



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

EXTENSIÓN LATACUNGA

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

AUTOR: VELASCO EGÜEZ ADRIÁN FABRICIO

**TEMA: AUTOMATIZACIÓN DEL CONTROL DE VELOCIDAD
DE LA MESA DE CONFORMACIÓN DE LINGOTES DE
ALUMINIO MEDIANTE UN SISTEMA SCADA PARA
MEJORAR LA CALIDAD EN LA PRODUCCIÓN EN EL
DEPARTAMENTO DE FUNDICIÓN DE LA EMPRESA CEDAL
S.A.**

DIRECTOR: ING. RIVAS DAVID

CODIRECTOR: ING. MANJARRÉS FÉLIX

LATACUNGA, MAYO 2014

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

EXTENSIÓN LATACUNGA

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

CERTIFICADO

ING. DAVID RIVAS (DIRECTOR)

ING. FÉLIX MANJARRÉS (CODIRECTOR)

CERTIFICAN

Que el trabajo titulado **“Automatización del control de velocidad de la mesa de conformación de lingotes de aluminio mediante un sistema SCADA para mejorar la calidad en la producción en el departamento de fundición de la empresa Cedal S.A.”**, realizado por el señor Adrián Fabricio Velasco Egüez, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE.

Debido a que constituye un trabajo con alto contenido científico, que aportará al desarrollo profesional y educativo **si** aprobamos su publicación.

Latacunga, Mayo del 2014.

ING. DAVID RIVAS
DIRECTOR

ING. FÉLIX MANJARRÉS
CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LA FUERZAS ARMADAS – ESPE

EXTENSIÓN LATACUNGA

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

YO, ADRIÁN FABRICIO VELASCO EGÜEZ

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado “**Automatización del control de velocidad de la mesa de conformación de lingotes de aluminio mediante un sistema SCADA para mejorar la calidad en la producción en el departamento de fundición de la empresa Cedal S.A.**”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan el pie de las páginas correspondiente, 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, Mayo 2014.

ADRIÁN FABRICIO VELASCO EGÜEZ

C.C. 0503187312

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

EXTENSIÓN LATACUNGA

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

YO, ADRIÁN FABRICIO VELASCO EGÜEZ

Autorizo a la UNIVERSIDAD DE LA FUERZAS ARMADAS-ESPE, la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “**Automatización del control de velocidad de la mesa de conformación de lingotes de aluminio mediante un sistema SCADA para mejorar la calidad en la producción en el departamento de fundición de la empresa Cedal S.A.**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Mayo 2014.

ADRIÁN FABRICIO VELASCO EGÜEZ
C.C. 0503187312

DEDICATORIA

La ejecución del presente proyecto de titulación lo dedico a mis padres Hernán e Irma; por el cariño, comprensión y apoyo brindado a lo largo de mi vida.

A mis hermanos Cristian y Alex, por su don de gente, humildad, predisposición; y consejos brindados para cumplir mis metas y objetivos.

A mi cuñada Mariela, quién en es el vivo ejemplo de superación y tenacidad en el diario convivir.

Adrián F. Velasco E.

AGRADECIMIENTO

Extiendo mi más sincero agradecimiento al personal de Fundación de la empresa CEDAL S.A, por el apoyo incondicional brindado durante la realización de esta tesis.

A mi director y codirector, por su valiosa colaboración y aportes para la puesta a punto del proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
CERTIFICADO.....	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT.....	xx
PRESENTACIÓN.....	xxi
 CAPÍTULO I.....	 1
GENERALIDADES	1
1.1. CEDAL S.A.	1
1.1.1. Producción y procesos	1
1.1.2. Aluminio como materia prima	2
a. Aluminio	2
1.1.2.a.1.Manufacturas del aluminio	3
1.1.3. Área de fundición	4
a. Detalle del proceso de formación de lingotes de aluminio.....	4
b. Problema de estrella en el centro	6
1.1.4. Actividades en el proceso de fundición en Cedal S.A.	6
a. Referencias para el proceso de fundición:	6
b. Descripción de actividades en fundición	6
c. Diagrama de flujo del proceso de fundición.....	9
d. Descripción del proceso de fundición	9
e. Diagrama de flujo de recepción de chatarra	11
1.1.5. Parámetros de composición química de lingotes producidos en Cedal S.A.	12
1.1.6. Mesa de formación de lingotes de aluminio	13
1.2.1. Definición:.....	14
a. Características	15
1.3. AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES	15
1.3.1. Automatización industrial	15

a.	Tipos de automatización.....	16
1.3.2.	Herramientas de automatización	17
a.	PLC (Controlador lógico programable)	17
1.3.2.a.1.	Criterios de selección de un PLC	18
b.	Variador de frecuencia	19
c.	Motorreductor	20
d.	Termopares	21
1.3.2.d.1.	Tipos de termopares	21
1.3.3.	Control de procesos	22
1.3.4.	Tipos de control.....	22
a.	De lazo (o bucle) abierto	22
b.	De lazo (o bucle) cerrado.....	23
1.3.5.	Modos de control.....	24
a.	Controlador proporcional integral derivativo (PID)	24
1.4.	SCADA.....	25
1.4.1.	Funciones básicas del SCADA.....	25
1.4.2.	FactoryTalk view studio	26
1.5.	COMUNICACIÓN INDUSTRIAL	27
1.5.1.	Proceso de comunicación industrial	27
1.5.2.	Niveles de una red industrial.....	27
1.5.3.	Ethernet industrial.....	29
a.	Medios de transmisión de la red ethernet	29
CAPÍTULO II.....		31
DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES.....		31
2.1.	CONSIDERACIONES PARA LA DETERMINACIÓN DE ESPECIFICACIONES.	31
2.2.	LA CASA DE LA CALIDAD.....	31
2.2.1.	Requerimientos del cliente.....	32
2.2.2.	Criterio del ingeniero.....	33
2.2.3.	Resultados	33
2.3.	ANÁLISIS FUNCIONAL	34
2.3.1.	Desarrollo y análisis de los niveles funcionales.....	35
2.4.	DIVISIÓN MODULAR DEL ANÁLISIS FUNCIONAL.....	36

2.5.	SOLUCIÓN A MODULOS	38
2.5.1.	Módulo 1	38
a.	Matríz de selección.....	38
b.	Interpretación	39
c.	Declaración de resultados	39
2.5.2.	Solución módulo 1: Análisis energético de la mesa de conformación de lingotes de aluminio	39
a.	Modelado en 3D de la mesa.....	40
b.	Tundish: capas que lo conforman	41
	Capas del tundish	43
c.	Moldes para formación de lingotes de aluminio	45
d.	Procedimiento y resultados del análisis energético.....	46
2.5.3.	Módulo 2	48
a.	Matríz de selección.....	48
b.	Interpretación	49
c.	Declaración de resultados	49
2.5.4.	Solución al módulo 2: Diseño sistema de control a lazo cerrado.....	50
a.	Diseño del control	50
b.	Parámetros a controlar	54
c.	Diseño del hardware.....	55
	SELECCIÓN DE TRANSMISORES Y ACTUADORES.....	55
d.	Selección del controlador	59
e.	Selección del transmisor de presión.....	62
f.	Selección de la termocupla	65
g.	Selección del variador de velocidad	66
h.	Selección del panel view	67
i.	Selección de la PC.....	68
j.	Resumen: Requerimientos de hardware	69
k.	Diseño del tablero de control	71
2.5.5.	Módulo 3	72
a.	Matríz de selección.....	72
b.	Interpretación	73
c.	Declaración de resultados	74

2.5.6. Solución Módulo 3: Diseño e implementación de un SCADA con el uso del software Factory Talk View Studio.	74
a. Diseño de las alarmas del proceso	76
2.5.6.a.1.Alarmas por temperatura.....	76
2.5.6.a.2.Alarmas por presión.....	77
CAPÍTULO III	78
IMPLEMENTACIÓN	78
3.1. IMPLEMENTACIÓN DEL HARDWARE.....	78
3.1.1. Reubicación del tablero de quemadores e instalación del nuevo tablero para el control automático de velocidad.	78
3.1.2. Instalación del nuevo tablero.....	79
3.1.3. Implementación del circuito eléctrico-electrónico para el control de la velocidad de la mesa.	81
a. Potencia	81
b. Consideraciones para el cableado eléctrico en fundición.....	82
c. Circuito de control.....	84
3.1.4. Instalación y programación del variador.....	88
a. Programación del variador	89
3.1.5. Enlace con PLC Control Logix	90
3.1.6. Programación e instalación del transmisor.	92
a. Programación del transmisor	92
b. Instalación.....	94
3.1.7. Instalación de la PC Y UPS.	95
3.2. IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE	96
3.2.1. Asignación de IP's, configuración y programación del PLC.....	96
a. Asignación de IP al PLC	96
b. Asignación de IP a la PC	97
c. Asignación de la IP al panel view plus 400.....	98
d. Comunicación PLC-PC a través del RSLinx.....	99
e. Configuración del PLC Micrologix 1100 Serie B	100
f. Configuración de los módulos de entradas y salidas análogas	102
3.2.2. Programación del HMI–panel view plus 400.....	104
a. Instalación del software y activación de las licencias	104

b. Creación del HMI.....	106
d. Programación de alarmas.....	113
3.2.3. Programación del SCADA – PC Fundición.....	115
a. Programación de las pantallas	116
b. Generación de históricos del proceso.....	118
c. Macro de arranque de históricos	120
d. Configuración de cliente.....	121
e. Procesamiento de históricos	124
CAPÍTULO IV	127
PRUEBAS Y RESULTADOS	127
4.1. PRUEBAS DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS	127
4.1.1. Pruebas de instalaciones eléctricas de potencia	127
4.1.2. Pruebas de las instalaciones eléctricas de control	129
4.2. PRUEBAS DE COMUNICACIÓN	132
4.3. RESULTADOS DEL CONTROL	134
4.3.1. Linealidad del control	134
4.3.2. Históricos generados.....	135
4.4. ANÁLISIS ENERGÉTICO DEL SISTEMA AUTOMATIZADO.....	138
4.5. RESULTADOS DE PRODUCCIÓN.....	140
4.5.1. Análisis económico.....	141
4.6. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	142
CAPÍTULO V	143
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	143
5.1. CONCLUSIONES	143
5.2. RECOMENDACIONES	145
BIBLIOGRAFÍA:.....	146
NETGRAFÍA:	146
ANEXOS.....	148

