PLC MicroLogix 1100*, **CPU 1763-L16BWA**.

Las E/S del controlador se pueden expandir usando hasta cuatro módulos de E/S 1762, lo que permite adecuarse a las necesidades de la empresa.

## 2.8.4 MÓDULOS DE E/S DE EXPANSIÓN 1762

La Familia MicroLogix posee un grupo de módulos de expansión para cada aplicación, sea la señal que adquieren o transmiten Analógica o Digital. Los módulos de expansión de E/S disponibles (Tabla 2-8) son:



Figura 2-6 PLC MicroLogix 1100 y Módulos de expansión

TABLA 2-8 MÓDULOS DE E/S DE EXPANSIÓN 1762

NÚM. DE CAT.	DESCRIPCIÓN
<b>DIGITALES</b>	
1762-IA8	Módulo de entradas de 8 puntos de 120 VCA
1762-IQ8	Módulo de entradas de 8 puntos drenadores/surtidores de 24 VCC
1762-IQ16	Módulo de entradas de 16 puntos drenadores/surtidores de 24 VCC
1762-OA8	Módulo de salidas Triac de 8 puntos de 120/240 VCA
1762-OB8	Módulo de salidas de 8 puntos surtidores de 24 VCC
1762-OB16	Módulo de salidas de 16 puntos surtidores de 24 VCC
1762-OW8	Módulo de salidas de 8 puntos de relé CA/CC
1762-OW16	Módulo de salidas de 16 puntos de relé CA/CC
1762-OX6I	Módulo de salidas de 6 puntos de relé CA/CC aislados
<b>ANALÓGICOS</b>	
<b>1762-IF4</b>	<b>Módulo de entradas analógicas de 4 canales de voltaje/corriente</b>
<b>1762-OF4</b>	<b>Módulo de salidas analógicas de voltaje/corriente de 4 canales</b>
1762-IF2OF2	Módulo analógico de voltaje/corriente con combinación de 2 canales de entrada y 2 canales de salida
<b>ESPECIALES</b>	
1762-IR4	Módulo de entradas de 4 canales RTD/resistencia
<b>1762-IT4</b>	<b>Módulo de entradas de 4 canales termopar/mV</b>

Fuente Catalogo de selección MicroLogix 1100 Allen Bradley

Analizando el tipo de señal de entrada del transmisor diferencial de presión es necesario adquirir un módulo de Entrada *Analógico 1762-IF4*, para enviar la señal para el control del Motor Modulador es necesario adquirir un *módulo de Salida Analógicos, 1762-OF4*. Para el Monitoreo de la temperatura en el horno y recepción de la señal de temperatura se utilizará un *módulo de Termopar.1762-IT4*.

## 2.8.5 RESUMEN DE REQUERIMIENTOS DE HARDWARE DEL PLC PARA EL SISTEMA DE CONTROL.

El resumen de los elementos de hardware del PLC se detalla en la tabla 2-9

**TABLA 2-9 HARDWARE UTILIZADO PARA EL PLC**

ITEM	CANT	DESCRIPCIÓN
1	1	A-B AUT MICR 1100 16 I/O 10IN 24VDC, 6 RELAY OUT, DC
2	1	A-B AUT MICR 1200 MÓDULO ANALO 4 ENTRADAS ANALOGAS
3	1	A-B AUT MICR 1200 MÓDULO ANALO 4 SALIDAS ANALOGAS
4	1	A-B AUT MICR 1200 MOD TERMOPAR TERMOPAR/MV DE 4 CANALES
5	1	A-B AUT MICR 1100 16 I/O 10IN 24VDC, 6 RELAY OUT, DC
6	1	Fuente SITOP Voltaje de entrada 120V/230V y voltaje de salida 24V 5A
7	6	Relés (110V)
8	6	Socket para Relés
9	1	Cable PLC-PC
10	1	Computador
12	30m	Cable de Termocupla tipo K

## 2.9 SELECCIÓN DEL TRANSMISOR DE PRESIÓN

Existe una diversidad de transmisores de presión estos se clasifican en transmisores de presión absoluta o diferencial pero para el desarrollo de este proyecto se ha optado por un transmisor Diferencial de Presión.

### 2.9.1 IDENTIFICACION DEL TRANSMISOR

Existe una diversidad de gama de Transmisores de presión y se diferencian en su rango de operación, tipo de presión que sensan, y protocolo de comunicación.



Figura 2-7 Familia de Transmisores de Presión

La serie de transmisores de Foxboro nos ofrece una amplia gama de transmisores para diversas aplicaciones pero para este proyecto se utilizó un Transmisor Diferencial de Presión.

Para seleccionar el transmisor se debe revisar varias condiciones de funcionamiento, con la ayuda de un catálogo se procede a la selección del transmisor que cumpla los requerimientos adecuados, alimentación eléctrica de 24VDC, una señal de transmisión de 4 a 20mA, cumpla en rango de operación del horno, se adapte al ambiente de trabajo, para ello se utilizó los datos del modelo del transmisor.

## 2.9.2 DATOS DE PLACA

Para identificar el tipo de transmisor es necesario conocer las características de la serie que se detallan en la Tabla 2-10.

### ***IDP10-abcdeF-f.***

**TABLA 2-10 PARÁMETROS DE IDENTIFICACIÓN DEL MODELO DEL TRANSMISOR DE PRESIÓN**

<b>a =</b>	Comunicación	A, D, F, T, V, M or P.
<b>b =</b>	Estructura	10 through 13, 16, 17, 20 through 27, 2G, 34, 35, 46 through 49, 78, 79, LL, LM, LC, LD, CC, CD, S1 through S6, SA through SF, F1, F2, F3 or F4.
<b>c =</b>	Span	A, B, C, D or E.
<b>d =</b>	Conectores al proceso	0, 1, 2, 3, 4, 6 or 7.
<b>e =</b>	Conduit connection and housing material	1 or 3.
<b>f =</b>	Rangos Optativos	1 through 5, FA through FH, FJ through FM, R1 through R9, RA through RH, RJ through RN, RP, RQ, RR, RT, RY, M1, M2, L1, L2, D1 through D8, S1

Para esta aplicación se utiliza el siguiente transmisor diferencial de presión:

**IDP10-A22A01F-M1**



Figura 2-8 Transmisor Diferencial de Presión

### 2.9.3 CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO

Las características del transmisor se detallan en la tabla 2-1, y los límites de operación se resumen en la Tabla 2-12

TABLA 2-11 GENERALIDADES DEL TRANSMISOR DIFERENCIAL DE PRESIÓN.

CARACTERÍSTICAS	LÍMITES DE OPERACIÓN
Cuerpo del Sensor Temperature <sup>(a)</sup> Silicone Fill Fluid Fluorinert Fill Fluid	-46 and +121°C (-50 and +250°F) -29 and +121°C (-20 and +250°F) -7 and +82°C (20 and 180°F)
Temperatura de operation With LCD Display	-40 and +85°C (-40 and +185°F) -40 and +85°C (-40 and +185°F)
Humedad relativa	0 and 100%
Alimentación de Voltaje	11.5 and 42 V dc
Carga de Salida	0 and 1450 ohms
Posición de Montaje	No Limit
Vibración	6.3 mm (0.25 in) doble amplitud desde 5 to 15 Hz con alojamiento de aluminio desde 5 to 9 Hz con 316 ss.

Fuente Catalogo de Transmisores de presión diferencial FOXBORO

**TABLA 2-12 LÍMITES DE PRESIÓN DE TRABAJO DEL TRANSMISOR DIFERENCIAL DE PRESIÓN**

<b>Span Limit Code</b>	<b>Span Limits <math>\Delta P</math></b>	<b>Range Limits <math>\Delta P^{(a)}</math></b>
A	0.12 and 7.5 kPa 0.5 and 30 inH <sub>2</sub> O 12 and 750 mmH <sub>2</sub> O	-7.5 and +7.5 kPa -30 and +30 inH <sub>2</sub> O -750 and +750 mmH <sub>2</sub> O
B	0.87 and 50 kPa 3.5 and 200 inH <sub>2</sub> O 87 and 5000 mmH <sub>2</sub> O	-50 and +50 kPa -200 and +200 inH <sub>2</sub> O -5000 and +5000 mmH <sub>2</sub> O
C	7.0 and 210 kPa 28 and 840 inH <sub>2</sub> O 2.3 and 69 ftH <sub>2</sub> O	-210 and +210 kPa -840 and +840 inH <sub>2</sub> O -69 and +69 ftH <sub>2</sub> O
D	0.07 and 2.1 MPa 10 and 300 psi 23 and 690 ftH <sub>2</sub> O	-0.21 and +2.1 MPa -30 and +300 psi -69 and +690 ftH <sub>2</sub> O
E	0.7 and 21 MPa 100 and 3000 psi	-0.21 and +21 MPa -30 and +3000 psi

Fuente Catalogo de Transmisores de presión diferencial FOXBORO

**SENSOR:** Silicone Oil (DC 200)

#### **MASA APROXIMADA**

Sin conexión al proceso	3.5 kg (7.8 lb)
Con Conexión al proceso	4.2 kg (9.2 lb)
Connectors 316 ss Housing	Add 1.1 kg (2.4 lb)
Con sello de presión	

#### **AJUSTE Y CALIBRACIÓN**

El transmisor responde en un tiempo normal de 1 segundo o este a su vez puede ser reajustado en 0,2,4,8, segundos lo que sea mayor, para una recuperación del 90% de un paso de entrada del 80%.

#### **SEÑAL DE SALIDA**

4 a 20 mA DC lineal, o de 4 a 20 mA CC raíz cuadrada, seleccionable por software, a nivel local configurable mediante pulsadores en el transmisor.

## CORRIENTE DE SUMINISTRO

Fuente de alimentación debe ser capaz de proporcionar 22 mA de corriente. Rizado de hasta 2 V pp (50/60/100/120 Hz) es tolerable, pero la tensión instantánea debe permanecer dentro del rango especificado.

## CONEXIONES ELÉCTRICAS A TIERRA

El transmisor está equipado con una conexión a tierra interno dentro del compartimiento de cableado de campo y de una conexión externa en la base de la carcasa de la electrónica.

## CONEXIÓN AL PROCESO

Los transmisores de presión IDP10 están conectados al proceso por un acople de 1/4 NPT o cualquiera de las conexiones al proceso opcionales.

Para la instalación es recomendable la utilización de un manifold de 3 vías, como lo sugiere el manual de instalación.

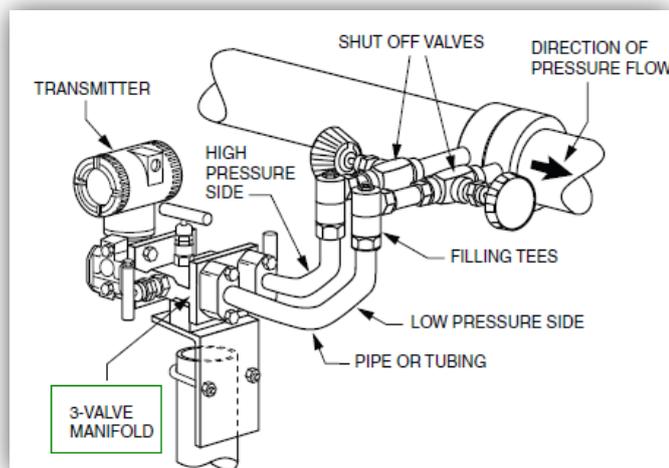


Figura 2-9 Esquema de conexión al proceso FUENTE Manual de instalación IDP10

En la tabla 2-13 se detalla la compatibilidad entre el tipo de transmisor y el manifold óptimo para la conexión al proceso.

**TABLA 2-13 TRANSMISORES Y MANIFOLD**

Transmitter Description		Manifold Models with Transmitter Structures		
Xmtr Model	Transmitter Mounting and Measurement (a)	Commodity Version with Direct Conn. Transmitters (b)	Standard Version with Traditional Structure	Standard Version with Low Profile Structure (c)
<b>I/A Series Electronic Pressure Transmitter Family</b>				
IAP10	Direct Connect - AP	1-Valve: M9 2-Valve: PTM	2-Valve: M25 PT7 PT7M	Not Applicable
IGP10	Direct Connect - GP			
IGP25	Direct Connect/ Multirange - GP			
IGP50	Direct Connect/ Premium Performance - GP			
IAP20	Bracket Mounted - AP	Not Applicable	2-Valve: M4AP M4TP	Not Applicable
IGP20	Bracket Mounted - GP			
IDP10	Bracket Mounted - DP	Not Applicable	3-Valve: M4A M4T 5-Valve: M6TA, M6T M24A M24T	3-Valve: MB3 5-Valve: MB5G MB5P
IDP25	Bracket Mounted/ Multirange - DP			
IDP50	Bracket Mounted/ Premium Performance - DP			
IMV25	Bracket Mounted/ Multivariable - P, DP, T	Not Applicable	3-Valve: M4A M4T 5-Valve: M6TA M6T M24A M24T	Not Applicable
IMV30	Bracket Mounted/ Multivariable P, DP, T			
IMV31	Bracket Mounted/ Multivariable TP, DP, T			

Para el transmisor diferencial de presión se utilizará el manifold M4T, en la figura 2-10 se muestra el manifold M4T y el diagrama esquemático de válvulas, y en la figura 2-11 se ilustra el proceso de instalación del manifold de 3 vías acoplado al transmisor.

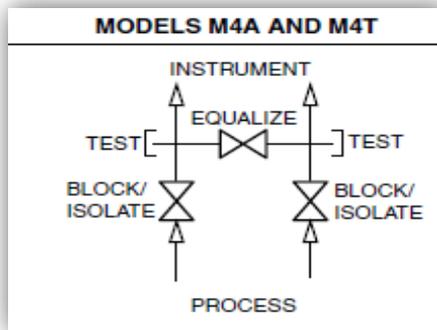


Figura 2-10 Diagrama esquemático y manifold M4T

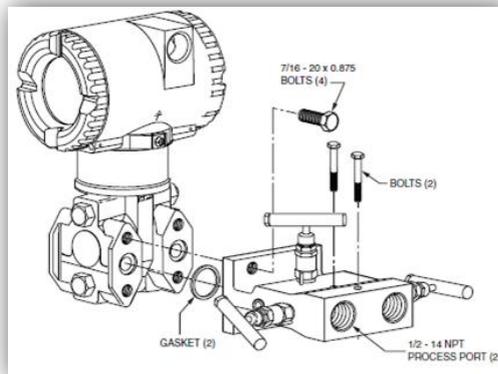


Figura 2-11 Montaje al proceso

## 2.10 SELECCIÓN DEL ACTUADOR ROTATORIO ELÉCTRICO

Existe en el mercado diversidad de actuadores eléctrico, pero se enfatiza en resaltar las características del Motor Modulador.

### 2.10.1 CARACTERÍSTICAS DEL MODUTROL

Las Series 72 Modutrol IV se utilizan para controlar dámper y válvulas. Los motores aceptan una corriente o voltaje desde un controlador para posicionar el dámper o válvula para abrirla o cerrarla.



Figura 2-12 Motor Modulador

De acuerdo al catálogo de productos de la marca HONEYWELL se selecciona el motor modutrol de la serie 72 que cumplirá con las características del proceso.