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1: Propiedades del aluminio.....	2
Tabla 1. 2: Composición química de lingotes de aluminio según la norma ASTM- B221.....	3
Tabla 1. 3: Descripción de actividades en el proceso de fundición.....	7
Tabla 1. 4: Chatarra producida en el periodo Dic-Feb 2012-2013.....	12
Tabla 1. 5: Parámetros de composición química utilizada en CEDAL.	13
Tabla 1. 6: Criterios de selección de un PLC.....	18
Tabla 1. 7: Tipo de termopares.....	21
Tabla 1. 8: Funciones básicas del SCADA.....	25
Tabla 2. 1: Alternativas de solución para el módulo 1.....	38
Tabla 2. 2: Modulo 1 Cargas estáticas soportadas por la mesa.....	38
Tabla 2. 3: Detalles de temperaturas y tiempos de producción.....	40
Tabla 2. 4: Propiedades del acero SAE 1045.....	42
Tabla 2. 5: Propiedades del papel cerámico.....	43
Tabla 2. 6: Propiedades de la lana de vidrio.....	44
Tabla 2. 7: Propiedades del nitruro de boro.....	44
Tabla 2. 8: Propiedades del pegamento QF-150.....	45
Tabla 2. 9: Alternativas de solución módulo II.....	49
Tabla 2. 10: Solución al módulo II.....	49
Tabla 2. 11: Parámetros óptimos para el funcionamiento de la mesa de conformación de lingotes de aluminio.....	51
Tabla 2. 12: Parámetros óptimos para el funcionamiento de la mesa de conformación de lingotes de aluminio modo paso a paso.....	52
Tabla 2. 13: Parámetros óptimos para el funcionamiento de la mesa de conformación de lingotes de aluminio modo continuo.....	53
Tabla 2. 14: Elementos de control para las variables de entrada.....	55
Tabla 2. 15: Elementos de control para las variables de salida.....	56
Tabla 2. 16: Entradas totales.....	56
Tabla 2. 17: Salidas totales.....	57
Tabla 2. 18: Marcas para la programación del control.....	58
Tabla 2. 19: Tags del proceso.....	58
Tabla 2. 20: Características de PLC seleccionado.....	61

Tabla 2. 21: Módulos de expansión a utilizarse.....	62
Tabla 2. 22: Consumo de corriente del PLC y módulos.....	62
Tabla 2. 23: Selección del transmisor de presión.....	63
Tabla 2. 24: Características del motor de la mesa.....	67
Tabla 2. 25: Resumen requerimientos de hardware.....	70
Tabla 2. 26: Alternativas de solución para el módulo 3.....	73
Tabla 2. 27: Solución al módulo 3.....	73
Tabla 2. 28: Direcciones IP de los equipos en red.....	74
Tabla 3. 1: Parámetros de configuración del variador.	89
Tabla 4. 1: Resultado promedio de velocidad (frecuencia) vs temperatura.....	134
Tabla 4. 2: Rechazos por grietas en el periodo Octubre- Diciembre 2013	141

Figura 2. 18: Distribución externa el tablero de control.	71
Figura 2. 19: Diseño regulador de voltaje.	72
Figura 2. 20: Conexiones salidas análogas-variador.	72
Figura 3. 1: Tablero de control de quemadores.	78
Figura 3. 2: Desconexión de los controladores del tablero de control de quemadores.	79
Figura 3. 3: Base para el tablero de control de la velocidad de la mesa.	79
Figura 3. 4: Base anclada al suelo.	80
Figura 3. 5: Tablero instalado.	80
Figura 3. 6: Instalación de los controladores de quemadores en el tablero frontal. ...	81
Figura 3. 7: Activación de los controladores de los quemadores.	81
Figura 3. 8: Tablero de alto voltaje.	82
Figura 3. 9: Cableado de potencia y control.	82
Figura 3. 10: Cable de datos.	83
Figura 3. 11: Breaker 440 Vac.	83
Figura 3. 12: Puesta a tierra en tablero de alto voltaje.	84
Figura 3. 13: Instalación de riel din y canaleta.	84
Figura 3. 14: Instalación de los equipos de control.	85
Figura 3. 15: Borneras de tierra.	85
Figura 3. 16: Instalación de circuito de control en el tablero.	86
Figura 3. 17: Placa de control del regulador de voltaje.	86
Figura 3. 18: Regulador de voltaje instalado.	87
Figura 3. 19: Instalación de indicadores para el control de velocidad.	87
Figura 3. 20: Tablero energizado.	88
Figura 3. 21: Variador instalado.	88
Figura 3. 22: Circuito de control del variador eaton.	89
Figura 3. 23: PLC control logix de fundición.	90
Figura 3. 24: Pulsantes físicos habilitado para manual.	91
Figura 3. 25: Teclas de navegación del transmisor de presión.	93
Figura 3. 26: Transmisor programado.	94
Figura 3. 27: Diagrama de instalación del sensor de presión.	94
Figura 3. 28: Ensamblaje del transmisor.	95
Figura 3. 29: Transmisor instalado.	95
Figura 3. 30: Instalación de la PC y UPS.	96

Figura 3. 31: Procedimiento para acceder a la MAC del PLC.....	97
Figura 3. 32: Asignación de IP al PLC	97
Figura 3. 33: Asignación de IP a la tarjeta de red PLC.....	98
Figura 3. 34: Modo de configuración panel view plus 400.....	98
Figura 3. 35: Asignación IP al panel view plus 400	99
Figura 3. 36: Configuración RSLinx Classic.	99
Figura 3. 37: Asignación de IP's en el RSLinx.	100
Figura 3. 38: Equipos en red a través del RSLinx Classic.	100
Figura 3. 39: Configuración de una nueva aplicación en RSLogix 500	101
Figura 3. 40: Asignación de IP definitiva la PLC desde el RSLogix 500.....	101
Figura 3. 41: Configuración de módulos de expansión	102
Figura 3. 42: Configuración del módulo de salidas análogas.....	103
Figura 3. 43: Configuración del módulo de termopares.	103
Figura 3. 44: Configuración del módulo de entradas análogas.	104
Figura 3. 45: Asignación de la PC al grupo de trabajo WORKGROUP.	105
Figura 3. 46: Acceso al gestor de activación de las licencias de Factory Talk	105
Figura 3. 47: Enlace con el servidor de mantenimiento.....	106
Figura 3. 48: Licencias de Factory Talk View Studio activadas.	106
Figura 3. 49: Aplicación machine edition	107
Figura 3. 50: Creación de una aplicación machine edition	107
Figura 3. 51: Configuración del RSLinx Enterprise	108
Figura 3. 52: Configuración del runtime.....	109
Figura 3. 53: Configuraciones del proyecto	109
Figura 3. 54: Entorno de programación de FactoryTalk Machine Edition	110
Figura 3. 55: Pantalla principal del HMI	111
Figura 3. 56: Pantalla principal del HMI	111
Figura 3. 57: Pantalla manual o automático del HMI.....	112
Figura 3. 58: Pantalla acceso a tendencias del HMI.....	112
Figura 3. 59: Pantalla de tendencias del HMI	113
Figura 3. 60: Programación de alarmas	113
Figura 3. 61: Configuración del Start Up.....	114
Figura 3. 62: Descarga de la aplicación al panel view plus 400.....	114
Figura 3. 63: HMI en ejecución.....	115
Figura 3. 64: Creación de un aplicación Site Edition Local.....	115

Figura 3. 65: Pantalla de presentación del SCADA	116
Figura 3. 66: Pantalla de acceso a modo de trabajo del SCADA	117
Figura 3. 67: Pantalla de trabajo manual o automático del SCADA	117
Figura 3. 68: Tendencias del SCADA	118
Figura 3. 69: Configuración del Data Log Models.....	118
Figura 3. 70: Asignación de nombre a los históricos a generarse	119
Figura 3. 71: Destino de generación de históricos.....	119
Figura 3. 72: Configuración de la generación diaria de históricos.	120
Figura 3. 73: Asignación de tags para generación históricos.	120
Figura 3. 74: Macro de arranque de históricos	121
Figura 3. 75: Creación de un nuevo cliente.....	121
Figura 3. 76: Configuración del tipo de aplicación	122
Figura 3. 77: Selección de la aplicación para ejecutar como cliente	122
Figura 3. 78: Selección de macros de arranque	123
Figura 3. 79: Configuración de las dimensiones de la aplicación.	123
Figura 3. 80: Inhabilitación de auto logout	124
Figura 3. 81: Configuración final del cliente	124
Figura 3. 82: Históricos generados	125
Figura 3. 83: Históricos Recuperados	125
Figura 3. 84: Históricos Procesados	126
Figura 4. 1: Medición de la alimentación en el breaker de la UPS	127
Figura 4. 2: Medición de la alimentación en la entra del transformador	127
Figura 4. 3: Medición de la alimentación en la salida del transformador	128
Figura 4. 4: Medición del voltaje de línea en el breaker principal del tablero de control	128
Figura 4. 5: Equipos con alimentación a 120 Vac	129
Figura 4. 6: Comprobación del voltaje en la fuente de 24 Vdc.....	129
Figura 4. 7: Medición del voltaje en la entrada análoga del PLC	130
Figura 4. 8: Medición del voltaje en la salida análoga	130
Figura 4. 9: Medición del voltaje en la entrada del variador.....	131
Figura 4. 10: Medición del voltaje que llega de la termocupla.	131
Figura 4. 11: Medición de la señal de corriente del transmisor de presión.....	132
Figura 4. 12: prueba de comunicación con la tarjeta de red LAN	132
Figura 4. 13: Prueba de comunicación con la tarjeta de red PLC	133

Figura 4. 14: Prueba de comunicación con la tarjeta de red PLC	133
Figura 4. 15: Prueba de comunicación con el PLC.	134
Figura 4. 16: Históricos de temperatura, primer.....	135
Figura 4. 17: Históricos de frecuencia, primer turno.....	136
Figura 4. 18: Históricos de temperatura, segundo turno.....	136
Figura 4. 19: Históricos de frecuencia, segundo turno.	137
Figura 4. 20: Históricos de temperatura, tercer turno.	137
Figura 4. 21: Históricos de frecuencia, tercer turno.	138
Figura 4. 22: Región de temperatura del sistema automatizado.....	139
Figura 4. 23: Isosuperficies del sistema automatizado.	139
Figura 4. 24: Relación volumen máx vs volumen min del sistema automatizado. ..	140
Figura 4. 25: Rechazos por grietas en el periodo Octubre- diciembre 2013.....	141

RESUMEN

Cedal S.A., con su política de mejoramiento de sus procesos productivos; y más aún cuando los procedimientos manuales afectan directamente el rendimiento de la planta, ve la necesidad de implementar la “Automatización del control de velocidad de la mesa de conformación de lingotes de aluminio mediante un sistema SCADA para mejorar la calidad de producción en el departamento de fundición de la empresa Cedal S.A.”

La automatización controla automáticamente la velocidad de moldeo de lingotes, tomando como referencia la temperatura del Tundish; esto se realiza con el objetivo de eliminar la malformación de lingotes conocido como estrella en el centro, que es el agrietamiento en la parte central del lingote.

Se implementó un control inversamente proporcional, es decir a mayor temperatura menor velocidad; y a menor temperatura mayor velocidad. Con la relación de inversibilidad en el control; se logra además que los lingotes no se congelen en la mesa cuando la temperatura es muy baja, regulándose así el cono de formación de lingotes de aluminio.

Además se realizó un SCADA del proceso con el uso del software Factory Talk View Studio, teniendo control (PLC) local en sitio a través de un Panel View y monitoreo remoto PC en la oficina de Fundición, permitiéndoles a los operadores interactuar en tiempo real con el proceso.

El SCADA arroja 69120 históricos por día de las variables más relevantes del proceso, con lo cual permite a los supervisores llevar un control diario de las variables de producción, y brindándoles la oportunidad de realizar proyecciones para mejorar el proceso de fundición.

Finalmente, se realizó un análisis energético del proceso de formación de lingotes de aluminio antes y después de la automatización; este análisis permitió comprobar que se eliminó el problema de estrella en el centro y principalmente corroborar que la transferencia de calor con el sistema automatizado es uniforme, garantizando así la linealidad del control.

Palabras clave:

Automatización Industrial, Sistemas SCADA, Factory Talk View Studio, Aluminio.

ABSTRACT

Cedal SA, with its policy of improving its own production processes, and even more when manual procedures affect the plant performance directly, it is necessary to implement the “Automation of speed control of the conveyor in which the aluminum ingots by means of SCADA system to improve the production quality in the foundry department of CEDAL company S.A .”

Automation controls by itself ingot casting speed, with reference to the temperature of the Tundish, this is done with the purpose of eliminating the defect known as star ingot in the center, which is the cracking in the ingot core.

An Inverse proportional control was implemented; it means, at higher temperatures lower speed, lower temperature and higher speed. With the inverse control; is further achieved that the ingot will not freeze in the conveyor when the temperature is too low, in this way, the formation of the cone aluminum ingot is adjusted.

Furthermore, a SCADA process was performed with the use of Factory Talk View Studio software, taking control (PLC) Local on-site through a View Panel and remote monitoring in the office Foundry, and allowing operators to interact in real time with process.

The SCADA process generates 69120 historical daily yields of the most relevant variables of the process, which allows supervisors to keep daily control production variables, and giving them the opportunity to make projections to improve the casting process.

Finally, an energy analysis of the formation of aluminum ingots before and after automation was performed, this analysis allowed verifying that the star problem is eliminated mainly in the center and confirm that the heat transfer with the automated system is uniform, so ensuring linearity control.

PRESENTACIÓN

En el presente proyecto de automatización se diseña y ejecuta el control automático de la velocidad de la mesa de conformación de lingotes de aluminio en el departamento de Fundición de Cedal S.A., el cuál elimina el agrietamiento de los moldes conocido como estrella en el centro.

En el capítulo I se detallan los procesos productivos de la empresa, y la fundamentación teórica para poder llevar a cabo la automatización del proceso.

El capítulo II define el diseño realizado para la automatización del proceso; cabe recalcar que se realizó un diseño con calidad a través de la casa de la calidad, que es una herramienta del QFD. Además se realiza un análisis energético (transferencia de calor) del proceso de formación de lingotes previa a la automatización. Y como último paso se seleccionó todos los elementos y equipos a utilizarse en el proceso de control automático de la mesa de conformación de lingotes de aluminio.

En el capítulo III se procede con la implementación de la automatización empezando con la implementación del hardware y culminado con el software de control. Se calibran seteos y se realizan pruebas preliminares de lazo.

En el capítulo IV se procede a detallar las pruebas realizadas antes de la puesta a punto del control, se detallan además los resultados del control y de producción. En este capítulo se realiza un nuevo análisis energético del sistema automatizado para comprobar que se eliminó el problema de estrella en el centro.

El capítulo V se indica las conclusiones a las que se llegó luego de la puesta a punto del control del proceso, además se detallan recomendaciones para optimizar la vida útil de la automatización, así como también la ejecución de proyectos a futuro.

Finalmente se incluyen anexos que visualizan los resultados de la tesis realizada.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. CEDAL S.A.¹

Es una empresa constituida en el año 1974, con el propósito de producir y comercializar perfilería y otros productos extruidos del aluminio para uso arquitectónico y estructural. La figura 1.1 detalla el logotipo de la empresa.



Figura 1. 1: Logotipo de la empresa CEDAL S.A.

Inicio sus actividades productivas en el año 1976, y actualmente es el líder en la producción y distribución de perfiles de aluminio en el Ecuador con más de 40 distribuidores exclusivos en todo el país y fuera de él.

EL sistema de gestión de calidad de CEDAL está certificado bajo la norma ISO 9001:2000. Además es ampliamente reconocida en el mercado nacional y extranjero por la calidad de sus productos, servicio profesional y personalizado, confiabilidad e integridad de la empresa y, su valiosa contribución al desarrollo de la industria del aluminio y al mercado de la construcción.

Cedal S.A. forma parte de Corporación Empresarial S.A. CORPESA, que es un renombrado Holding ecuatoriano constituido en el año 1992 y conformado por cinco compañías.

1.1.1. Producción y procesos

CEDAL cuenta con dos prensas de extrusión de siete pulgadas con una capacidad de 1.700 toneladas de presión cada una. Para la elaboración de perfilería arquitectónica y estructural. La empresa lleva a cabo los siguientes procesos productivos:

- Fundición (Horno de fundición Horizontal)
- Materia Prima

¹**CEDAL S.A.:** Página Principal de la Corporación Ecuatoriana de Aluminio. Latacunga-Ecuador. Disponible en: <http://www.cedal.com.ec>

- Matricería
- Extrusión
- Anodizado (Una línea completa de anodizado)
- Pintura Electrostática
- Planta de Tratamiento de descargas líquidas
- Empaque y Despacho

Para conocer a fondo los procesos productivos de la empresa, se invita a visitar la página oficial de CEDAL S.A citada en la referencia (1).

1.1.2. Aluminio como materia prima

a. Aluminio

El aluminio es el tercer elemento más abundante en la tierra, constituye aproximadamente el 8% de su corteza. Solo el silicio y el oxígeno son más abundantes. La tabla 1.1 detalla las propiedades del aluminio.