TABLA 2-14 ESPECIFICACIÓN PARA SELECCIONAR UN MOTOR MODULADOR

M Motor						
	<b>72</b>	<b>4-20mA o 2-10VDC Señal de Control</b>				
		<b>6</b>	--	35 lb-in No retorno por resorte		
		<b>7</b>	25lb-in Retorno por resorte	75 lb-in No retorno por resorte		
		<b>8</b>	<b>60lb-in Retorno por resorte</b>	<b>150lb-in No retorno por resorte</b>		
		<b>9</b>	--	300lb-in No retorno por resorte		
		<b>1</b>	Terminal Simple	No Retorno por Resorte		
		<b>2</b>		Normalmente cerrado Retorno por Resorte		
		<b>4</b>	<b>Doble Terminal</b>	<b>No Retorno por Resorte</b>		
		<b>5</b>		Normalmente Cerrado Retorno por Resorte		
		<b>6</b>		Normalmente Abierto Retorno por Resorte		
				<b>A</b>	<b>0 Contactos Auxiliares</b>	<b>Fixed Stroke</b>
			<b>B</b>	1 Contacto Auxiliar		
			<b>C</b>	2 Contactos Auxiliares	Fuerza Ajustable	
			<b>D</b>	0 Contactos Auxiliares		
			<b>F</b>	2 Contactos Auxiliares	Fixed Stroke	Normalmente Abierto
			<b>G</b>	0 Contactos Auxiliares		
			<b>L</b>	1 Contacto Auxiliar	Fuerza Ajustable	Normalmente Cerrado
			<b>Q</b>	2 Contactos Auxiliares	Fixed Stroke	
M	72	8	4	<b>A</b>	XXXX	

El dämper tiene peso aproximado de 50 Kg y de acuerdo a estas características el MOTOR Modulador Seleccionado es un MODUTROL IV 7284 A.

En la figura 2-13 se detalla el alcance en la rotación del motor Modutrol M7284.

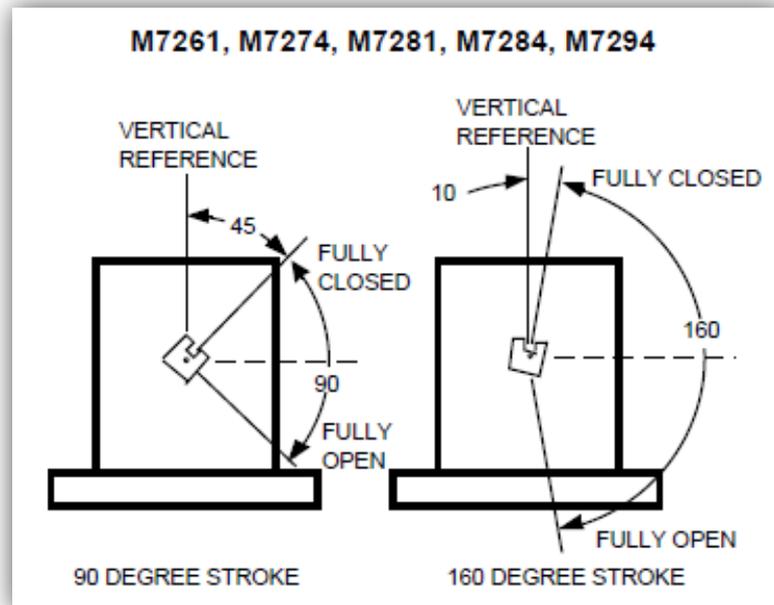


Figura 2-13 Angulo de recorrido del MODUTROL M7284

Este alcance permitirá que cuando el ángulo de giro sea cero el dámper estará cerrado y cuando el ángulo sea 90 grados el dámper estará abierto.

## 2.11 ELEMENTOS DE CONEXIÓN FÍSICA

Para la instalación y protección de los elementos de control se ha seleccionado un grupo de breakers de acuerdo a la corriente de trabajo y corriente máxima de sobrecarga.

Los elementos seleccionados se resumen en la Tabla 2-15

**TABLA 2-15 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN**

<b>ELEMENTO A PROTEGER</b>	<b>AMPERAJE</b>
Breaker Principal	10 A
PLC	2 A
Modutrol	1 A
Fuente Sitop	3 A
Entradas del PLC	1 A
Salidas del PLC	1 A
Transmisor Diferencial de Presión	1 A
Ventilador	1 A

## 2.12 REQUERIMIENTOS GENERALES DE HARDWARE

Una vez delimitado el proyecto y seleccionado los componentes principales para la instalación en la Tabla 2-16 se resume los requerimientos generales del Hardware.

**TABLA 2-16 HARDWARE UTILIZADO EN EL PROCESO**

<b>CANT</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
2	Pulsador Plano color verde 1NA + 1NC
1	Pulsador Plano color rojo 1NA + 1NC
1	Pulsadores hongo de PARADA DE EMERGENCIA 1NA + 1NC
2	Interruptor de tres posiciones, contacto con retención
2	LUZ VERDE INDICADORA Tensión operativa 110V
1	LUZ AMARILLA INDICADORA Tensión operativa 110V
1	LUZ ROJA INDICADORA Tensión operativa 110V
1	LICUADORA LUZ DE EMERGENCIA CAMSCO 110V ROJA
1	Transformador de marca General Electric de potencia de 1500VA voltaje de entrada 240/480 y en el secundario de 120/240 V
1	Fuente SITOP Voltaje de entrada 120V/230V y voltaje de salida 24V 5A
1	Switch ethernet
1	BREAKER DOMAE 2P 10A MG
6	BREAKER SCHNEIDER ELECTRIC C60N 1A 1 POLO RIEL
1	BREAKER SCHNEIDER ELECTRIC C60N 2A 1 POLO RIEL
1	BREAKER SCHNEIDER ELECTRIC C60N 3A 1 POLO RIEL
8	RUMC2AB1F7 RELE AUX.2NA+2NC 110V SCHNEIDER
8	RUZC2M BASE P/RELE 8T SCHNEIDER ELECTRIC
1	GABINETE BEAUCOP LIVIANO 60X40X20

<b>CANT</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
1	GABINETE BEAUCOP LIVIANO 30X30X16
1	GABINETE BEAUCOP LIVIANO 20X20X12
1	CAJA DE BORNEAS PARA RIEL DIM
200	CABLE FLEXIBLE 14
60	CABLE BLENDER 1 PAR 22 AWG
50	CABLE TERMOCUPLA TIPO K
1	RIEL DIM Y CANALETA PARA TABLERO
1	A-B AUT MICR 1100 16 I/O 10IN 24VDC, 6 RELAY OUT, DC
1	A-B AUT MICR 1200 MODULO ANALO 4 ENTRADAS ANALOGAS
1	A-B AUT MICR 1200 MODULO ANALO 4 SALIDAS ANALOGAS
1	A-B AUT MICR 1200 MOD TERMOPAR TERMOPAR/MV DE 4 CANALES

## **2.13 DISEÑO DEL SOFTWARE**

Diseñar los requerimientos de software dentro del sistema, incluye la asignación de variables lógicas para el almacenamiento de datos tanto para las entradas como para las salidas del proceso.

El software que se utiliza para la programación del PLC es el Rslogix 500.

### **2.13.1 ANÁLISIS DE ENTRADAS Y SALIDAS DEL SISTEMA**

En la Tabla 2-17 se especifica la asignación de las marcas que recogen los datos de entrada de las variables analógicas y digitales, las misma que se utilizan en el software RsLogix para el control, mientras que en la Tabla 2-18 se encuentra las marcas que activan las salidas del proceso.

TABLA 2-17 ASIGNACIÓN DE VARIABLES LÓGICAS PARA LAS ENTRADAS.

ENTRADAS	NOMBRE VARIABLE	TIPO	IN	MARCA	DESCRIPCIÓN
	Presión del Horno de Fundición	Analógica	I:1/0	N7:4	VARIABLE TDP
	Temperatura Melting	Analógica	I:2/0	N7:1	TEMP_MELTING
	Temperatura Casting	Analógica	I:2/1	N7:2	TEMP_CASTING
	Temperatura Ducto	Analógica	I:2/3	N7:3	TEMP_DUCTO
	Power On	Digital	I:0/0	B3:0/0	M_ON
	Power OFF	Digital	I:0/1	B3:0/1	M_OFF
	Selector Opción Automático	Digital	I:0/2	B3:0/2	M_AUTOMATICO
	Selector Opción Manual	Digital	I:0/3	B3:0/3	M_MANUAL
	Selector Compuerta ABIERTA	Digital	I:0/4	B3:0/4	M_ABRIR
	Selector Compuerta CERRADA	Digital	I:0/5	B3:0/5	M_CERRAR
	Pulsador Reset	Digital	I:0/6	B3:0/6	M_RESET
	PARO DE EMERGENCIA	Digital	I:0/7	B3:0/7	P_EMERG
Pulsador alarma Tundish	Digital	I:0/8	B3:0/14	P_STOP TUN	

TABLA 2-18 ASIGNACIÓN DE VARIABLES LÓGICAS PARA LAS SALIDAS.

ENTRADAS	NOMBRE VARIABLE	TIPO	OUT	MARCA	DESCRIPCIÓN
	LUZ ENCENDIDO	Digital	O:0/0	B3:0/0	LUZ ON
	LUZ MANUAL	Digital	O:0/1	B3:0/3	OPEN DAM
	DAMPER ABIERTO	Digital	O:0/1	B3:0/3	OPEN DAM
	FUN. AUTOMA.	Digital	O:0/2	B3:0/2	LUZ AUTO.
	ALARMA TUNDISH	Digital	O:0/3	B3:0/1	A TUNDISH
	COMPUERTA LATERAL ABIERTA	Digital	O:0/5	B3:0/4	OPEN_COM_ELECTRO
	LUZ COMP_LATERAL	Digital	O:0/5	B3:0/4	OPEN_COM_ELECTRO
	LUZ_EMER	Digital	O:0/4	B3:0/10	ACTI_A_EMERGE
	Motor Dámper	Analógica	O:3/0	PID	MODUTROL

### 2.13.2 SECUENCIA PRINCIPAL DEL PROGRAMA

El primer bloque es el que se refiere a la programación de las condiciones iniciales donde consta: la inicialización del PLC, adquisición del valor de presión del transmisor diferencial, secuencia de encendido, apagado, reset y funcionamiento manual, en esta última opción el dámper se abre 100%. El segundo bloque contiene el monitoreo de la temperatura de la cámara Melting, Casting y la temperatura del ducto de la chimenea para verificar la relación entre presión y temperatura.

El tercer bloque se refiere al control automático del dámper donde se hace un control de límites para la presión, mediante la ayuda de un algoritmo PID se compensa las caídas de presión, además se cuenta con un monitoreo de presión elevada que abre el dámper y la compuerta lateral en caso de emergencia. En el cuarto bloque se activa o desactiva la compuerta lateral, es decir se abre o se cierra, en el quinto bloque se activa la luz de emergencia cuando la presión del horno es elevada y la alarma del tundish. En el último bloque se verifica la temperatura de la colada analizando la temperatura del Tundish

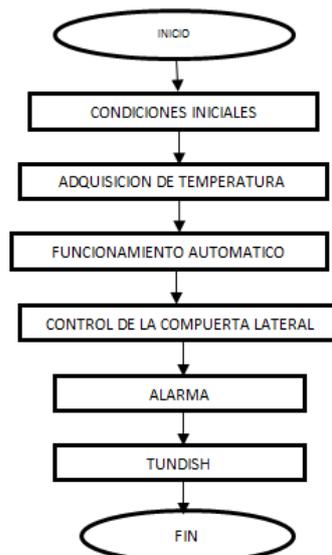
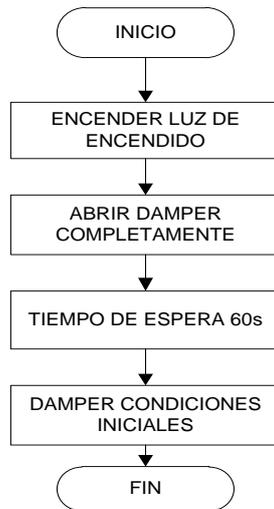


Figura 2-14 Secuencia Principal del Programa

## **PRIMER BLOQUE: CONTROL DE CONDICIONES INICIALES**

Esta primera parte del control es de mucha importancia por seguridad, ya que en el arranque de proceso es necesario monitorear el horno y que este cumpla con los requerimientos de nivel de presión y temperatura inicial para iniciar la producción. La Secuencia de control de condiciones iniciales establece los siguientes pasos:

1. Adquisición de los estados de entrada de los pulsadores
  2. Medición de la Presión del horno
  3. Secuencia de encendido: Apertura del dámper 100%, durante 60s tiempo de purga.
  4. Secuencia de apagado
  5. Secuencia de Reset
  6. Funcionamiento dámper manual.
- 
- Es importante asignara las marcas para el almacenamiento de los estados de los pulsadores de tablero de control.
  
  - El PLC adquiere la señal del transmisor y es almacenada en una variable entera que más adelante se utiliza para el control PID.
  
  - En la secuencia de encendido, es decir al pulsar el botón ON se encarga de abrir el dámper para que el ingreso de aire y eliminación de los residuos del interior del horno, en un tiempo de 60s.



**Figura 2-15 Secuencia de encendido del sistema**

- En la secuencia de apagado, cuando se pulsa el botón OFF, se cierra el dámper.
- Cuando se resetea las variables en el programa vuelven a las condiciones iniciales y se espera un tiempo de 20s para nuevamente encender el sistema.



**Figura 2-16 Secuencia de RESET**

- **Funcionamiento Manual**

Es muy importante abrir el dmper de forma manual, por ello al seleccionar la opci3n manual en el tablero principal el dmper se abre 100%, permitiendo el libre flujo de aire en la chimenea.

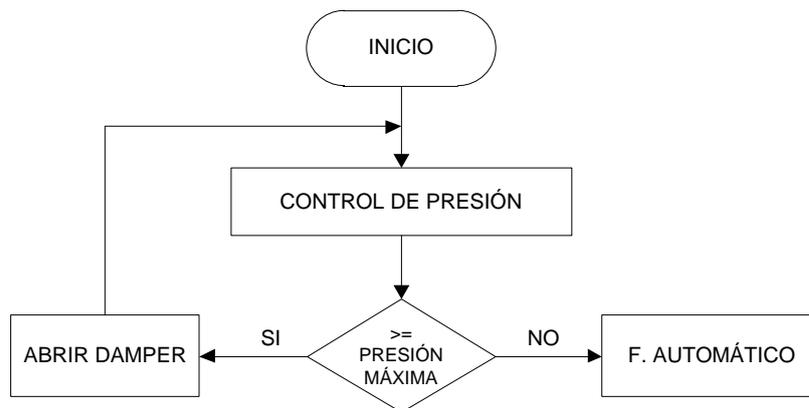
## **SEGUNDO BLOQUE: MONITOREO DE TEMPERTATURA**

Este bloque dentro del programa es de gran importancia para el desarrollo del proceso ya que para obtener una buena producci3n es necesaria la supervisi3n de la temperatura en el horno en la cámara Casting, Melting, en el Ducto de la chimenea y en la colada es decir en el tundish.

Si la temperatura excede los límites de trabajo se debe abrir la compuerta lateral para equilibrar el sistema.

## **TERCER BLOQUE: CONTROL AUTOMÁTICO DE PRESI3N EN EL HORNO**

El proceso de control de presi3n se encarga de mantener al horno en la presi3n 3ptima para el trabajo, la medici3n de la presi3n se realiza por medio del transmisor diferencial de presi3n, el valor medido se traslada a un algoritmo de control PID que compensa las caídas y subidas de presi3n en el horno de fundici3n. Si la presi3n de trabajo supera los 16 psi se activa la alarma de emergencia y permite que los gases fuguen al exterior ya que la compuerta lateral y el dmper se abren, hasta estabilizar la presi3n.



**Figura 2-17 Funcionamiento Dámper**

Si el valor no se estabiliza se debería abrir la compuerta lateral, y controlar el problema por parte del personal de producción y verificar fallas en los quemadores, cuando se estabilice se cerrará la compuerta lateral y se retomará el control automático.

#### **CUARTO BLOQUE: CONTROL DE LA COMPUERTA LATERAL**

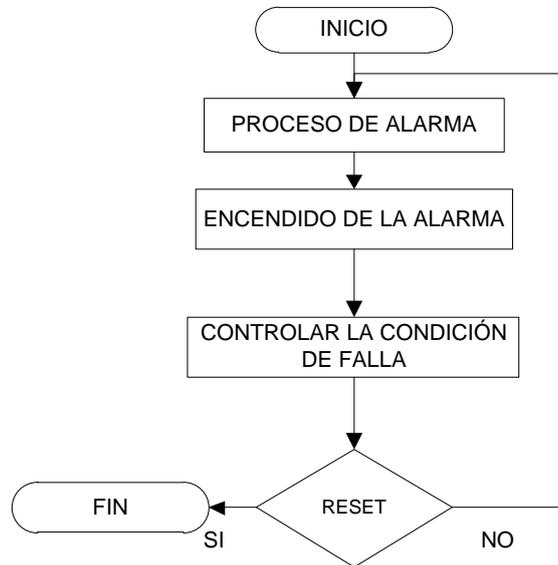
La función de la compuerta lateral es permitir la fuga de gases que se acumulan en el ducto y desestabilizan al sistema, los operadores supervisan el valor de temperatura de la colada si esta supera los 720 grados centígrados, manualmente abren la compuerta, pero con la implementación de este sistema de control, si la temperatura del ducto supera los 900 °C, se abrirá automáticamente y en casos de emergencia cuando la presión del horno supere el límite de trabajo se abrirá para estabilizar la presión.

#### **QUINTO BLOQUE: CONTROL DE ALARMAS**

Las alarmas se accionara en caso de:

- La presión del horno supere el límite de trabajo.
- Elevado nivel de temperatura en el proceso.

- Se encenderá una alarma visual



**Figura 2-18 Secuencia de control de Alarmas en emergencia**

Además se activa la alarma de Tundish cuando el nivel de la temperatura de la colada supera los 720 C y es inferior a 680 c, temperaturas que afectan la formación de los lingotes de aluminio.

## **SEXTO BLOQUE: CONTROL DE ALARMA TUNDISH**

Verifica la señal obtenida de la termocupla del tundish y valida si la temperatura supera los 720 C o es inferior a la temperatura de los 680C.

## **CONSIDERACIONES ESPECIALES**

### **Luces Indicadoras**

- Luz indicadora amarilla encendido.- Indica que el sistema está en funcionamiento y se está midiendo el valor de presión del horno de fundición.

- Luz indicadora verde funcionamiento automático.- Indica que el sistema está funcionando automáticamente así que el motor modulador está regulando la posición del dámper de acuerdo al valor de presión censado por el horno.
- Luz indicadora roja funcionamiento manual.- Indica que el sistema está en funcionamiento manual, es decir el operador abre 100% el dámper.
- Luz indicadora verde compuerta lateral Abierta completamente.
- Luz de emergencia, ilumina cuando el sistema de seguridad detecta presión elevada del horno de fundición.
- Luz de indicadora verde ilumina cuando la temperatura de la colada es menor o mayor a los límites de trabajo.

## **2.14 ADQUISICIÓN DE EQUIPOS**

En lo referente a la adquisición de los equipos se debe tomar en consideración la lista de proveedores de la empresa consultar si estos disponen el equipo que cumple las características para la implementación del proyecto.

### **2.14.1 COTIZACIÓN**

Para el proyecto se realizó la cotización de los equipos en dos partes principales.

Una la que intervienen todos los elementos de automatización: PLC, motor modutrol, protecciones (parte eléctrica); y otra la parte de la construcción del dámper. Posteriormente se realizaron cotizaciones individuales de los demás elementos requeridos para el montaje del tablero de control.

### ***Cotización parte eléctrica***

Para la parte eléctrica y considerando que la marca predominante en equipos dentro de la fábrica es Allen Bradley se hizo una cotización al proveedor en Ecuador LA LLAVE, que entrego el PLC y los módulos de entrada y salida analógicos y de termopar en el plazo acordado. El resto de implementos eléctricos fue cubierto por REEDYOR proveedor de la empresa.

### ***Cotización parte mecánica***

En lo que se refiere a la parte mecánica la construcción del dámper, desmontaje de la chimenea estuvo a cargo de INGESIM, cuyo representante es el Ing. Oviedo.

## **2.14.2 COSTOS**

Se detalla a continuación en forma general los precios de los equipos adquiridos para la ejecución del proyecto, tanto el listado de los elementos mecánicos y eléctricos, para determinar el costo de inversión inicial.

**PROYECTO AUTOMATIZACIÓN DEL CONTROL DE PRESIÓN DEL  
HORNO DE FUNDICIÓN DE ALUMINIO**

**TABLA 2-19 LISTADO DE ELEMENTOS DE CONTROL ELÉCTRICO**

<b>N.-</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>PRECIO TOTAL</b>
2	Pulsador Plano color verde 1NA + 1NC	15,53	31,06
1	Pulsador Plano color rojo 1NA + 1NC	15,53	15,53
1	Pulsadores hongo de PARADA DE EMERGENCIA 1NA + 1NC	36,25	36,25
2	Interruptor de tres posiciones, contacto con retención	27,68	55,36
2	LUZ VERDE INDICADORA Tensión operativa 110V	15,66	31,32
1	LUZ AMARILLA INDICADORA Tensión operativa 110V	15,66	15,66
1	LUZ ROJA INDICADORA Tensión operativa 110V	15,66	15,66
1	LICUADORA LUZ DE EMERGENCIA CAMSCO 110V ROJA	23,64	23,64
1	Transformador de marca General Electric de potencia de 1500VA voltaje de entrada 240/480 y en el secundario de 120/240 V	537,6	537,6
1	Fuente SITOP Voltaje de entrada 120V/230V y voltaje de salida 24V 5ª	353,7	353,7
1	Switch ethernet industrial N-TRON® 304TX	30	30
1	BREAKER DOMAE 2P 10A MG	13,10	13,1
6	BREAKER SCHNEIDER ELECTRIC C60N 1A 1 POLO RIEL	21,309	127,854
1	BREAKER SCHNEIDER ELECTRIC C60N 2A 1 POLO RIEL	10,654	10,654
1	BREAKER SCHNEIDER ELECTRIC C60N 3A 1 POLO RIEL	10,654	10,654
8	RUMC2AB1F7 RELE AUX.2NA+2NC 110V SCHNEIDER	15,326	122,608
8	RUZC2M BASE P/RELE 8T SCHNEIDER ELECTRIC	4,778	38,224
1	GABINETE BEUCOP LIVIANO 60X40X20	42,95	42,95
1	GABINETE BEUCOP LIVIANO 30X30X16	30	29,76
1	GABINETE BEUCOP LIVIANO 20X20X12	18	18
1	CAJA DE BORNEAS PARA RIEL DIM	21	20,5
200	CABLE FLEXIBLE 14	0,432	86,4
60	CABLE BLENDER 1 PAR 22 AWG	0,35	21
50	CABLE TERMOCUPLA TIPO K	4,25	212,5
1	RIEL DIM Y CANALETA PARA TABLERO	20	20
1	A-B AUT MICR 1100 16 I/O 10IN 24VDC, 6 RELAY OUT, DC	657,44	657,44
1	A-B AUT MICR 1200 MODULO ANALO 4 ENTRADAS ANALOGAS	366,24	366,24
1	A-B AUT MICR 1200 MODULO ANALO 4 SALIDAS ANALOGAS	333,76	333,76
1	A-B AUT MICR 1200 MOD TERMOPAR TERMOPAR/MV DE 4 CANALES	511,84	511,84
<b>TOTAL</b>			<b>3789,26</b>

**PROYECTO AUTOMATIZACION DEL CONTROL DE PRESIÓN DEL  
HORNO DE FUNDICIÓN DE ALUMINIO**

**TABLA 2-20 LISTADO DE ELEMENTOS DE MONTAJE MECÁNICO**

<b>N.-</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>PRECIO TOTAL</b>
1	MANIFOLD TYPE M4T 3 VALVE BY PASS	556,33	556,33
2	TUBO AC 1/2" SCH40	3,7	7,4
3	CODO AC ROSCADO 1/2" POR 150 LBR	1,2	3,6
4	UNION AC ROSCADA 1/2" POR 150 LBR	1,2	4,8
4	UNIVERSAL AC ROSCADA 1/2" POR 150 LBR	3,5	14
2	VALV. COMPUERTA AC ROSCADA 1/2" POR 300 LBR	40	80
1	DESMONTAJE Y MONTAJE DE CHIMENEA PARA COLOCAR DAMPER PARA CONTROLA LA PRESIÓN EN EL HORNO DE FUNDICIÓN	2000	2000
<b>TOTAL</b>			<b>2666,13</b>

**TABLA 2-21 LISTADO DE ELEMENTOS ADQUIRIDOS POR CEDAL**

<b>N.-</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>PRECIO TOTAL</b>
1	TRANSMISOR DIFERENCIAL DE PRESIÓN IDP10-A22A01F-M1	2000	2000
1	TERMOCUPLA TIPO K	100	100
1	MOTOR MODULADOR M7284A	750	750
1	EQUIPO DEE INSTALACIÓN ELÉCTRICA	100	100
			<b>2950</b>

**TABLA 2-22 COSTO TOTAL FINAL DEL PROYECTO**

LISTADO DE ELEMENTOS DE CONTROL ELÉCTRICO	3789,26
LISTADO DE ELEMENTOS DE MONTAJE MECÁNICO	2666,13
LISTADO DE ELEMENTOS DE ELEMENTOS ADQUIRIDOS POR CEDAL	2950
<b>TOTAL</b>	<b>9405,39</b>

# **CAPÍTULO III**

## **3. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA**

Una vez definido el diseño del sistema de control de presión para el horno de fundición de Aluminio inicia la fase de implementación y montaje de los equipos, este capítulo detalla las tareas realizadas tanto en la parte mecánica como en la parte eléctrica, y una vez culminada la instalación inicia la fase de corrección de fallas y puesta en marcha.

### **3.1 MONTAJE MECÁNICO**

#### **3.1.1 CONSIDERACIONES PARA EL MONTAJE MECÁNICO**

Dentro de los aspectos más relevantes para la instalación de los equipos es necesario considerar la protección de los mismos, ya que estos estarán expuestos a altas temperaturas.

La instalación cumplirá un orden.

- Instalación del Dámper en la chimenea.
- Instalación del Transmisor Diferencial de Presión
- Instalación de Modutrol

#### **3.1.2 INSTALACIÓN DEL DÁMPER EN LA CHIMENEA**

El dámper es una compuerta mariposa colocada en la parte superior de la Chimenea del Horno de Fundición, fue necesario realizar una evaluación

previa de las condiciones de la chimenea antes de la construcción de un nuevo dámper.

### 3.1.2.1 DESMONTAJE DEL EJE DÁMPER ANTIGUO

Para ello se desmonto la Chimenea del horno realizando un corte transversal, al ducto de la chimenea



**Figura 3-1 Supervisión de estado de la chimenea y evaluación del dámper antiguo.**

Una vez desmontada la chimenea se encontró que el dámper antiguo no existía (Figura 3-2), razón por la cual se procedió a remover el eje del dámper que se encontraba acoplado a la chimenea para la construcción de un nuevo dámper.



**Figura 3-2 Eje del dmper en la chimenea del horno**

El eje consta de tres partes, detallados en el plano de construcci3n adjunto en el anexo A.



**Figura 3-3 Eje Dmper antiguo**

### **3.1.2.2 FABRICACI3N DEL DMPER**

Verificadas las medidas del Dmper se procedi3 a la construcci3n, utilizando acero 316 (material seleccionado en el capítulo II), de acuerdo a las medidas especificadas en el plano de diseño detallado en el ANEXO A



**Figura 3-4 Construcción del Dámper**

### **3.1.2.3 FABRICACIÓN DEL ACOPLER PARA EL MODUTROL**

Para la transmisión de movimiento se construyó un brazo impulsor que va sujetado al eje, y utilizando un mecanismo doble balancín permite el movimiento del dámper.



**Figura 3-5 Acople Dámper al Modutrol**

#### 3.1.2.4 INSTALACIÓN DEL DÁMPER EN LA CHIMENEA

Para la instalación en la chimenea se colocó las respectivas seguridades entre el eje y el dämper (Figura 3-6).



**Figura 3-6 Posición adecuada para colocar la chaveta de ajuste Fuente CEDAL proceso de instalación**

Una vez sujetado el dämper se procedió al ajuste de las bridas exteriores en la chimenea (Figura 3-7).



**Figura 3-7 Ajuste de las bridas exteriores Fuente CEDAL proceso de instalación**

Finalmente se verifica la instalación moviendo manualmente al dámper por medio del acople.



**Figura 3-8 Dámper posición abierta Fuente CEDAL proceso de instalación**

Una vez verificada la seguridad en la instalación del dámper se procedió a cerrar la chimenea



**Figura 3-9 Sellando La Chimenea Fuente CEDAL proceso de instalación**

### 3.1.3 INSTALACIÓN DEL TRANSMISOR DIFERENCIAL DE PRESIÓN<sup>14</sup>

#### 3.1.3.1 INSTALACIÓN DE LA TUBERÍA ENTRE EL HORNO Y EL TDP

Para instalar el transmisor diferencial de presión se debe colocar una tubería en la parte superior del horno, la tubería colocada es de 1/2in de tubería negra por esta tubería circulan los gases para llegar al transmisor diferencial de presión.



**Figura 3-10 Instalación de la tubería para captar la presión del horno de fundición.**

La finalidad de esta tubería es captar la presión interna en el horno de fundición de aluminio. Para evitar fugas de calor se agregó una cubierta de lana de vidrio alrededor de la toma.

<sup>14</sup> Manual de instrucciones universal Transmisores de presión I/A Series® Modelos IAP10, IAP20, IGP10, IGP20 e IDP10 FOXBORO

### 3.1.3.2 MONTAJE DEL TRANSMISOR DIFERENCIAL DE PRESIÓN

Para proteger al transmisor de presión del polvo y residuos de viruta que se acumulan en el área de instalación de este, se coloca una caja de protección, adicionalmente para la instalación de este equipo fue necesaria la construcción de una base de apoyo.

El diagrama de tuberías desde el horno de fundición hasta el transmisor diferencial de presión (TDP) se detalla en la figura 3-11.