Tabla 1. 1: Propiedades del aluminio

PROPIEDADES DEL ALUMINIO	
Símbolo	Al
Número Atómico	13
Punto de Fusión	660,32c°C
Punto de Ebullición	2519 °C
Densidad	2,7 g/cm ³ a 20 °C
Color	Plateado-Blanco
Abundancia en la corteza terrestre	8.13%
Calor específico a 0 grados	0,210 cal/°C
Calor latente de fusión	94,4 cal/g
Dilatación lineal por grado de temperatura	24x10 ⁻⁶
Resistividad eléctrica a 20 °C	2,63 ohm.cm
Conductividad eléctrica a 20 °C	63,8%
Módulo de elasticidad	6 700 kg/mm ²

Carga de ruptura²	16 a 20 kg/mm ²
Metal muy electropositivo y extremadamente reactivo.	
Es un metal ligero.	
Inerte a los ácidos pero no a los alcalís.	
Tiene una buena conductividad térmica.	
Es maleable y dúctil, pero tiene escasa resistencia mecánica.	
Es un buen conductor de electricidad, solo superado por el cobre.	
El aluminio puro tiene propiedades mecánicas reducidas pero sus aleaciones consiguen puntos muy elevados.	

1.1.2.a.1. Manufacturas del aluminio

El aluminio producido en estado puro se denomina primario, y no es utilizado de esta forma sino aleado con otros metales que aumentan sus cualidades y propiedades como resistencia a la corrosión y características mecánicas y de elasticidad. Las aleaciones de aluminio se presentan en forma de tochos para extrusión, placas para laminación, y lingotes para fundiciones y son materia prima para las industrias transformadoras.

Para manufacturar el aluminio el proceso inicia con la fundición del aluminio primario (con una riqueza del 99,7%), aleándolo con diferentes elementos como el magnesio, silicio, cobre, manganeso. De aquí que se obtiene dos tipos de aluminio: el aluminio estructural y el aluminio arquitectónico, produciendo las aleaciones 6061, 6063 y 6065.

Según la Norma ASTM B221, la composición química de las distintas aleaciones se detalla en la tabla 1.2

Tabla 1. 2: Composición química de lingotes de aluminio según la norma ASTM- B221

PARÁMETROS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ALUMINIO SEGÚN NORMA ASTM B221								
ALEACIÓN	COMPOSICIÓN QUÍMICA EN %							
	Fe	Si	Mg	Mn	Cu	Zn	Cr	Ti
6061	0,70	0,4-	0,8-	0,15	0,15-	0,15	0,25	0,15

² **Rodríguez Galbarro, H.** Ingemecánica: Propiedades mecánico-químicas del aluminio ARAHAL (Sevilla) – España. Disponible en: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn110.html>

		0,8	1,2		0,4			
6063	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
6005	máx 0,35	0,60- 0,90	0,40- 0,60	máx 0,10	máx 0,10	máx 0,10	máx 0,10	máx 0,10

1.1.3. Área de fundición

En CEDAL S.A, el área de Fundición es el lugar donde se producen los lingotes de aluminio, los cuales son utilizados en otros procesos como materia prima. En la figura 1.2 se visualiza el horno utilizado en Fundición



Figura 1. 2: Horno de fundición

Fundir es el proceso de producción de lingotes a través del vertido de metal fundido sobre un molde hueco. El principio de fundición es simple: se funde el metal, se vacía en un molde y se enfría inmediatamente (Se utiliza agua para este proceso), existen muchos factores y variables que se deben considerar para lograr una operación exitosa en el proceso. A continuación se detalla el proceso de fundición.

a. Detalle del proceso de formación de lingotes de aluminio³

Se calienta primero el material (Chatarra, aluminio puro, etc.) a una temperatura lo suficientemente alta para transformarlo completamente al estado líquido (colada de aluminio), después fluye la colada de aluminio a través de una canaleta en la cual es tratada con argón y otros suministros; luego se direcciona la colada de aluminio hacia el Tundish y a través del cuál se vierte directamente en la cavidad de un molde que consta de una parte abierta y otra cerrada. En un molde abierto el metal líquido se vacía simplemente hasta llenar la cavidad abierta, para luego pasar a un molde

³ **Luiferoc.Blogspot:** Procesos de del Fundición Aluminio. Disponible en: <http://luisferoc.blogspot.com/2009/03/proceso-de-fundicion-del-aluminio.html>

cerrado en el cuál existe una vía de paso llamada sistema de vaciado que permite el flujo del metal fundido desde afuera del molde hasta la cavidad.

Cuando el material fundido en el molde empieza a enfriarse hasta la temperatura suficiente para alcanzar el punto de congelación, empieza la solidificación que involucra un cambio de fase del aluminio. Se requiere tiempo para completar este cambio de fase ya que es necesario disipar una considerable cantidad de calor. Finalmente empieza el proceso de salida, en el cual los lingotes ya formados en grupos de cuatro avanzan paso a paso a través de la mesa de salida, para luego ser cortados según especificaciones requeridas. La figura 1.3 se visualiza el proceso de formación de lingotes de aluminio en el cuál se puede observar el cambio de fase de estado líquido (colada de aluminio) a un estado totalmente sólido (lingotes de aluminio).



Figura 1. 3: Formación de lingotes de aluminio

La correcta formación y buen acabado del lingote dependen del cono de formación, La figura 1.4 visualiza el cono de formación.

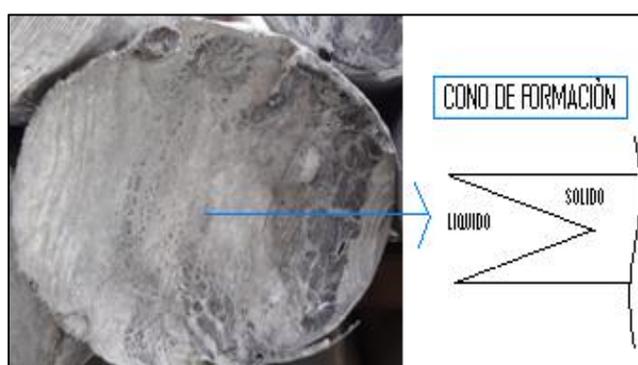


Figura 1. 4: Cono de formación

En el proceso de fundición, se intenta regular a un tamaño medio el cono de formación de lingotes de aluminio, ya que mientras más grande o más pequeño sea el cono de formación es mayor el riesgo de derramamiento y la presencia de estrellas en el centro en el lingote.

b. Problema de estrella en el centro

Se conoce como problema de estrella en el centro al agrietamiento en la parte central de los lingotes de aluminio. La figura 1.5 visualiza un lingote de aluminio con estrella en el centro.



Figura 1. 5: Lingote de aluminio con estrella en el centro.

La estrella en el centro se produce por la malformación del lingote; esta malformación se produce cuando varía la temperatura y no se regula la velocidad en forma inversamente proporcional.

Todos los lingotes con estrella en el centro deben ser refundidos, conllevando con ello pérdidas de tiempo y de producción (dinero)

A continuación se describen las actividades a seguir en el proceso de Fundición en CEDAL S.A.

1.1.4. Actividades en el proceso de fundición en Cedal S.A.

Para llevar a cabo el proceso de Fundición, CEDAL S.A realiza las siguientes actividades:

a. Referencias para el proceso de fundición:

- Hertwich- Preparación de Moldes.
- Hertwich- Planta de Fundición –Manual de Operaciones.
- IT-FN-01 Instructivo de operación espectrómetro.
- IT-FN-02 Programa de cálculo de aleantes-Hertwich.
- IT-FN-03 Control de proceso de colado.
- IT-FN-04 Instructivo de Homogenizado.
- FO-FN-05 Checklist de arranque-Fundición.
- FO-FN-06 Registro de análisis de espectrómetro.

b. Descripción de actividades en fundición

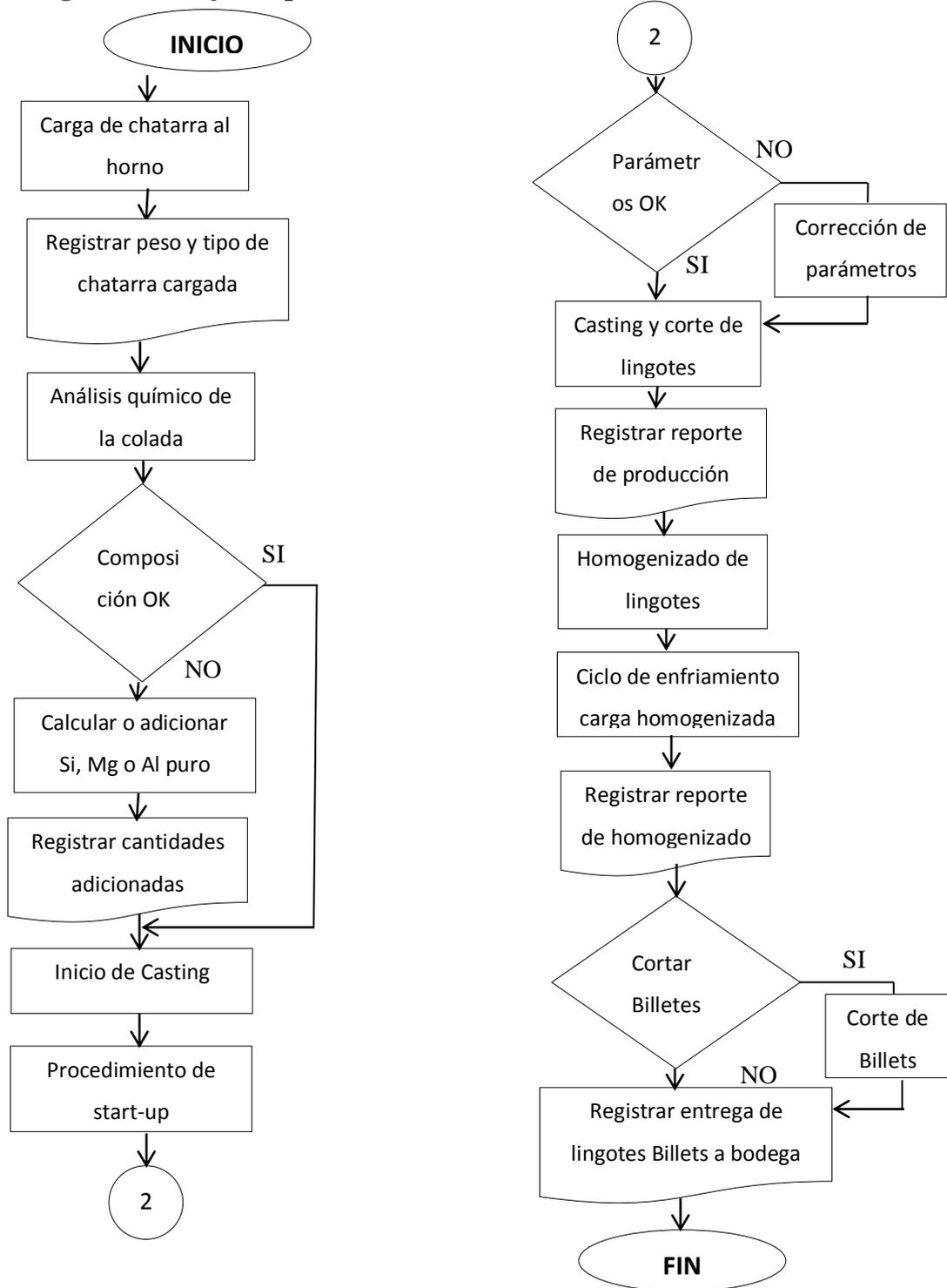
La Tabla 1.3 describe las actividades en el proceso de Fundición.