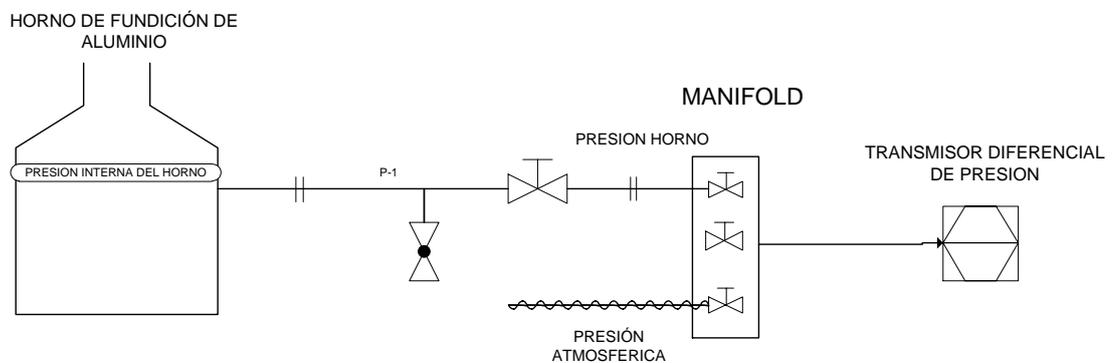


Figura 3-11 Tubería y accesorios utilizados en la instalación

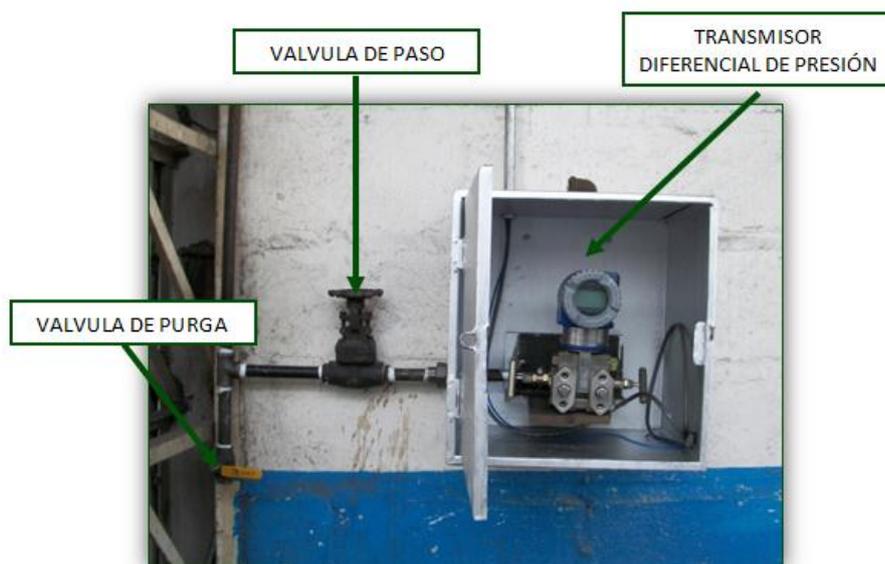


Figura 3-12 Instalación del transmisor diferencial de presión

### 3.1.4 INSTALACIÓN DEL MOTOR MODUTROL

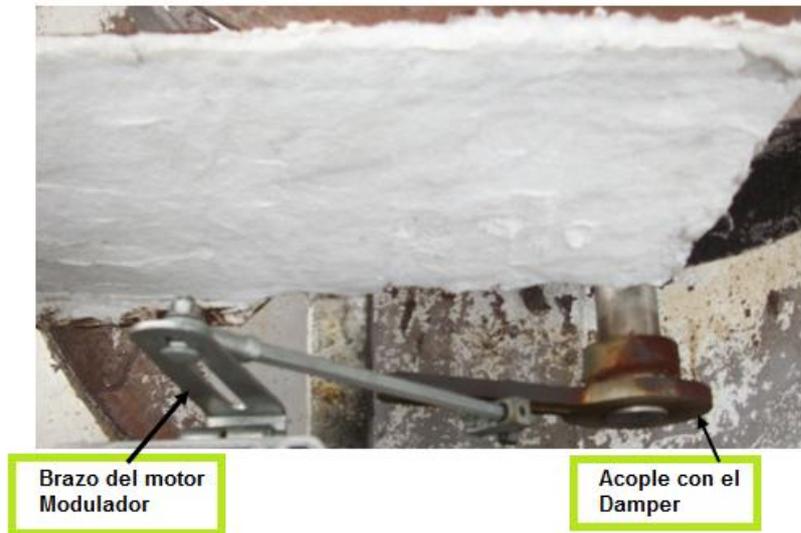
El motor modulador es el que controla la posición del dámper, este instrumento va estar expuesto directamente a la temperatura de la chimenea razón por la cual se debe construir una barrera de aislamiento que permite alargar la vida útil del equipo.

- Una vez fijada la posición exacta del Modutrol se procede a colocar la barrera de aislamiento de temperatura y a soldar la base sobre la cual descansara el motor Modutrol.



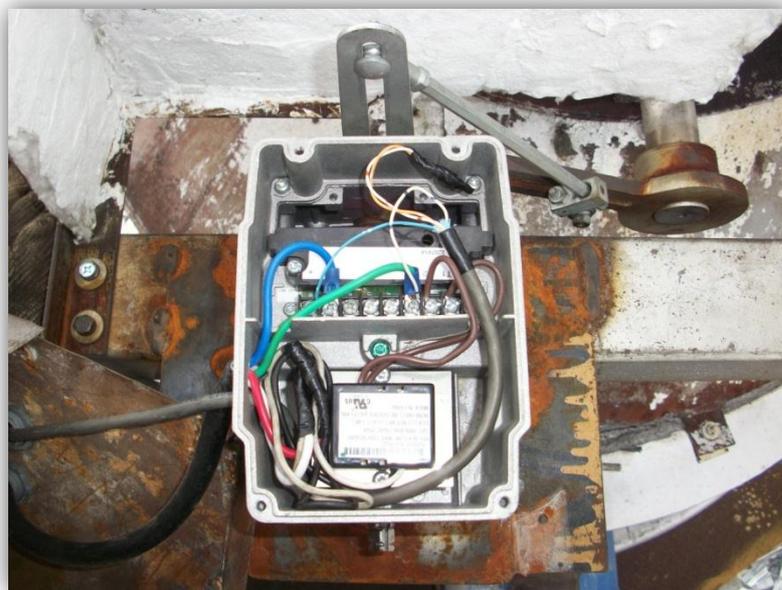
**Figura 3-13 Colocación de la barrera de aislamiento de calor**

- Conectar los eslabones entre el Modutrol y el dámper para la transmisión de movimiento, cabe recordar que la calibración de la posición óptima para el control se la realiza cambiando la distancia entre el impulsor y el seguidor que es el acople directo del dámper.



**Figura 3-14 Mecanismo de funcionamiento del Motor Modulador**

- Una vez verificada la posición de los eslabones se procede al cableado eléctrico que se detallara más adelante.



**Figura 3-15 Cableado eléctrico del Modutrol. Fuente CEDAL proceso de instalación**

- Cubrir al Modutrol para evitar el ingreso de materiales extraños y agua, de esta manera proteger al equipo de los cambios climáticos y del calor aislándolo con una barrera de lana de vidrio. (Figura 3-16).



**Figura 3-16**Cubierta del Modutrol.

La instalación se realizó con éxito.



**Figura 3-17** Montaje final del Motor Modutrol para controlar la posición del dámper Fuente CEDAL proceso de instalación

## **3.2 MONTAJE ELÉCTRICO**

### **3.2.1 CONSIDERACIONES PARA EL MONTAJE ELÉCTRICO**

Para el desarrollo de este proyecto el cableado eléctrico cumple un papel importante, ya que gracias a un buen trabajo se obtendrán buenos resultados.

Se ha dividido en cuatro fases.

- Definir la alimentación principal y puesta a tierra
- Cableado del tablero de control
- Cableado del Transmisor Diferencial de Presión
- Cableado de las señales de las Termocuplas.

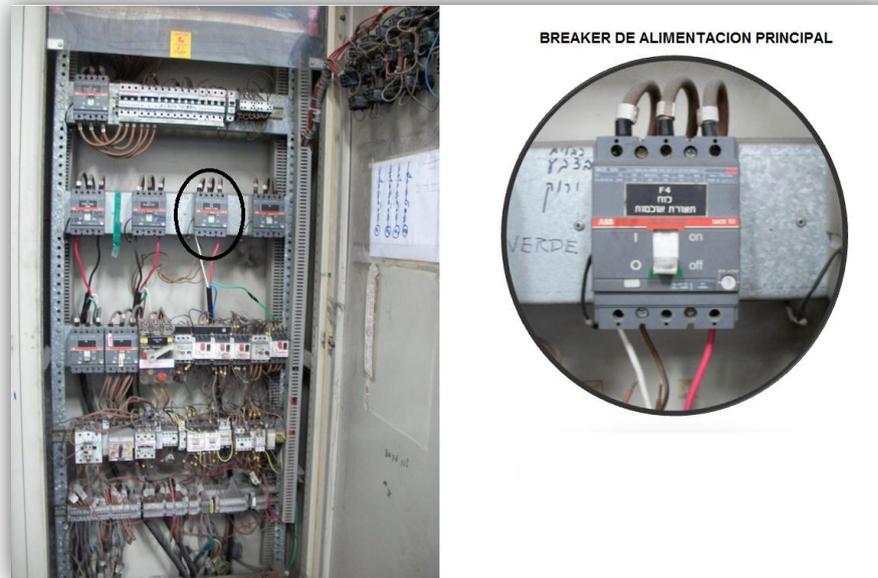
### **3.2.2 ALIMENTACIÓN PRINCIPAL Y PUESTA A TIERRA.**

La alimentación principal del tablero de control de presión del horno de fundición de aluminio proviene del **TABLERO PRINCIPAL DE DISTRIBUCIÓN DE FUERZA DE LA PLANTA DE FUNDICIÓN.**



**Figura 3-18 Tablero principal de Distribución de Fuerza de la Planta De Fundición.**

En el tablero T400 el breaker principal es de 100 A y 440V.



**Figura 3-19 Break de alimentación principal para el tablero de control**

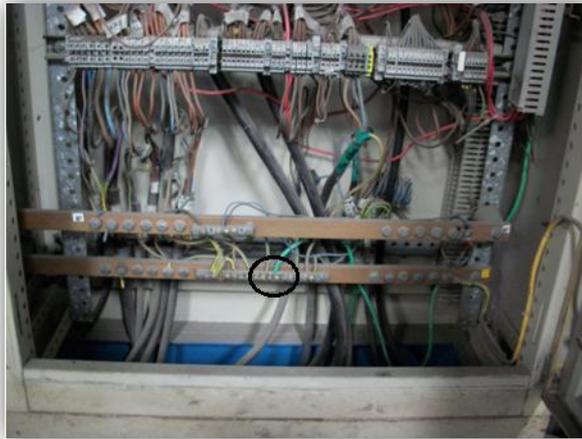
De ahí se dirige al lugar asignado para colocar el tablero de control de Presión en el horno de fundición (TCP001), el transformador se encuentra ubicado en el tablero pequeño junto al Tundish.



**Figura 3-20 Tablero del Transformador**

La configuración del transformador es de 440VAC a 120VAC, voltaje de trabajo de los elementos de control.

Para asegurar un buen sistema puesto a tierra se utilizó la tierra del tablero principal de distribución de fundición.



**Figura 3-21 Puesta a Tierra**

### **VENTAJAS DE LA INSTALACIÓN.**

- El Tablero de control de presión cuenta con una seguridad adicional ya que este tablero continúa energizado aun si hay un corte de energía por parte de la empresa eléctrica, motivo por el cual el control de presión es un sistema seguro.

### **3.2.3 TABLERO DE CONTROL**

Para el montaje eléctrico se dan algunas consideraciones generales de montaje y conexión, es decir, los distintos aparatos no deberán perturbarse mutuamente.

Los cables de alimentación y señales deben tener un tendido correcto. Evitar longitudes de cable innecesarias, de este modo se mantienen más pequeñas las capacitancias e inductancias de acoplamiento.

De acuerdo a la Figura 3-22 se procedió al montaje y ubicación de los elementos, comenzando con la ubicación del PLC: entradas y salidas; fuente; protecciones de la fuente; relés de interface, etc.

### TABLERO DE CONTROL DE PRESIÓN HORNO DE FUNDICIÓN

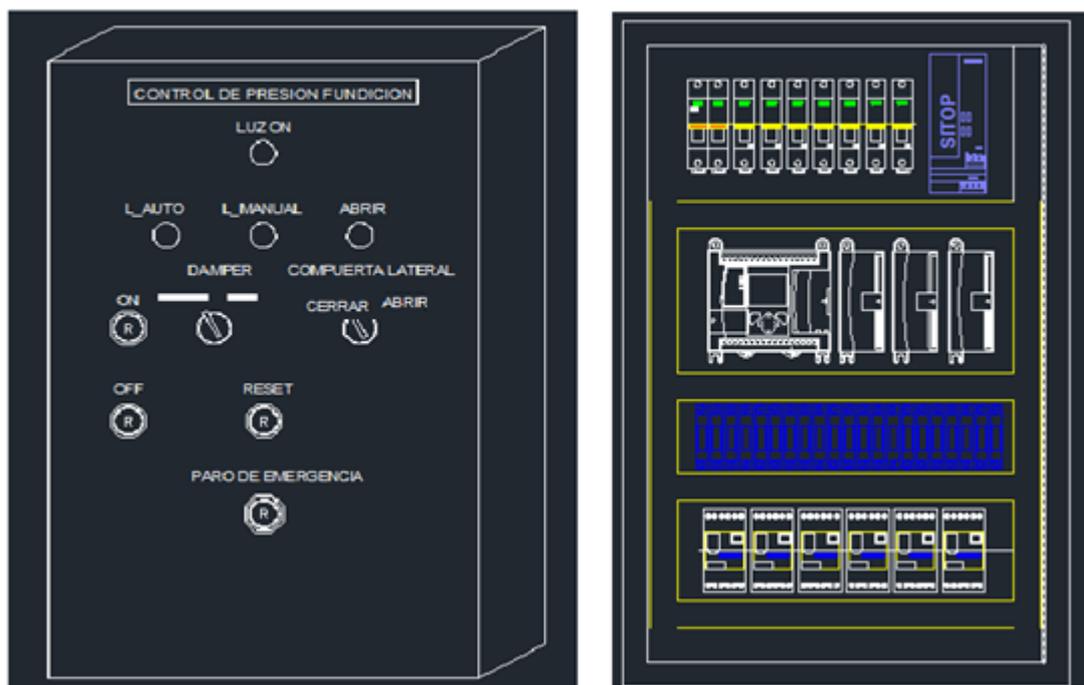


Figura 3-22 Distribución de Elementos en el tablero de control

El montaje y cableado del PLC se lo realizó de forma que quede espacio suficiente para el montaje y la disipación de calor de los módulos. En la figura 3-23 se puede apreciar el espacio libre necesario que se debe observar al instalar un PLC Micrologix 1100.

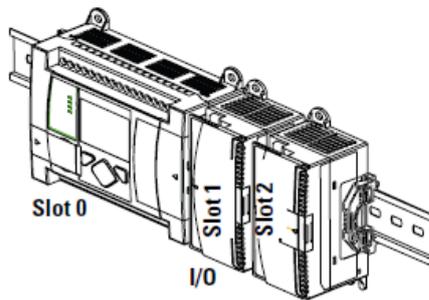


Figura 3-23 Sugerencia de instalación del PLC Micrologix 1100

### 3.2.3.1 ELEMENTOS DE CONEXIÓN FÍSICA

Para la alimentación a las bobinas de los relés se utiliza el cable No.14 AWG, entradas y salidas digitales del PLC. Para las señales analógicas se maneja cable blindado tipo malla (CABLE BLENDEN 4 PARES AWG #25).

Se colocó terminales de aluminio para los cables, estos ofrecen varias ventajas como : la simplificación del cableado y facilitan la conexión en la bornera, resistencia a las vibraciones, ausencia de deformación de los hilos flexibles, ahorro de tiempo en la ejecución y en la conexión.

La canaleta ranurada ayuda a la distribución de los cables dentro del armario, a más de mejorar la estética del mismo, las dimensiones de la canaleta utilizada es de 25x25 [mm]

El riel DIN permite la cómoda instalación de los componentes en el armario facilitando el reemplazo de los mismos si es necesario se puede utilizar varios tipos de riel DIN según la forma y la medida, para este proyecto se utilizó la riel DIN de 35 [mm].

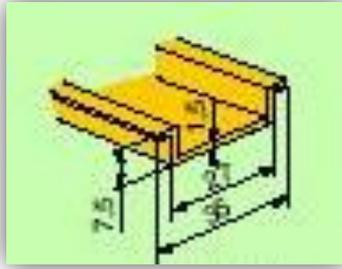


Figura 3-24 Riel DIM utilizado para la instalación.

El plano de las dimensiones y distribución del tablero de control se muestra en el Anexo B.

### 3.2.4 UBICACIÓN DEL TABLERO DE CONTROL

Una vez adquirido el tablero se procedió a la ubicación del mismo en el lugar asignado y la colocación de los pulsadores y luces indicadoras en el tablero que serán la guía para el operador.



Figura 3-25 Ubicación de los pulsadores y luces indicadoras en el tablero de control

### 3.2.5 CONEXIONES INTERNAS EN EL TABLERO DE CONTROL

Para la implementación de las conexiones internas se siguieron una serie de pasos.

- Distribución de espacios, para ello se ubicó de manera ordenada las canaletas y el riel DIN para posteriormente ubicar los elementos



Figura 3-26 Distribución de elementos

- Colocación y cableado del PLC micrologix 1100 y los módulos.



Figura 3-27 Colocación del PLC

- Cableado de entradas y salidas del proceso al tablero de control ubicado en la planta de fundición.

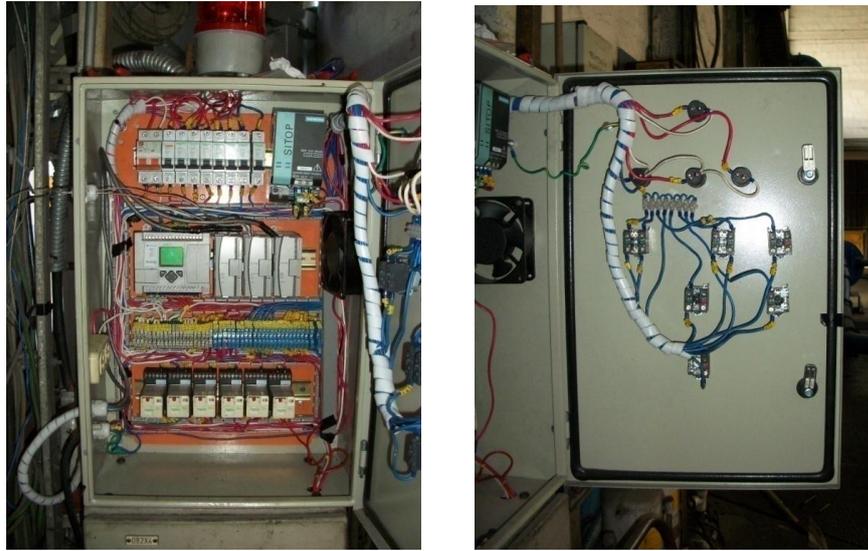


Figura 3-28 Cableado de Entrada y Salidas

### 3.2.6 CABLEADO DEL TRANSMISOR DIFERENCIAL DE PRESIÓN

Con la ayuda del manual de instalación del transmisor diferencial de presión se procedió a la conexión de los terminales hacia el PLC. Para acceder a los terminales de instalación, rosque el seguro de la tapa en la caja para dejar libre la tapa roscada y desmonte la tapa del compartimento de los terminales de instalación tal como se muestra en la figura 3-29. Tenga en cuenta que están grabadas las palabras **FIELD TERMINALS** (terminales de instalación) para identificar el compartimento correcto.

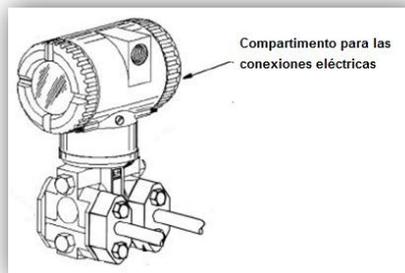
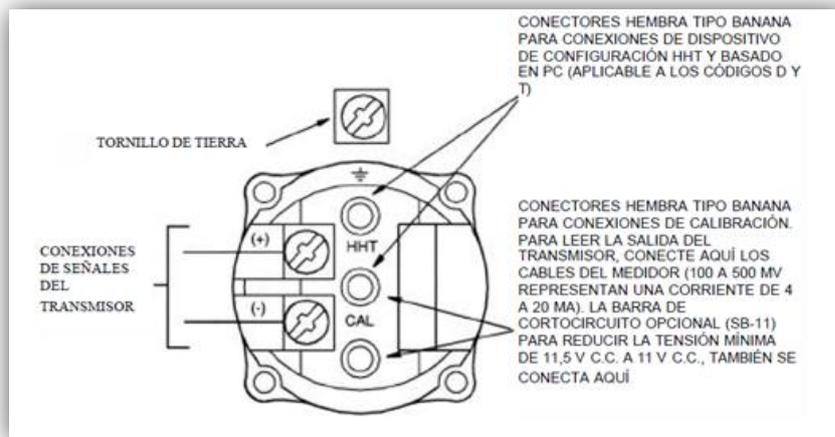


Figura 3-29 Compartimento de conexiones eléctricas del TDP

- **Señal de salida de 4 a 20 mA**

Los terminales de conexión en el transmisor son los que se muestran en la figura 3-30.

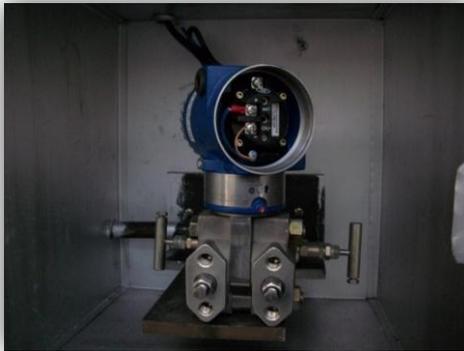


**FIGURA 3-30 Terminales de Instalación**

El transmisor está equipado con una conexión a tierra interna dentro del compartimento de cableado de instalación y con una conexión a tierra externa en la base de la caja de los componentes electrónicos.

Los cables de la fuente de alimentación y del lazo del receptor a las conexiones de los terminales "+" y "-" que se indican en la figura 3-31. El PLC esta en serie con la fuente de alimentación y el transmisor.

El dispositivo de configuración HHT no es aplicable a las versiones A, razón por la cual este transmisor no tiene comunicación HARD.



**Figura 3-31 Conexión del Transmisor Diferencial de Presión utilizado en el proceso**

### **3.2.7 CABLEADO DEL MODUTROL**

De acuerdo al manual de instalación y al plano eléctrico (Anexo C) es necesario realizar las conexiones del tablero de control al motor modulador. Para mantenimiento y control de fallas se instaló una caja de control en la parte superior del ducto.



**Figura 3-32 Tablero de Supervisión de cableado del Tablero al Modutrol**

Una vez instalado en la chimenea es necesario realizar las conexiones eléctricas en el motor Modutrol, se ilustra en la Figura 3-33.



Figura 3-33 Conexiones eléctrica motor Modutrol

### 3.2.8 CABLEADO DE LAS TERMOCUPLAS

Se realizó el cableado de las termocuplas colocadas en la cámara Melting, la cámara Casting, termocupla del ducto de la chimenea y tundish.



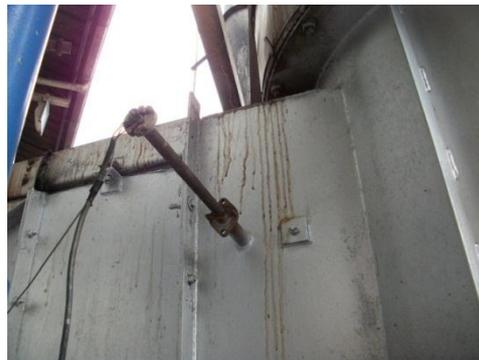
Figura 3-34 Termocuplas en el Horno de Fundición de Aluminio



**TERMOCUPLA MELTING**



**TERMOCUPLA CASTING**



**Termocupla ducto de la chimenea**



**Termocupla de la colada (Tundish)**

**Figura 3-35 Conexiones de Termocuplas Tipo k**

En el Modulo de Termocuplas las conexiones se las puede observar en la figura 3-36.

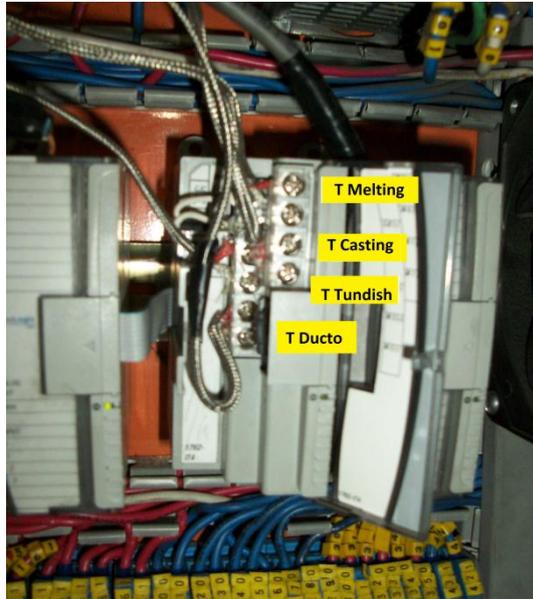


Figura 3-36 Conexión en el Modulo de Termocuplas

### 3.3 IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE

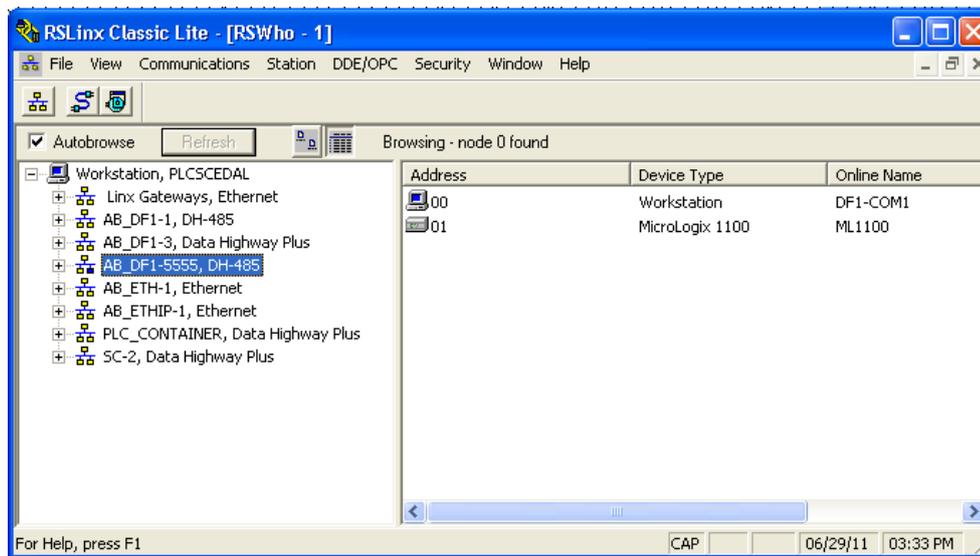
Para la implementación del programa de control en el PLC MicroLogix 1100, se realizaron varias actividades que serán especificados en el manual de usuario en el Anexo D.

#### 3.3.1 ESTABLECER COMUNICACIÓN

##### COMUNICACIÓN SERIAL

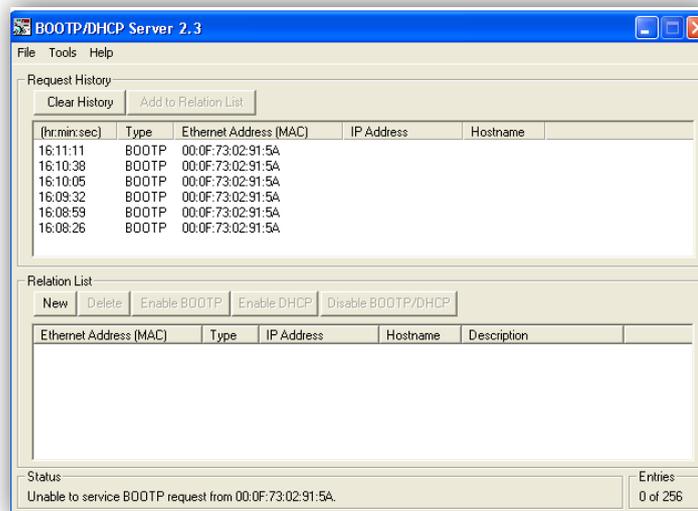
El primer paso fue establecer comunicación serial, ya que por medio de esta se asignó la dirección IP al PLC, para posteriormente iniciar la programación. En "RSLinx" se configura la comunicación serial del PLC.

CEDAL cuenta con licencias del paquete de programación de Allen Bradley y en el computador de la empresa se selecciona AB\_DF1-5555, DH485, para establecer la comunicación serial.



**Figura 3-37 Verificación de la comunicación serial del PLC Micrologix 1100**

Es necesario añadir una DIRECCIÓN IP AL PLC para entablar la comunicación ETHERNET. Con la ayuda de software BOOTP-DHCP Server, se asigna la dirección IP del PLC.



**Figura 3-38 BOOTP-DHCP Server**

De la lista que aparece se selecciona una dirección MAC, esta es una dirección Temporal para el PLC que para este caso es **1.1.1.94**, y el Hostname, **Fundi\_presion**.

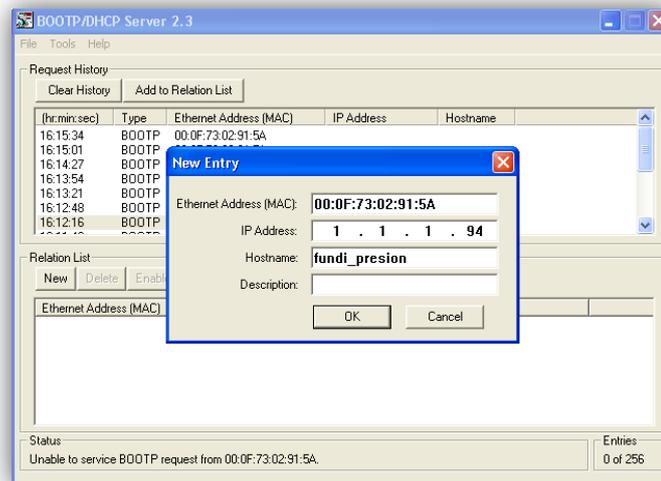


Figura 3-39 Asignación de la dirección IP mediante dirección MAC

Para descargar al PLC se presiona **ENABLE TO BOOT**

## COMUNICACIÓN POR ETHERNET

Para asignar definitivamente la dirección IP del PLC se utiliza RSLogix 500. Abrir RSLogix 500 seleccionar Micrologix 1100 serie B, referencia la figura 3-37.

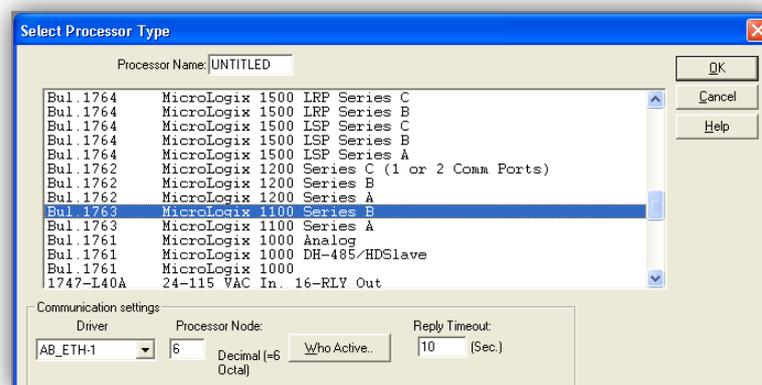


Figura 3-40 Ventana de selección de procesador

Para comunicar se debe seleccionar Channel Configuration, en la pestaña general, deshabilitar el cuadro de selección **BOOTP Enable**, y **digitar la dirección IP definitiva del PLC**

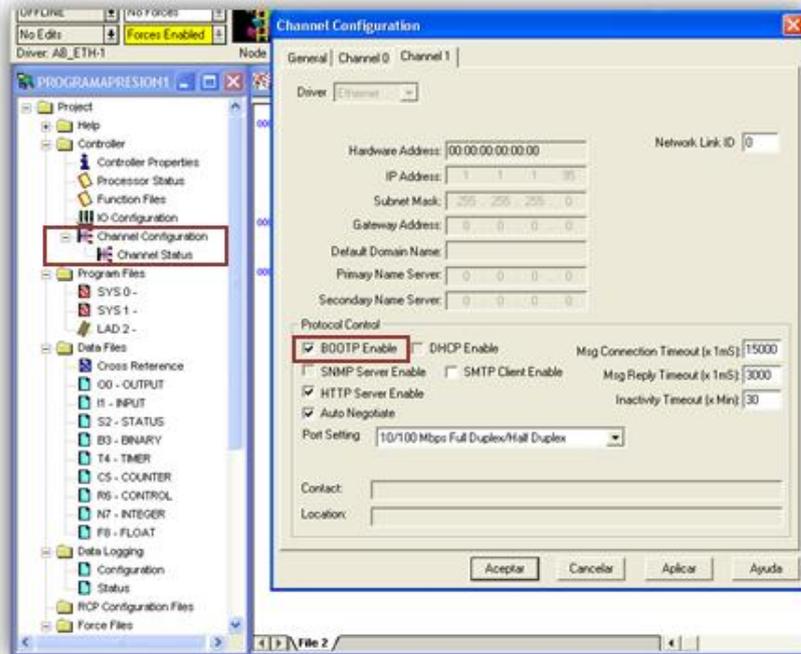


Figura 3-41 Configuración del canal de comunicación

La dirección IP del PLC para la aplicación Es **1.1.1.95** véase la Figura 3-43.