Tabla 1. 3: Descripción de actividades en el proceso de fundición

ACTIVIDADES EN EL PROCESO DE FUNDICIÓN EN CEDAL S.A.										
PASO	Nombre/ Actividad Descripción/O peración	Maquina/Herra menta	Característica/Con trol		Control de Proceso/ Producto					Responsable
			Proceso	Product o	Especificación Tolerancia	Instrumento de medición o control	Muestra		Registro de control/ documento	
							Tama ño	Frecuencia		
10	Carga de chatarra y Al primario al horno	Montacargas	Peso	-	<3200Kg.	Balanza	1	c/carga	FO-FN-01	Operador
20	Análisis químico de la colada	Espectrómetro	IT-FN-01		IT-FN-02	IT-FN-01	1	c/hora	FO-FFN-06	Jefe de Turno
30	Calculo de aleantes Si y Mg	Computadora/ Programa cálculo de aleantes	IT-FN-02		IT-FN-02	-	1	c/hora	FO-FN-01	Jefe de Turno
40	Adición de Si y Mg	Plataforma de Horno	-		-	-	1	c/hora	FO-FN-01	Ayudante de Fundición
50	Control de proceso	Equipo de Casting			IT-FN-03	IT-FN-03	FO-FN-03		FO-FN-03	Especialista
60	Tratamiento térmico de Homogenizado	Horno de Homogenizado	Tiempo	-	8horas +/- 1hora	Reloj	1	c/ciclo	FO-FN-02	Jefe de Turno
			Temperatura	-	Ciclo de temperatura 580°C +/- 20°C	Control de Temperatura	1	c/ciclo		

70	Enfriamiento de Lingotes	Paneles de Enfriamiento	-	-	3 horas +/- 30 min	Reloj	1	c/ciclo		Jefe de Turno
80	Corte de Tochos	Sierra de tochos	-	-	Longitud	Flexómetro	-	FO-FN-04		Ayudante General

c. **Diagrama de flujo del proceso de fundición⁴**



d. **Descripción del proceso de fundición**

a) **Equipos principales**

El proceso de fundición es una planta de refusión de aluminio tipo compacta de colada continua de lingotes, la cual está compuesta de 3 partes principales:

⁴**Fuente:** Departamento de Fundición CEDAL S.A.

1.- Horno de Fusión de aluminio+ equipo de carga.

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

3.- Horno de Homogenizado.

Cada uno de estos equipos se encuentra conformado por diferentes partes equipos Secundarios:

1.- Horno de fusión de aluminio +equipo de carga.

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

2.-Equipo de casting (moldeo de lingotes)

- Canales y sistema de control de flujo de aluminio a la salida del horno (cono de regulación).
- Unidad descalificadora: Compuesta por un rotor y un impeller de grafito que inyectan argón a la colada.
- Tundish + Filtro: que filtran las posibles impurezas en la colada y se encarga de alimentar el aluminio que se requieren en los moldes.
- Moldes: Elementos de aleación de cobre que dan la forma circular a los lingotes. Se encuentran refrigerados con agua y poseen un sistema de lubricación con aceite vegetal biodegradable. Para controlar el flujo que se requiere, los moldes están acoplados a varios elementos cerámicos (placas, empaques).
- Mesa de Salida: Sistema se Conveyor de cadena que guía los lingotes luego del Tundish.
- Sierra Volante: Sierra que corta los lingotes a la longitud requerida en forma dinámica.
- Sistema expulsor de lingotes.

3.- Horno de homogenizado

- Carros de Carga (2).
- Horno.

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

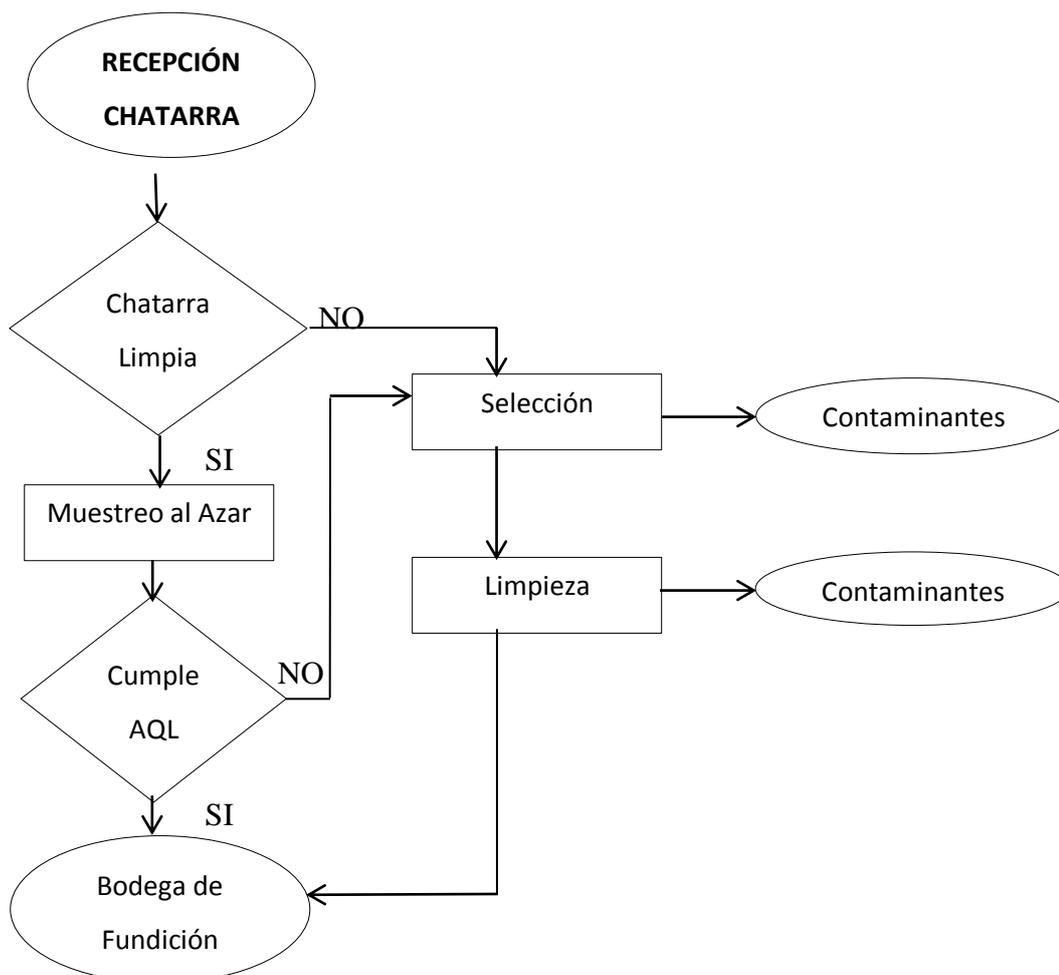
b) Materia prima

Para el proceso de fundición se utiliza como materia prima:

- 1.- Chatarra genera en los procesos de extrusión, anodizado, pintura y empaque de la planta CEDAL.
- 2.- Chatarra adquirida a proveedores externos, aleación 6063, 6060, 6061 o 6005.
- 3.- Aluminio puro- pureza > 99,5% (aluminio primario).
- 4.- aluminio de segunda. Fusión aleación 6063, 6060, 6061 o 6005.