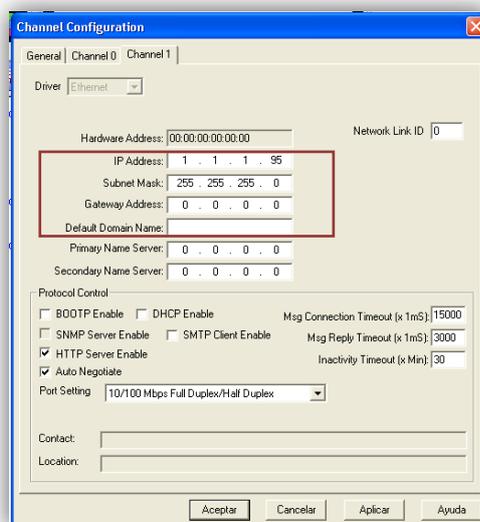


Figura 3-42 Asignación de la dirección IP

Se verifica la conexión en la pestaña Comms y se descarga un programa piloto.

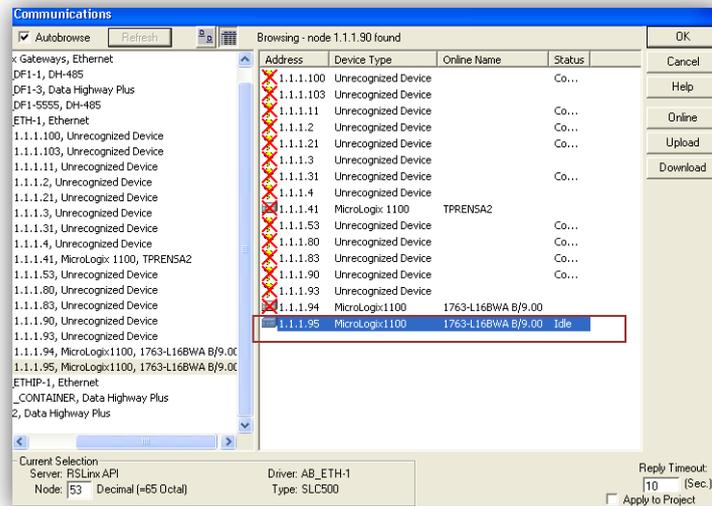


Figura 3-43 Verificación de la conexión

### 3.3.2 CONFIGURACIÓN DE LAS ENTRADAS Y SALIDAS

El PLC encargado de controlar la presión en el horno de fundición es el MicroLogix 1100 y se necesita un módulo de entradas analógicas, un módulo de termocuplas y un módulo de salidas analógicas.

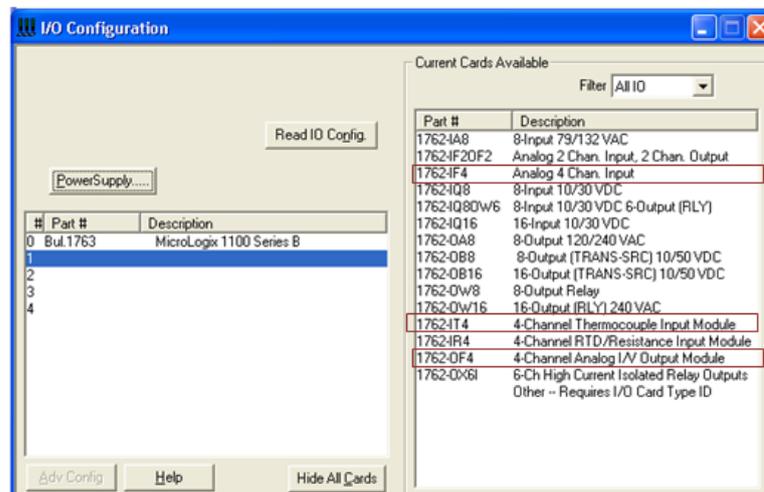


Figura 3-44 Lista de módulos de ampliación para el PLC MicroLogix 1100

A cada módulo es necesario configurar los canales y determinar el tipo de dato a ingresar, configurar la señal de entrada y los parámetros que se utilizan en la salida.

## CONFIGURACIÓN DEL MÓDULO DE ENTRADAS ANALÓGICAS

### 1762-IF4

El módulo de entradas analógicas es el encargado de recibir la señal del transmisor diferencial de presión que será la guía para el control de presión en el Horno de Fundición.

El canal 0 es al que se encuentra conectado el transmisor Diferencial de Presión, el formato de datos utilizado es Scaled for PID, y el tipo de entrada es de 4 a 20 mA, véase la figura

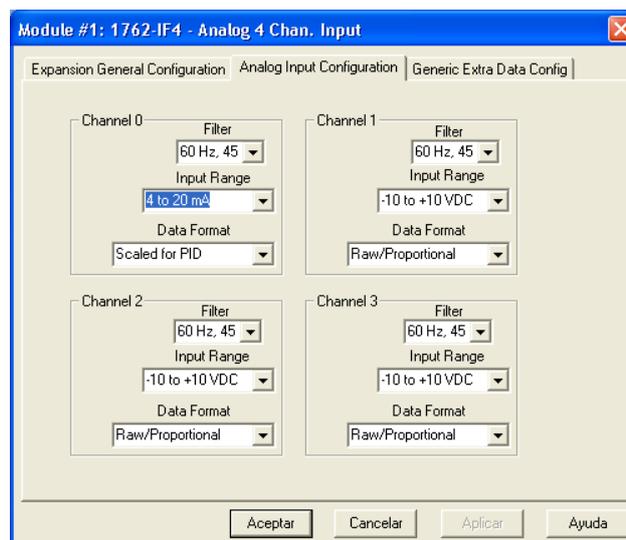


Figura 3-45 Configuración del módulo de entradas Analógicas.

## CONFIGURACIÓN DEL MÓDULO DE TERMOCUPLAS 1762-IT4

En el proyecto se necesita supervisar los valores de la temperatura de la cámara Melting, Casting, la temperatura del ducto y la temperatura de la colada para lo cual es necesario configurar el formato de dato y seleccionar el tipo de termocupla utilizada en la adquisición.

Para este proyecto la termocuplas utilizadas son de tipo K, y el formato de datos utilizado para la adquisición es el Engineering Units x10, circuito abierto en Zero.

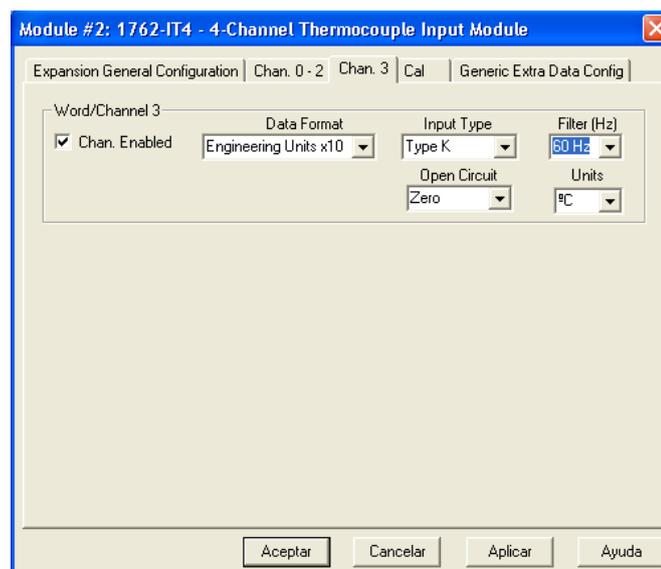
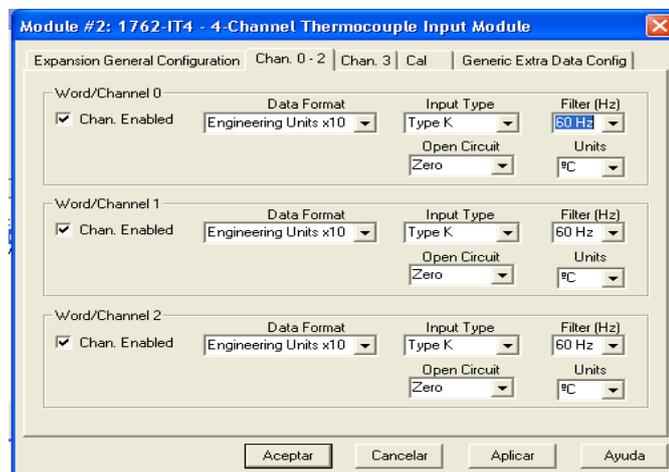


Figura 3-46 Configuración del módulo de entradas de termocupla

## CONFIGURACIÓN DEL MÓDULO DE SALIDAS ANALÓGICAS

### 1762-IO4

El módulo de salidas analógicas está conectado al motor Modutrol que trabaja de 4 a 20mA y el formato de datos utilizado es el Scale for PID.

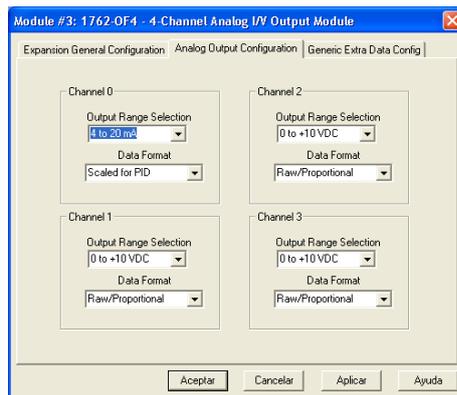


Figura 3-47 Configuración del módulo de salidas analógicas.

### 3.3.3 DESCARGAR

Una vez finalizado el programa de control se inicia la descarga para iniciar las diferentes pruebas del sistema. En modo REMOTE, presionar Download y en el cuadro de diálogo, presionar OK y listo para iniciar la fase de evaluación.

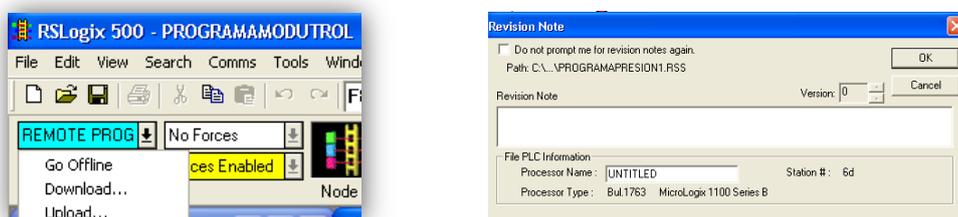


Figura 3-48 Ventanas de Descarga

Una vez descargado es importante estar en línea para monitorear el cambio en las variables.

# CAPÍTULO IV

## 4. PRUEBAS Y RESULTADOS

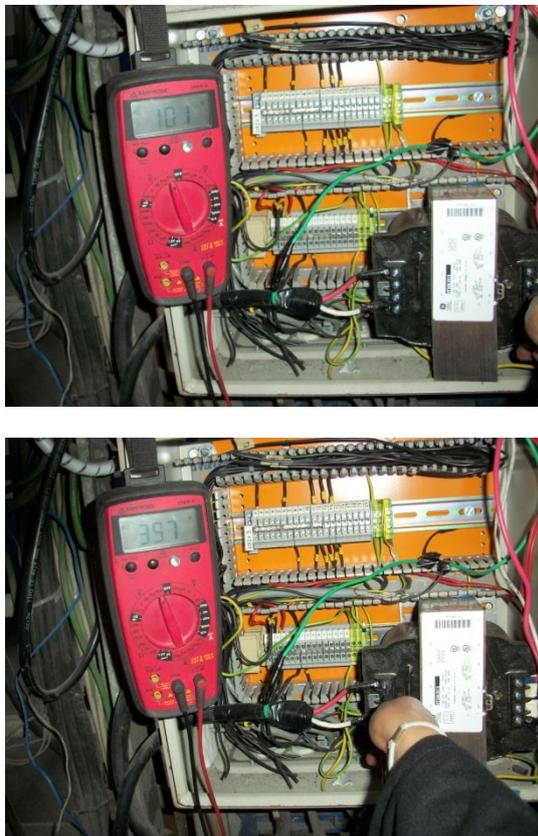
### 4.1 PRUEBAS A LAS CONEXIONES ELÉCTRICAS

Luego que el armario eléctrico se instaló en su sitio, se conectaron los pulsadores, los cables de alimentación entre el TDP y el Modutrol se realizaron las siguientes pruebas en la instalación:



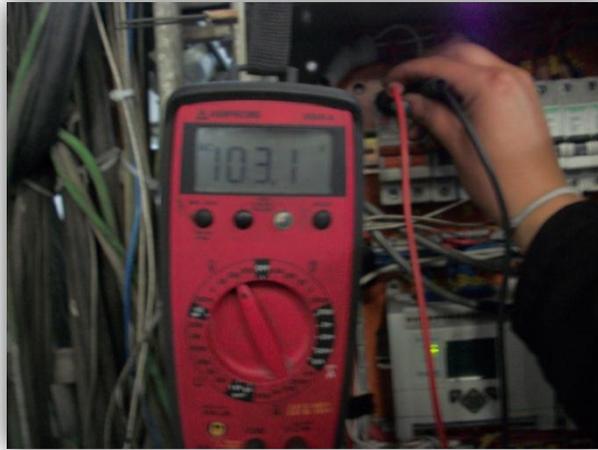
Figura 4-1 Tablero de control de Presión del Horno de Aluminio

- Con el uso de un multímetro, seleccionando la función continuidad y la ayuda de los planos eléctricos del proyecto (Anexo C) se revisó la interconexión de los elementos, tanto en el tablero de control como en la conexión de los pulsantes y la conexión de las entradas y salidas.
- Se alimentó con tensión al armario y con el uso de un multímetro se revisó los voltajes presentes en el tablero del transformador (Figura 4-1) y luego en el tablero de control.



**Figura 4-2 Medición de Voltajes a la Entrada y Salida del Transformador**

Los valores medidos en el transformador estaban dentro los valores permisibles, los mismos que son alrededor de 440 [V] AC para la entrada circuito de fuerza y 120 [V] AC que es el voltaje de alimentación del tablero de control.



**Figura 4-3 Verificación del voltaje de entrada al Tablero de Control**

Para las entradas del PLC y el funcionamiento del transmisor Diferencial de Presión se utilizó 24 [V] DC.



**Figura 4-4 Verificación de la fuente de 24 VDC**

## **4.2 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL PLC**

Comprobada la correcta instalación y con la seguridad de que no se presenten cortocircuitos que dañen los componentes, se procedió a realizar las siguientes pruebas de funcionamiento:

- Encender la alimentación principal del PLC, verificando su correcto funcionamiento.