A continuación, se describe el diagrama de flujo correspondiente a la recepción de chatarra.

e. Diagrama de flujo de recepción de chatarra



En la tabla 1.4 se detalla la Chatarra Producida en el periodo Dic-Feb 2012-2013

Tabla 1. 4: Chatarra producida en el periodo Dic-Feb 2012-2013

CHATARRA PRODUCIDA DURANTE EL PERIODO DIC-FEB 2012-2013													
dic-12													
	Total producción bruta		969,079 kg.										
Cedal	Negra Nac.	Mesa Imp.	Negra Imp.	Al. 99.8%	2da.F.Imp.	Viruta	BRECHAZADO	BREPROCESO	2da.F.Nac.	Comp.Viruta	BRETAZOS	Alam. Naci	Alam. Impor.
245,541	55,875	131,375	-	274,079	-	14,900	-	193,694	5,178	1,282	6,765	6,649	78,742
24%	6%	13%	0%	27%	0%	1%	0%	19%	1%	0%	1%	1%	8%
ene-13													
	Total producción bruta		1,108,044 kg.										
Cedal	Negra Nac.	Mesa Imp.	Negra Imp.	Al. 99.8%	2da.F.Imp.	Viruta	BRECHAZADO	BREPROCESO	2da.F.Nac.	Comp.Viruta	BRETAZOS	Alam. Naci	Alam. Impor.
313,552	147,913	128,089	-	310,580	-	7,400	-	200,775	1,562	100	3,600	35,118	12,054
27%	13%	11%	0%	27%	0%	1%	0%	17%	0%	0%	0%	3%	1%
feb-13													
	Total producción bruta		1,026,397 kg.										
271,326	138,715	13,353	-	394,848	-	12,000	48,967	104,071	4,890	2,100	-	91,881	-
25%	13%	1%	0%	36%	0%	1%	5%	10%	0%	0%	0%	8%	0%

c) Elementos de aleación o insumos principales

La aleación propuesta 6063. Requiere controlar los siguientes elementos de aleación principalmente:

- 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.

Como insumos principales se usan:

- Tibor (Titanio-Boro).- utilizado como refinador de grano.
- Argón.- gas inerte usado como medio para desgasificar la colada de aluminio en la unidad desgasificadora a la salida del horno.
- Aceite lubricante para los moldes.
- Materiales cerámicos.- utilizados en los canales, Tundish y para la preparación de los moldes.
- Materiales varios.- barras de grafito, aceite para corte, o-rings, polvo desmoldante.

1.1.5. Parámetros de composición química de lingotes producidos en Cedal S.A.⁵

En el Departamento de fundición se fabrican las aleaciones 6063 y 6005, utilizando una composición química libre de silicio.

⁵FUENTE: Departamento de Fundición CEDAL S.A.

La tabla 1.5 detalla los parámetros de composición química utilizadas en CEDAL.

Tabla 1. 5: Parámetros de composición química utilizada en CEDAL.

PARÁMETROS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA UTILIZADA EN CEDAL (LIBRE DE SILICIO)								
ALEACIÓN	COMPISICIÓN QUÍMICA EN %							
	Fe	Si	Mg	Mn	Cu	Zn	Cr	Ti
6063	máx 0,3	0,44- 0,52	0,46- 0,52	máx 0,08	máx 0,10	máx 0,03	máx 0,01	máx 0,05
6005	máx 0,3	0,65- 0,70	0,50- 0,52	máx 0,10	máx 0,10	máx 0,10	máx 0,10	máx 0,10

- La tabla N.-1.5 detalla la composición química usada en CEDAL, sólo rige en orden interno y acatándose estos parámetros en la producción.
- La creación de los porcentajes fue interna, en base a pruebas experimentales.
- No se producen lingotes de la aleación 6061. (La composición química es difícil de controlar).
- La aleación 6063 es para aluminio arquitectónico.
- La aleación 6005 es para aluminio estructural.

1.1.6. Mesa de formación de lingotes de aluminio

La mesa de formación de lingotes de aluminio es el lugar donde se conforman los lingotes, según el tipo de aleación solicitada y dependiendo de parámetros de longitud de corte.

La figura 1.6 visualiza la mesa de formación de lingotes, la cuál será automatizada según requerimientos del personal de fundición. El proceso a seguir para conseguir dicha automatización, será descrito en los capítulos siguientes.



Figura 1. 6: Mesa de formación de lingotes de aluminio

1.2. TRANSFERENCIA DE CALOR ⁶

1.2.1. Definición:

La transferencia de calor es el paso de energía térmica desde un cuerpo de mayor temperatura a otro de menor temperatura. En la figura 1.7 se visualiza el cambio de energía térmica de un material ferroso.



Figura 1. 7: Transferencia de calor de un material ferroso.

Cuando un cuerpo, por ejemplo, un objeto sólido o un fluido, está a una temperatura diferente de la de su entorno u otro cuerpo, la transferencia de energía térmica, también conocida como transferencia de calor o intercambio de calor, ocurre de tal manera que el cuerpo y su entorno alcancen equilibrio térmico. La transferencia de calor siempre ocurre desde un cuerpo más caliente a uno más frío, como resultado de la Segunda ley de la termodinámica. Cuando existe una diferencia de temperatura entre dos objetos en proximidad uno del otro, la transferencia de calor no puede ser detenida; solo puede hacerse más lenta.

Software COMSOL4.4⁷

COMSOL Multiphysics™ es una herramienta de modelado y análisis para prototipaje virtual de fenómenos físicos. Puede modelar virtualmente cualquier fenómeno físico que un ingeniero o científico pueda describir con ecuaciones diferenciales parciales (PDE), incluyendo transferencia de calor, movimiento de fluidos, electromagnetismo y mecánica estructural, soportando la integración de problemas de diferentes campos- Multifísica.

⁶**Cross, F.** Transferencia de calor. Artículo disponible en:

http://es.wikipedia.org/wiki/Transferencia_de_calor

⁷ **Addlink Software Científico, S.L.** (2013): COMSOL Multiphysics 4.4. España. Disponible en: <http://www.addlink.es/productos/software/comsol-multiphysics-detail>

Las prestaciones de multifísica integradas en COMSOL Multiphysics capacitan al usuario para simultáneamente modelar cualquier combinación de fenómenos. A través de estas prestaciones, COMSOL Multiphysics integra las dos formas posibles de modelar (a través de aplicaciones predefinidas que permiten crear el modelo fijando las cantidades físicas que caracterizan el problema, y a través de las ecuaciones que modelan el problema) y permite combinarlas.

a. Características

- Interfaz gráfica "amigable" e interactiva para todas las etapas del proceso de modelado.
- Ilimitadas prestaciones de multifísica.
- Formulación general para un modelado rápido y sencillo de sistemas arbitrarios de PDEs.
- Multifísica multidimensional para modelado simultáneo de sistemas en 1D, 2D y 3D.
- Incorpora herramientas CAD para modelado sólido en 1D, 2D y 3D.
- Permite importar y reparar la geometría de archivos CAD en formato DXF e IGES. En particular, permite la importación de archivos creados en AutoCAD y CATIA.
- Generación automática y adaptativa de mallas, con un control explícito e interactivo sobre su tamaño.
- Disponibles "solvers" iterativos para problemas estacionales lineales y no lineales, dependientes del tiempo, y de valores propios.
- Postprocesado interactivo que permite visualizar cualquier función de la solución.
- Integración total con MATLAB y sus toolboxes.

1.3. AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES

1.3.1. Automatización industrial

Automatización es el uso de sistemas de control y de tecnología informática para reducir la necesidad de la intervención humana en un proceso. Las principales ventajas de aplicar automatización a un proceso son:

- Producción más eficiente y disminución de riesgos al operador.
- Reemplazo de operadores humanos en tareas repetitivas o de alto riesgo.

- Reemplazo de operador humano en tareas que están fuera del alcance de sus capacidades como levantar cargas pesadas, trabajos en ambientes extremos o tareas que necesiten manejo de una alta precisión.
- Incremento de la producción. Al mantener la línea de producción automatizada, las demoras del proceso son mínimas, no hay agotamiento o desconcentración en las tareas repetitivas, el tiempo de ejecución se disminuye considerablemente según el proceso.

a. Tipos de automatización

Existen cinco formas de automatizar en la industria moderna, se debe analizar cada situación a fin de decidir correctamente el esquema más adecuado que se adapte a las necesidades de la empresa. A partir de este principio, los tipos de automatización son:

- Control Automático de Procesos.
- El Procesamiento Electrónico de Datos.
- La Automatización Fija.
- El Control Numérico Computarizado.
- La Automatización Flexible.

Control Automático de Procesos.- Se refiere usualmente al manejo de procesos caracterizados de diversos tipos de cambios (generalmente químicos y físicos); un ejemplo de esto lo podría ser el proceso de refinación de petróleo.

El Proceso Electrónico de Datos.- Frecuentemente es relacionado con los sistemas de información, centros de cómputo, etc. Sin embargo en la actualidad también se considera dentro de esto la obtención, análisis y registros de datos a través de interfaces y computadores.

La Automatización Fija.- Es aquella asociada al empleo de sistemas lógicos tales como: los sistemas de relevadores y compuertas lógicas; sin embargo estos sistemas se han ido flexibilizando al introducir algunos elementos de programación como en el caso de los (PLC'S) O Controladores Lógicos Programables.

CNC.- Un mayor nivel de flexibilidad lo poseen las máquinas de control numérico computarizado. Este tipo de control se ha aplicado con éxito a Máquinas de Herramientas de Control Numérico (MHCN). Entre las MHCN podemos mencionar:

- Fresadoras CNC.

- Tornos CNC.
- Máquinas de Electro-erosionado
- Máquinas de Corte por Hilo, etc.

Automatización Flexible.- El mayor grado de flexibilidad en cuanto a automatización se refiere es el de los Robots industriales que en forma más genérica se les denomina como "Celdas de Manufactura Flexible".

1.3.2. Herramientas de automatización

Existen diferentes tipos de herramientas para la automatización como:

- ANN - Artificial Neural network
- DCS - Distributed Control System
- HMI - Human Machine Interface
- SCADA - Supervisory Control and Data Acquisition
- PLC - Programmable Logic Controller
- PAC - Programmable automation controller
- Instrumentación
- Control de movimiento, etc.

Para la realización del presente proyecto se utilizará las siguientes herramientas de automatización.

a. PLC (Controlador lógico programable)

PLC es un dispositivo que procesa señales de entrada por medio de una lógica de control para activar unas salidas. La lógica de control es desarrollado por el usuario usando un lenguaje de programación dedicado (software). En la figura 1.8 se observa un PLC MicroLogix 1100 de la familia Allen Bradley.



Figura 1. 8: PLC MicroLogix 1100

El PLC⁸ por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. Su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones en donde es necesario un proceso de maniobra, control, señalización, etc., por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industriales de cualquier tipo a transformaciones industriales, control de instalaciones, etc.

1.3.2.a.1. Criterios de selección de un PLC⁹

Los Controladores Programables están disponibles en todas las formas y tamaños cubriendo un amplio espectro de capacidades. En el límite bajo están los controladores “reemplazadores de relés” con mínimas entradas, salidas y capacidades de memoria. En el límite alto están los grandes controladores supervisores que juegan un rol importante en sistemas jerárquicos, llevando a cabo una gran variedad de funciones de control y adquisición de datos.

La tabla N.-1.6, detalla los criterios de selección de un PLC.

Tabla 1. 6: Criterios de selección de un PLC

CRITERIOS DE SELECCIÓN DE UN PLC	
PASO	ACCIÓN
1	Conocer el proceso a ser controlado
2	Determinar el tipo de control <ul style="list-style-type: none"> • Control Distribuido • Control Centralizado • Control Individual
3	Determinar los requerimientos de interfaces de entradas y salidas <ul style="list-style-type: none"> • Número de entradas y salidas digitales y analógicas • Especificaciones de entradas y salidas • Requerimientos de entradas y salidas remotas • Requerimientos de entradas y salidas especiales • Aplicación de redes bus de entradas y salidas • Futuros planes de expansión
4	Determinar el lenguaje de software y funciones <ul style="list-style-type: none"> • Ladder, Booleano, y/o alto nivel

⁸**Universidad Nacional de Córdoba:** Controlador Lógico Programable-PLC. Córdoba-Argentina. Disponible en: http://www.efn.uncor.edu/departamentos/electro/cat/eye_archivos/apuntes/a_practico/CAP%209%20Pco.pdf

⁹**Repositorio digital EPN:** Introducción a la Selección De PLC's. Quito Ecuador. Disponible en: bibdigital.epn.edu.ec

	<ul style="list-style-type: none"> • Instrucciones básicas (temporizadores, contadores, etc.) • Funciones e instrucciones ampliadas (operadores matemáticos, PID, etc.) • Lenguajes IEC 1131-3
5	Considerar el tipo de Memoria <ul style="list-style-type: none"> • Volátil (R/W) • No Volátil (EEPROM, EPROM, UVPR0M, etc.) • Combinación de Volátil y No Volátil
6	Considerar capacidad de memoria <ul style="list-style-type: none"> • Requerimientos de memoria basado en el uso de memoria por instrucción • Memoria extra para programación compleja y expansión futura
7	Evaluar requerimientos del Scan Time del procesador
8	Definir requerimientos de dispositivos de programación y almacenamiento <ul style="list-style-type: none"> • Computador personal • Almacenamiento en disco • Capacidades funcionales del dispositivo de programación
9	Definir requerimientos de periféricos <ul style="list-style-type: none"> • Desplegadores de mensajes y alarmas • Interfaces de Operador • Impresoras en línea • Sistema de generación de reportes
10	Determinar cualquier restricción física y ambiental <ul style="list-style-type: none"> • Espacio disponible para el sistema • Condiciones ambientales
11	Evaluar otros factores que puedan afectar la selección <ul style="list-style-type: none"> • Soporte del vendedor (servicio posventa) • Pruebas de fiabilidad del producto • Objetivos de la planta en cuanto a estandarización de productos

b. Variador de frecuencia¹⁰

Un variador de frecuencia VFD (Variable Frequency Drive) es un dispositivo que permite controlar la velocidad de rotación de un motor de corriente alterna a través del control de la frecuencia de alimentación suministrada al mismo.

En la figura 1.9 se puede visualizar el esquema interno de un variador de frecuencia.

¹⁰ FRAILE MORA, JESUS. (2008). máquinas eléctricas (6ª Edición). McGraw-Hill / interamericana de España, s.a.

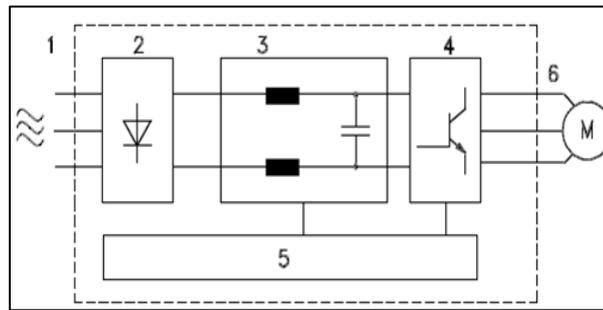


Figura 1. 9: Esquema interno de un variador de frecuencia

Dónde:

- 1. Alimentación:** Puede ser monofásica o trifásica.
- 2. Rectificador:** Convierte la señal alterna de la red en una señal continua.
- 3. Filtro:** Evita las interferencias en el circuito.
- 4. Inversor:** Es el encargado de convertir la señal continua en señal alterna.
- 5. Microprocesador:** Encargado de regular la frecuencia de la señal.
- 6. Salida:** El voltaje de salida no es una señal senoidal, es una señal pulsante y la señal de corriente si es una señal senoidal.

Principio de Funcionamiento

Los dispositivos variadores de frecuencia operan bajo el principio de que la velocidad síncrona de un motor de corriente alterna (CA) está determinada por la frecuencia de CA suministrada y el número de polos en el estator, de acuerdo con la relación mostrada en la ecuación 1.1:

$$RPM = \frac{120 * f}{p} \quad \text{Ec. 1.1}$$

Dónde:

RPM = Revoluciones por minuto

f = frecuencia de suministro CA (Hercio)

p = Número de polos (adimensional)

Las cantidades de polos más frecuentemente utilizadas en motores síncronos o en motor asíncrono son 2, 4, 6 y 8 polos.

c. Motorreductor

Los Reductores y los Motorreductores son elementos mecánicos muy adecuados para el accionamiento de todo tipo de máquinas y aparatos de uso industrial, que se necesiten reducir su velocidad de una forma eficiente, constante y segura. Las ventajas de usar Reductores y/o Motorreductores son:

- Alta eficiencia de la transmisión de potencia del motor.
- Alta regularidad en cuanto a potencia y par transmitidos.
- Poco espacio para el mecanismo.
- Poco tiempo de instalación y mantenimiento.
- Elemento seguro en todos los aspectos, muy protegido.

Principio de Funcionamiento

Los motorreductores se suministran normalmente acoplado a la unidad reductora un motor eléctrico normalizado asíncrono tipo jaula de ardilla, totalmente cerrado y refrigerado por ventilador para conectar a redes trifásicas de 220/440 voltios y 60Hz. Para proteger eléctricamente el motor es indispensable colocar en la instalación de todo Motorreductor un guarda motor que limite la intensidad y un relé térmico de sobrecarga. Los valores de las corrientes nominales están grabados en las placas de identificación del motor. Normalmente los motores empleados responden a la clase de protección IP-44 (Según DIN 40050).

d. Termopares¹¹

Los termopares o Termocuplas son el sensor de temperatura más común utilizado industrialmente. Una Termocupla se hace con dos alambres de distinto material unidos en un extremo (soldados generalmente), al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño (efecto Seebeck) del orden de los milivolts el cual aumenta con la temperatura.

1.3.2.d.1. Tipos de termopares

Existen una infinidad de tipos de termocuplas, pero casi el 90% de las termocuplas utilizadas son del tipo J ó del tipo K. La tabla 1.7 detallan las termocuplas más comunes usadas en la industria.

Tabla 1. 7: Tipo de termopares

TIPOS DE TERMOPARES				
Tc	Cable + Aleación	Cable -Aleación	°C	Rango Volts (Min,Max) Max mV
J	Hierro	Cobre/nickel	(-180,750)	42,3
K	Nickel/cromo	Nickel/aluminio	(-180,1372)	54,8
T	Cobre	Cobre/Nickel	(-254,400)	20,8

¹¹ARIAN S.A. (2013): Que son y cómo funcionan las Termocuplas. Santiago de Chile. Disponible en: <http://www.arian.cl/downloads/nt-002.pdf>

R	87% Platino 13% Rhodio	100% Platino	(0,1767)	21,09
S	90% Platino 10% Rhodio	100% Platino	(0,1767)	18,68
B	70% Platino 30% Rhodio	94% Platino 6% Rhodio	(0,1820)	13,814

1.3.3. Control de procesos¹²

Control es la manipulación manual o automática de una variable dinámica.