**Figura 4-5 Encendido el PLC**

- Verificación de las entradas y salidas al PLC, para monitorear el estado de las entradas del PLC y su correcta conexión se procede a presionar cada botón, de esta manera se verificó que no existe inconveniente en la instalación, para las salidas el programa activa las salidas digitales de acuerdo a la necesidades de activación



**Figura 4-6 Entrada y Salidas del PLC en Ejecución**

- Verificación del módulo de entrada de termocuplas



Medida de la variación de temperatura del Horno de Fundición en la cámara Melting



Medida de la variación de temperatura del Horno de Fundición en la cámara Casting



Medida de la variación de temperatura en el ducto de la chimenea

**Figura 4-7 Lecturas del módulo de termocuplas.**

Se revisó los estados lógicos de la entradas /salidas digitales, y los valores en las entradas/salidas analógicas y de termocuplas, valores que han ayudado en la calibración adecuada del proceso.

### 4.3 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL TRANSMISOR DIFERENCIAL DE PRESIÓN

Una vez energizado todo el Tablero de control, el TDP sensing la primera presión diferencial cuando la presión del horno es igual a la presión atmosférica

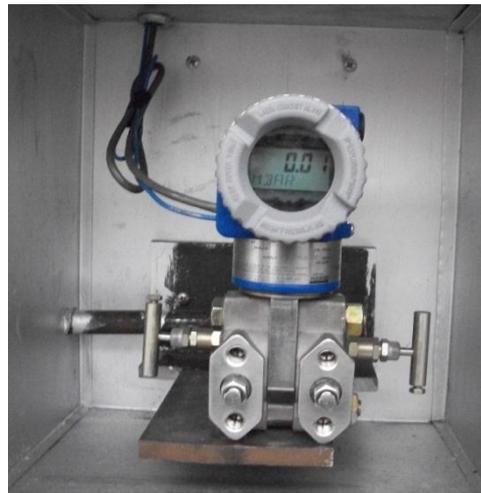


Figura 4-8 Primera Medición del transmisor diferencial de Presión.

Luego se setea la presión de funcionamiento del Horno en condiciones estables



Figura 4-9 Presión de Trabajo del Horno de Fundición.

#### 4.4 VERIFICACIÓN DEL ESTADO DEL DÁMPER Y CAMBIO DE POSICIÓN EN FUNCIÓN DE LA PRESIÓN

Se realizó una verificación de las condiciones del dámara en la chimenea, notándose que este no ha sufrido ningún daño y se encuentra en perfectas condiciones.



Figura 4-10 Dámara Posición Abierta y Posición Cerrada vista desde el ducto de la chimenea.

Para verificar la posición del dámara en el exterior se utiliza el indicador que es una guía para los operadores de la posición de trabajo.



Figura 4-11 Dámara en funcionamiento

#### 4.5 COMPUERTA LATERAL EN FUNCIONAMIENTO

Se distinguen dos estados, el primero es Cerrado cuando la temperatura del horno es baja y la presión es inestable. Abierta en casos donde la Temperatura del Ducto supere los 900 grados centígrados.



Figura 4-12 Funcionamiento Compuerta Lateral

#### 4.6 PRUEBAS EN EL PROCESO DE FUNDICIÓN

Con el funcionamiento total de la línea de producción, midiendo los valores de presión inicial registrados por el transmisor diferencial de presión, se procedió a realizar un periodo de evaluación y determinación de la influencia de las cargas en el horno y su afectación en la presión.

Se probó el funcionamiento del nuevo sistema de control en el modo de funcionamiento, Automático y Manual, verificando los cambios de comportamiento hasta finalmente llegar a la calibración final.

## **4.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **4.7.1 CARACTERÍSTICAS PRELIMINARES**

- Antes de la implementación del proyecto se registraba un presión en el horno de fundición de 14.7 psi y una temperatura promedio de 780 °C, razón por la cual alcanzar el punto de fusión del aluminio, tomaba más tiempo.
- Se registraba un promedio de escoria entre el 5,17%, porcentaje que depende directamente de la cantidad y tipo de chatarra ingresado al horno de fundición.

### **4.7.2 BENEFICIOS OBTENIDOS**

- Mantener la Presión en el horno de fundición en un rango de 15 psi a 16 psi y controlar los excesos de presión que pueden generar daños tanto en el horno como en el personal.
- Mantener la temperatura del horno de fundición de Aluminio entre los 770°C y 930 °C, reduciendo el tiempo de calentamiento del horno previo al arranque.
- Mantener la temperatura de la colada entre 680°C y 720°C evitando enfriamientos bruscos que pueden ocasionar paras en la producción cuando la temperatura es menor a 680 °C y consecuentemente

apagar el quemador casting cuando la temperatura supera los 720 °C, durante intervalos de tiempo que permite el ahorro de combustible.

- Al controlar la presión se logra mantener la temperatura y por lo tanto se optimiza el uso de los quemadores, disminuyendo el consumo de combustible.

#### **4.7.3 NIVEL DE MEDICIÓN DE ESCORIA ANTES Y DESPUÉS DE LA INSTALACIÓN DEL PROYECTO**

Para determinar los beneficios y la factibilidad del proyecto se realizó un estudio preliminar y una comparación de los niveles de producción y la escoria generada en el proceso de fundición.

Los meses considerados para el análisis son, marzo, julio, agosto y octubre que es el mes de evaluación de resultados. El mes de septiembre no es considerado para el análisis porque este mes registra mayor número de paras de producción debido a fallas en la maquinaria.

En la Tabla 4-1 se resume el total de chatarra ingresada al horno, la taza de escoria y el porcentaje que representa del total de chatarra, notándose que en el mes de octubre se registra una disminución de escoria que en los meses anteriores

Tabla 4-1 TOTAL DE KG DE CHATARRA VS KG DE ESCORIA

MES	TOTAL DE KG DE CHATARRA	PROMEDIO ESCORIA	%ESCORIA
MARZO	1177478,529	54740	4,64
JULIO	1010800,257	51240	5,07
AGOSTO	1153062	63880	5,54
OCTUBRE	1228733,361	62830	5,11
<b>Total General</b>	<b>4570074,146</b>	<b>232690</b>	<b>5,091602292</b>

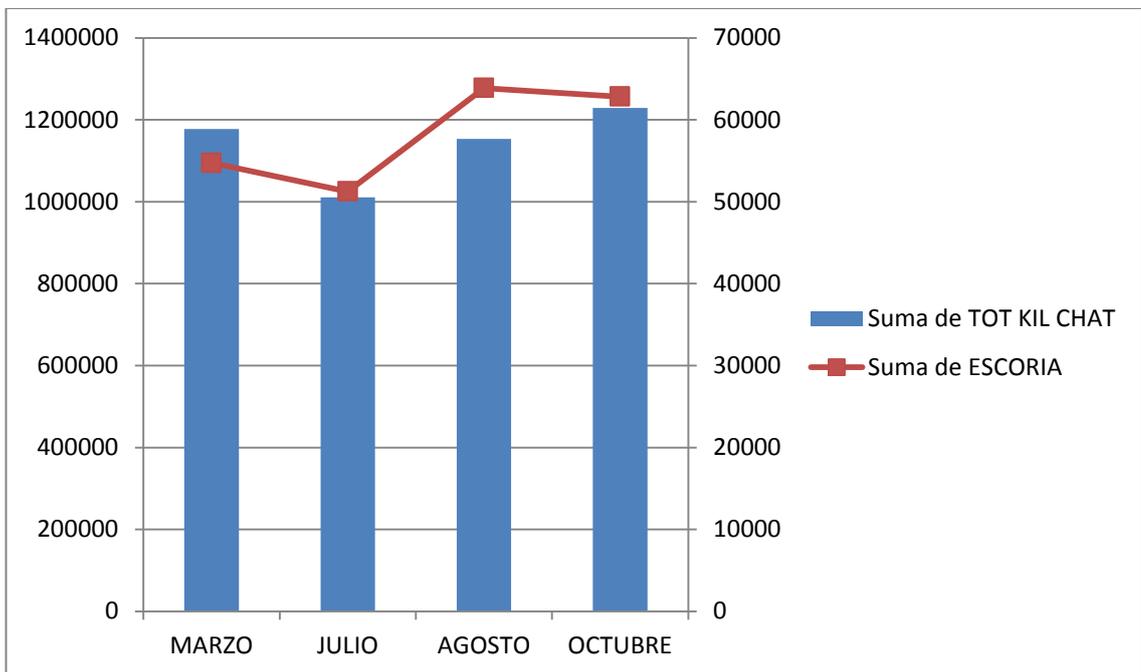
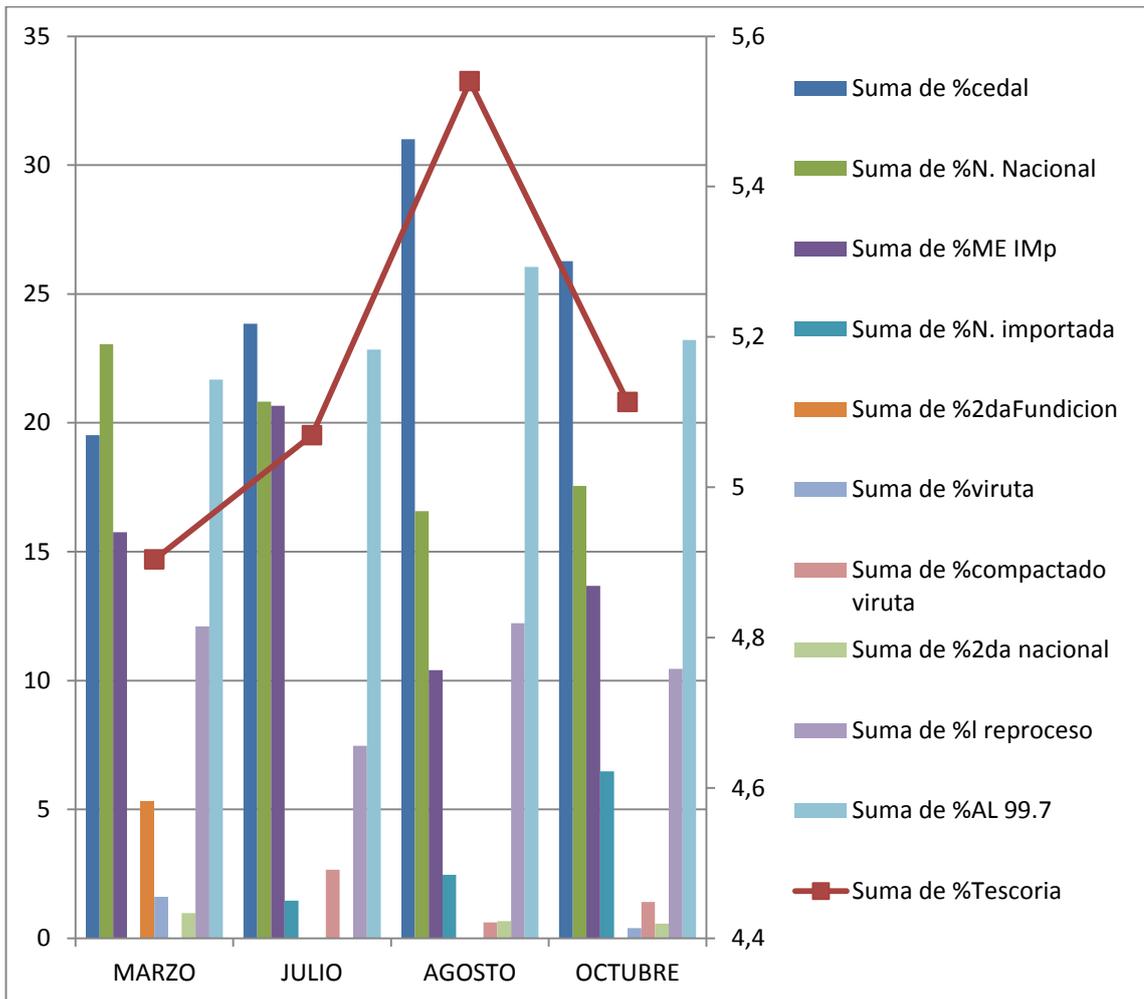


Figura 4-13 Grafico dinámico total de Kg de chatarra VS kg de escoria

Es necesario relacionar los datos desplegándolos en función del tipo de chatarra ingresado al horno e identificar la relación entre los diferentes tipos de chatarra que se ingresan al horno de fundición de aluminio y establecer diferencias entre chatarra blanca y chatarra negra, datos que se resumen en el grafico dinámico de la Figura 4-14.



**Figura 4-14 Gráfico dinámico Tipos de Chatarra VS Escoria.**

Evaluando el mes de marzo, abril, julio y agosto son meses de similar producción meses considerados para el análisis antes de la instalación del proyecto, donde se registra un promedio de 5.17% de escoria del total de chatarra.

En el mes de octubre existe un flujo de chatarra similar a los meses anteriores y se diferencia una disminución en la tasa de escoria ya que esta se ubica en el 5.11% considerando que el mes de octubre registra la mayor producción anual.

PROMEDIO: MARZO,JULIO,AGOSTO	5.17 %
PROMEDIO: OCTUBRE	<b>5.11%</b>
DISMINUCIÓN DE ESCORIA	<b>0.06%</b>
PROMEDIO DE TONELADAS	<b>1130 Toneladas</b>

Se obtiene una disminución del 0.06 %, si este valor se multiplica por el promedio de producción

$$1130 \text{ Toneladas} \times (0.06\%)$$

Representa 0, 678 Toneladas ahorradas de escoria, lo que se traduce en 678 Kg de aluminio aprovechadas para la fabricación de lingotes.

Si es costo del aluminio en el mercado de acuerdo a la LME DAILY OFFICIAL AND SETTLEMENT PRICES se ubica en 2500 \$ / TONN , esto se refleja en un ahorro de 1695 dólares al mes.

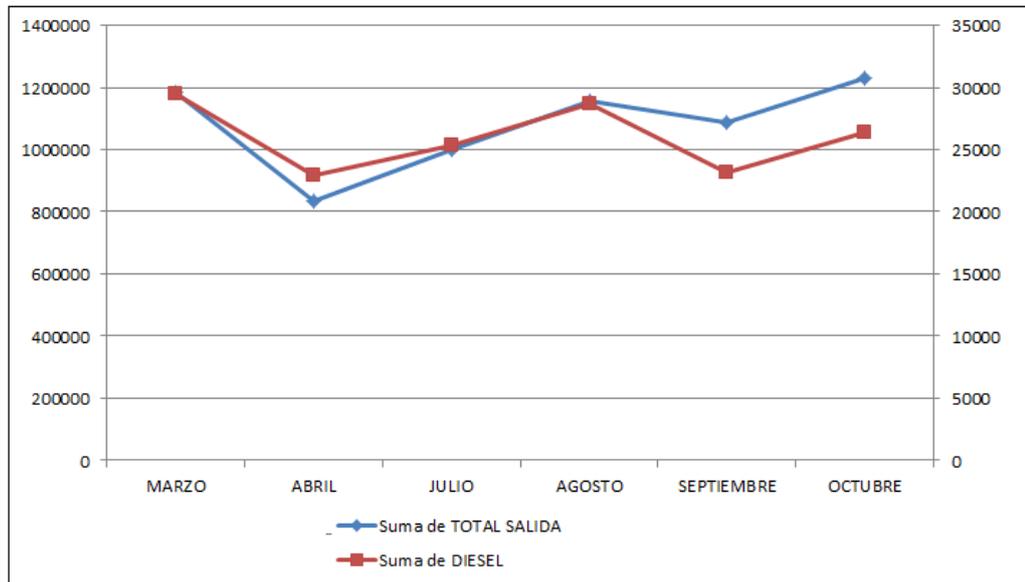
Analizando las ventajas adicionales de proyecto, es importante destacar que existe una mejora en los niveles de temperatura ya que hay un control de presión, por tal razón se evidencia intervalos de tiempos donde se apaga los quemadores del horno incidiendo directamente en el consumo de diesel.

En la tabla 4-2 se detalla el total de producción por mes y el consumo diario de combustible en el horno de fundición de Aluminio. Los meses de evaluación inicial son, marzo, abril, julio y agosto, mientras que los meses de mayo y junio se planificó las tareas de mantenimiento y reparación de equipos por lo tanto no fueron considerados para el análisis.

En el mes de septiembre y octubre se observa la disminución de consumo de combustible debido a que en estos meses inició la instalación, calibración y evaluación del sistema de control.

**TABLA 4-2 RESUMEN DE PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE DIESEL POR MES EN EL HORNO DE FUNDICIÓN**

MES	PRODUCCIÓN TOTAL(Kg)	DIESEL(GAL/MES)	GAL / TON
MARZO	1182560,315	29506	24,95
ABRIL	832611,742	22941	27,55
JULIO	998979,7033	25354	25,38
AGOSTO	1158172,166	28672	24,76
SEPTIEMBRE	1086599,857	23185	21,34
OCTUBRE	1231026,553	26333	21,39
<b>Total general</b>	<b>6489950,336</b>	<b>155991</b>	<b>24,03</b>



**Figura 4-15 Tendencia de Producción mensual VS consumo de combustible**

De la tabla 4-2 se puede obtener un promedio de consumo de combustible antes del proyecto tomando como referencia el mes de

marzo, julio y agosto meses donde se registra similitudes en los niveles de producción y consumo de combustible, mientras que el mes de abril baja la producción y es mayor el consumo de combustible razón por la cual no se consideró para el análisis.

PROMEDIO: MARZO,JULIO,AGOSTO	25,03 GAL/TONELADA
PROMEDIO: SEPTIEMBRE Y OCTUBRE	<b>21,36 GAL/TONELADA</b>
PROMEDIO DE TONELADAS PRODUCIDAS AL MES	<b>1130 Toneladas</b>

Es importante destacar que el promedio de consumo de diesel por tonelada se encontraba en el rango de 25,03 gal/tonelada pero con la implementación del control de presión el promedio se ubica en los 21,36 gal/tonelada, tendencia que se refleja en la figura 4 -15.

Si a este valor se le cuantifica en el número de galones ahorrados por tonelada se obtiene:

Gal/tonelada	GALONES AHORRO POR MES	Costo gal	CANTIDAD AHORRADA
3,67	4147,1	0,89 ctvs	3690,9 dólares

Si se asume un ahorro promedio de 3690 dólares al mes en un periodo de dos meses y 15 días se recupera la inversión inicial de 10000 dólares que es el costo total de la implementación del proyecto.

Es importante evaluar la influencia del diesel en el costo de producción detallados en la tabla 4-3, porque este representa el 20,5% de inversión, es decir un rubro significativo el cual se ha beneficiado directamente de la instalación del control de presión en el horno de fundición de Aluminio.

**TABLA 4-3 PORCENTAJE DE COSTOS DE PRODUCCIÓN EN MATERIALES DIRECTOS**

**FUNDICIÓN**

**Materiales Directos**

Silicio en piedras	2,7%
Magnesio	6,0%
Refinador (tabor)	1,5%
Degasificador nitrógeno	0,3%

**Diesel** **20,5%**

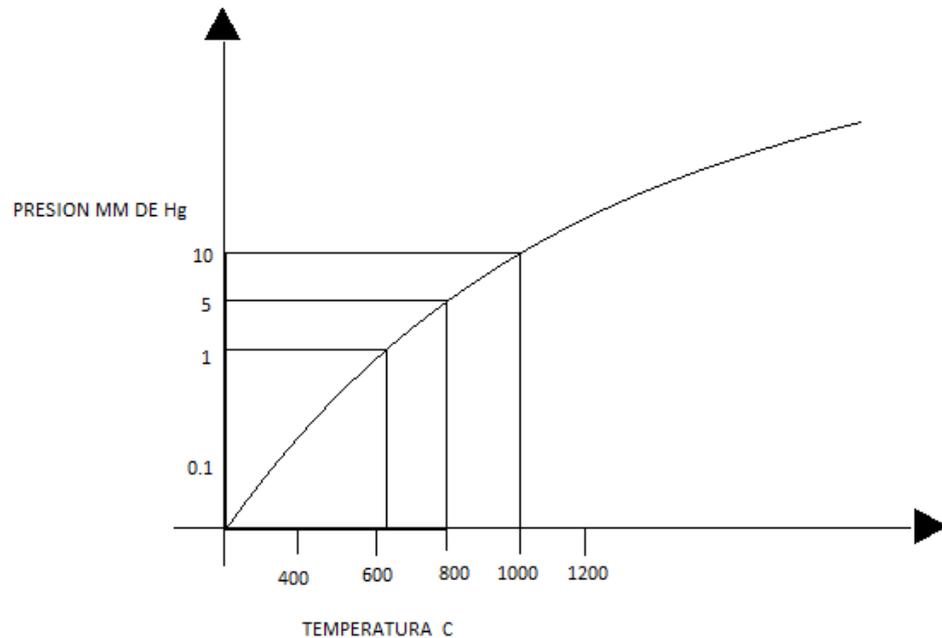
Energía eléctrica	3,2%
Gas líquido de petróleo	0,1%
Argón Gas 4.8	2,4%

**Carga Fabril** **63,4%**

**TOTAL** **100,0%**

**Aluminio** **2500 \$ /TONN**

- Para lograr una estabilidad de temperatura y consecuentemente la reducción del consumo de combustible de los quemadores, fue necesario controlar la presión en el horno, evitando que los gases fuguen al exterior, el dámper regula la salida de gases al exterior y permite mantener el calor en el horno.



**Figura 4-16 Curva entre el diferencial de Presión y Temperatura del Aluminio FUENTE: Metalurgia General II Guillermo Tantalean Vanini**

Cuando el damper se encontraba completamente abierto el diferencial de presi3n del horno se mantenía en el rango de 0.5 a 1mm de Hg, pero con la implementaci3n del proyecto el rango del diferencial de presi3n se mantiene de 2 a 6mm de Hg lo que ha permitido mantener la temperatura entre 770°C y 930 C, de tal manera que al controlar la presi3n se estabiliza la temperatura y se apaga los quemadores, durante un intervalo de tiempo lo que se refleja en ahorro de combustible, y reducci3n de la escoria. Figura 4- 17



Figura 4-17 Quemadores Apagados

#### **4.8 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

La hipótesis del proyecto es:

“La implementación de un sistema de control de presión en el horno de fundición, permitirá disminuir los desperdicios en la producción de lingotes de aluminio.”

Después de diseñado, implementado y puesto a prueba el sistema de control de presión en el horno de fundición de aluminio de la empresa CEDAL, se verifica el cumplimiento de la hipótesis ya que existe una reducción en los desperdicios generados en la fabricación de lingotes de aluminio, siendo el principal desperdicio la escoria, verificada estadísticamente en el análisis de resultados.

La escoria a partir de la implementación del proyecto se reduce en un 0.06%, que económicamente beneficia a la empresa en 1695 dólares

Adicionalmente se evidencia una optimización en el uso de los quemadores reduciendo el consumo de combustible a 21gal/tonelada fundida lo que representa un ahorro en 3690 dólares al mes.

El proyecto fue un éxito.

# CAPÍTULO V

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

- Se diseñó e implementó un sistema automático para el control de presión en el horno de fundición de aluminio logrando estabilizar la temperatura y reduciendo el promedio de escoria en un 0,06% generada en el proceso de fabricación de lingotes de aluminio.
- Diseñado el sistema de control y seleccionado adecuadamente los elementos se logró un funcionamiento correcto de acuerdo a las exigencias de la empresa.
- La escoria a partir de la implementación del proyecto se reduce en un 0.06%, que económicamente beneficia a la empresa en 1695 dólares.
- El horno de fundición de aluminio registraba gran cantidad de pérdidas de calor ya que los gases fugaban al exterior por la chimenea, exigiendo el uso de los quemadores para calentar el horno, con la implementación de un control de presión se mantiene el calor y se mejora la eficiencia energética.
- A partir de la implementación del proyecto se mantiene la temperatura del horno de fundición entre los 770°C y 930 °C, de tal manera que se apagan los quemadores durante ciertos intervalos de tiempo lo que se refleja en ahorro de combustible.
- El consumo de combustible en el horno de fundición ha disminuido ubicándose en un promedio mensual de 21,03 gal/ton, constituyéndose en un ahorro por mes de 3690 dólares en diesel.

- Al controlar la temperatura del horno de fundición directamente se controla la temperatura de la colada de aluminio y de esta manera evitar caídas súbitas provocadas por perturbaciones que pueden alterar el proceso y ocasionar paradas y cambios en el punto de solidificación de aluminio.
- El número de paradas del sistema incrementa el nivel de escoria como sucede en el mes de septiembre que se registra mayor índice de escoria debido al gran número de paradas por fallas en el equipo.
- Culminado el proyecto se verifica que al mantener el nivel de productividad en la planta de fundición se disminuye la escoria y se optimiza el uso de los quemadores reduciendo el consumo de combustible.

## RECOMENDACIONES

- Realizar las actividades conforme se detallan en el plan de mantenimiento, para evitar fallas en el proceso y alargar la vida útil de los equipos.
- Mejorar los procedimientos de recolección de información sobre la escoria para mejorar los métodos de trabajo y generar planes de manejo
- Cumplir con los procedimientos de mantenimientos detallados en el manual de usuario.
- Prolongar la vida útil de los equipos e instalaciones al máximo, realizando mantenimientos continuos y utilizando repuestos necesarios de acuerdo a las especificaciones técnicas.
- Llevar muy presente las consideraciones de seguridad para toda actividad que se realice en la chimenea y evitar daños en el personal.
- Se recomienda a CEDAL la inversión en proyectos de automatización, pues con ello se logra mejorar sus índices de producción y a la vez están apoyan en el conocimiento técnico y científico de las universidades.

## **BIBLIOGRAFÍA CITADA**

- Cedal, “Catalogo de Perfiles” (Aluminio en su máxima expresión)
- Página web oficial de CEDAL [www.cedal.com.ec](http://www.cedal.com.ec)
- FUENTE CEDAL – Planta de Fundición
- Datos obtenidos del área de fundición de CEDAL: Procedimiento de control de aleación.
- MAVAINSA, CONTROL DE PROCESOS, Octubre 2010
- CREUS Antonio INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL 6ta Edición ALFAOMEGA GRUPO EDITOR 1998 Control Proporcional Integral Derivativo
- Guía de selección de PLC Familia Micrologix catalogo productos Allen Bradley
- VILDÓSOLA Eugenio ACTUADORES, C. Soltex Chile S.A. 2010, pag 1,3,6-8

## **BIBLIOGRAFÍA BÁSICA**

- ASTIGARRAGA Julio. Hornos Industriales de Resistencia: Teoría, calculo y aplicaciones.(tercera edición) Pag.67, 206.
- GERLING .Moldeo y Conformación. Editorial: Reverte 1964.
- CREUS Antonio. Instrumentación Industrial (Séptima edición ) Editorial Boixareu. Pág. 89,231.

- PIEDRAFITA MORENO Ramón. Ingeniería de la Automatización Industrial (segunda edición) Editorial Ra-Ma. Pág. 105, 589
- ALLEN - BRADLEY . Datos Técnicos. Controladores programables MicroLogix 1100 Boletín 1763
- ALLEN - BRADLEY . Datos Técnicos. Controladores programables MicroLogix 1100 Boletín 1763 Controladores y 1762 Modulos de Expansion
- Installation, Operation, Calibration, Configuration, and Maintenance. I/A Series® Pressure Transmitters. IDP10 Differential Pressure with 4 to 20 mA Output Signal
- SOLA Alexis. Elaboración de una manual para la selección y control de materiales, Escuela Politécnica Nacional Marzo 2009.
- JAGUACO Edison, Modernización del proceso para dosificación de resina en la fabricación de tableros de aglomerados de Acosa, Escuela Politécnica Nacional Agosto 2009.
- ROJAS Gustavo Diseño de un sistema de control automático para mejorar la eficiencia de combustión en una caldera Agosto 2005

## **PAGINAS CONSULTADAS**

- ✓ Cedral Catalogo de-Ensamblados de Aluminio  
<http://es.scribd.com/doc/3789262/Cedral-Catalogo-de-Ensamblados-de-Aluminio>
  
- ✓ <sup>1</sup>Fundición  
<http://es.wikipedia.org/wiki/Fundici%C3%B3n>
  
- ✓ <sup>2</sup>Hornos Usados para la fundición  
<http://es.scribd.com/doc/18358028/Hornos-Usados-Para-La-Fundicion>
  
- ✓ Calibración de sensores de presión diferencial N. Toledo  
<http://www.hab2001.sld.cu/arrepdf/00159.pdf>

## GLOSARIO

**Aluminio:** Elemento químico, de símbolo Al y número atómico 13. Se trata de un metal no ferromagnético, es el tercer elemento más común encontrado en la corteza terrestre. Los compuestos de aluminio forman el 8% de la corteza de la tierra y se encuentran presentes en la mayoría de las rocas, de la vegetación y de los animales. En estado natural se encuentra en muchos silicatos. Como metal se extrae únicamente del mineral conocido con el nombre de bauxita, por transformación primero en alúmina mediante el proceso Bayer y a continuación en aluminio metálico mediante electrólisis.

**Analógico:** La señal cuya magnitud se representa mediante variables continuas.

**Casting:** Cámara de mantenimiento de colada de aluminio

**Chatarra:** Es el conjunto de trozos de metal de desecho, principalmente hierro.

**Chimenea:** Sistema usado para evacuar gases calientes y humo de calderas, calentadores, estufas, hornos, fogones u hogares a la atmósfera.

**Colada:** Operación que se realiza en un alto horno al dar salida a un chorro de metal fundido. Metal fundido que se introduce en un molde.

**Dámper:** Es un dispositivo como una válvula de mariposa que regula la diferencia de presión entre el consumo y salida de aire en el horno. El amortiguador también regula la pérdida de calor, a medida que la compuerta se cierra, la cantidad de calor que se escapa del horno disminuye.

**Fundición:** Proceso de fabricación de piezas, comúnmente metálicas pero también de plástico, consistente en fundir un material e introducirlo en una cavidad, llamada molde, donde se solidifica.

**Horno:** Dispositivo que genera calor y que lo mantiene dentro de un compartimento cerrado. Se utiliza tanto en la cocina para cocinar, calentar o secar alimentos, como en la industria. La energía calorífica utilizada para alimentar un horno puede obtenerse directamente por combustión

(leña, gas u otro combustible), radiación (luz solar), o indirectamente por medio de electricidad (horno eléctrico).

**Melting** : significa Fundir

**Presión:** Es una magnitud física escalar que mide la fuerza en dirección perpendicular por unidad de superficie, y sirve para caracterizar como se aplica una determinada fuerza resultante sobre una superficie.

**Temperatura:** Es una magnitud referida a las nociones comunes de caliente o frío. Por lo general, un objeto más "*caliente*" que otro puede considerarse que tiene una temperatura mayor, y si es frío, se considera que tiene una temperatura menor.

## **ANEXOS**

**ANEXO A: PLANOS MECÁNICOS DEL PROYECTO**

**ANEXO B: DISTRIBUCIÓN DE ELEMENTOS EN EL TABLERO DE CONTROL**

**ANEXO C: DIAGRAMAS DE CONEXIÓN ELÉCTRICA**

**ANEXO D: MANUAL DE USUARIO**

**ANEXO E: HOJA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS**

**ANEXO F: PROGRAMA DEL PLC DE CONTROL DE PRESIÓN PARA EL HORNO DE FUNDICION DE ALUMINIO**

**ANEXO G: FOTOGRAFIAS**