- **Manual.-** Cuando en el proceso de regulación interviene el Operador.
- **Automático.-** Cuando en el proceso de regulación **no** interviene el operador, lo realiza un dispositivo diseñado para esto.
- **Proceso.-** Es el conjunto de fenómenos relacionados entre sí los cuales tienen un propósito o fin.

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

Las principales características que se deben buscar en un sistema de control son:

- Mantener el sistema estable, independiente de perturbaciones y desajustes.
- Conseguir las condiciones de operación objetivo de forma rápida y continua.
- Trabajar correctamente bajo un amplio abanico de condiciones operativas.
- Manejar las restricciones de equipo y proceso de forma precisa.

1.3.4. Tipos de control

Los sistemas de control pueden ser:

- De lazo abierto
- De lazo cerrado

a. De lazo (o bucle) abierto¹³

¹²Pastrano, M. (2011).Control de Procesos: Nicaragua. Disponible en:

http://pastranamoreno.files.wordpress.com/2011/03/control_procesos-valvulas.pdf

¹³URIARTE, J. IES Sta. María De Alarcos (2010-2011): Sistemas Automáticos y de control. Disponible en:

<http://ieshuelin.com/huelinwp/download/Tecnologia/Tecnologia%20industrial/3-SISTEMAS-DE-CONTROL-AUTOMaTICO.pdf>

Aquellos en los que la acción de control es independiente de la salida, es decir, que la señal de salida no influye sobre la entrada.

La figura 1.10 detalla el diagrama de bloques del control a lazo cerrado.

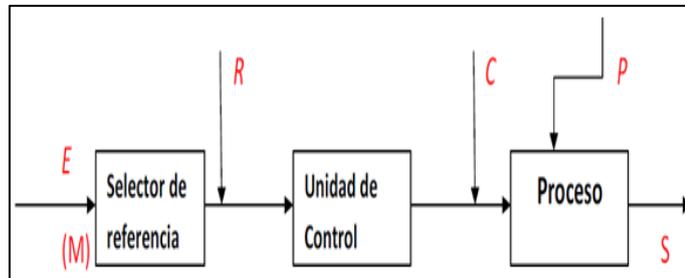


Figura 1. 10: Control a lazo abierto

Selector de referencia: Evalúa la señal de mando para establecer una señal de referencia, que controlará todo el proceso.

Unidad de control: Adapta convenientemente la señal de referencia para que pueda actuar o controlar el proceso.

Proceso: Realiza todas las acciones que sean necesarias para obtener la salida esperada.

En color rojo se identifican las señales que intervienen:

E= Señal de entrada ó “de mando” (determinará cuál será el nivel de salida deseado). Puede ser manipulada por el operador del sistema, para modificar convenientemente la salida.

S= Salida, ó “variable gobernada” (pues dependerá de la entrada ó señal de mando).

C= señal de control, o “variable manipulada”, es la señal de referencia convenientemente tratada para que pueda actuar sobre el proceso del sistema de control.

R= señal de referencia, que guarda una relación directa con la señal de entrada.

P= perturbación, constituida por todas las señales indeseadas que afectan al proceso. Pueden ser internas o externas.

b. De lazo (o bucle) cerrado

Aquellos en los que la acción de control depende en parte de la salida (parte de la señal de salida, convenientemente tratada, se realimenta introduciéndose de nuevo en el sistema como una entrada más).

Concepto de Realimentación: Propiedad por la cual se compara la salida con la entrada al sistema, de modo que se establezca una función entre ambas. También se la denomina “feedback”.

La figura 1.11 detalla el diagrama de bloques del control a lazo cerrado

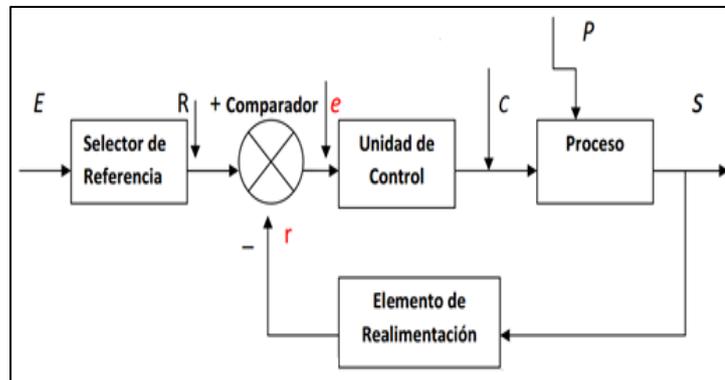


Figura 1. 11: Control a lazo cerrado

En color rojo (figura número 1.11) se identifican las nuevas señales que intervienen:

r= Señal de realimentación.

e= Señal de error (diferencia entre los valores de entrada y salida). Actúa sobre el sistema de control con el sentido de reducirse a cero y llegar a la salida de forma correcta.

1.3.5. Modos de control

Existen varios modos de control, entre los cuales tenemos: el control On/Off, controlador proporcional (P), controlador integral (I), controlador derivativo (D), controlador proporcional-integral (PI), controlador proporcional derivativo (PD), controlador proporcional-integral-derivativo, etc.

a. Controlador proporcional integral derivativo (PID)

Este controlador es el más completo y complejo, tiene una respuesta más rápida y estable siempre que esté bien sintonizado. La Ecuación 1.2 detalla la función de transferencia de un PID.

Resumiendo se puede decir que:

- El control proporcional actúa sobre el tamaño del error.
- El control integral rige el tiempo para corregir el error.
- El control derivativo le brinda la rapidez a la actuación.

$$\text{Función de Transferencia: } Kp + \frac{1}{sTi} + sTd \quad \text{Ec. 1.2}$$

Dónde:

Kp: Constante proporcional

Ti: Tiempo Integral

Td: Tiempo Derivativo

1.4. SCADA

SCADA proviene de las siglas de Supervisor Control And Data Acquisition (Adquisición de datos y supervisión de control). Es una Aplicación de software, diseñada para correr sobre PC, proporciona una buena interfaz usuario – planta.

En la figura 1.12 se visualiza un interfaz gráfico del operador de propia de un SCADA.

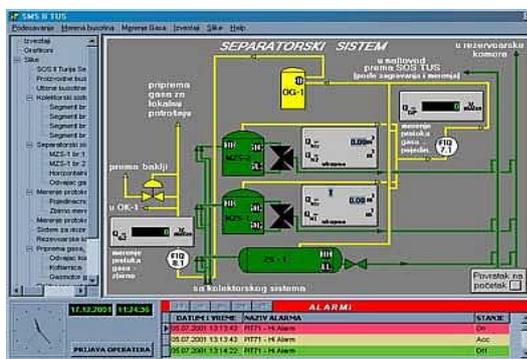


Figura 1. 12: Interfaz gráfico del operador

1.4.1. Funciones básicas del SCADA

La tabla 1.8 detalla las funciones básicas del SCADA

Tabla 1. 8: Funciones básicas del SCADA

FUNCIONES BASIICAS DEL SCADA	
FUNCIÓN	DETALLE
Adquisición de datos	Para coleccionar, almacenar y procesar la información recibida.
Supervisión	Para observar desde un monitor la evolución de las variables de control.
Control	Para modificar la evolución del proceso, actuando sobre los controladores digitales que realizan el control directo (PLC's y CNC's) o bien directamente sobre el proceso, mediante salidas de acción directa.
Pasarela	Integración vertical de la información. Transmisión entre dispositivos de campo y niveles de gestión.
Base de datos:	Gestión de una base de datos con señales de proceso
Representación gráfica de datos	Se representan la tendencia de las señales, permitiendo acciones predictivas. Generación de históricos de señal de

	planta
Explotación e interpretación de datos	Módulos para Gestión de Calidad, Control Estadístico, Gestión Administrativa y Financiera. (Herramientas externas al SCADA + Base de datos flexible)
Gestión de alarmas	Paneles de alarma, que exigen la presencia del operador para reconocer una parada o situación de alarma, con registro de incidencias y de los eventos asociados a la alarma.
Rutinas de control	Programación en lenguajes superiores de operaciones de control no críticas en tiempo, modificación de consignas y programas de PLC's y/o cálculo numérico de elevada resolución.

1.4.2. FactoryTalk view studio¹⁴

Tanto FactoryTalk ® View Site Edition y FactoryTalk View Machine Edition comparten un entorno de diseño común llamado FactoryTalk View Studio que permite crear aplicaciones en un solo entorno de diseño. FactoryTalk View Studio es compatible con la edición y reutilización de proyectos para la mejora de la portabilidad entre la máquina y sistemas HMI de supervisión. Con FactoryTalk View, todos los productos de software están construidos sobre la misma arquitectura integrada y escalable. Los desarrolladores de proyectos pueden importar aplicaciones completas a nivel de máquina; en las aplicaciones a nivel de supervisión se puede arrastrar componentes individuales y colocarlos directamente en proyectos de supervisión, ahorrando tiempo de desarrollo y la reducción de los costes de ingeniería y formación.

Los usuarios también pueden importar aplicaciones de Panel Builder 32 (PanelView) en aplicaciones FactoryTalk View Machine Edition y RSView32 en FactoryTalk View Site Edition.

Con FactoryTalk View Studio, se puede:

- Configurar un solo puesto de operador o configurar una aplicación distribuida todo desde un solo lugar

• ¹⁴ **Rockwell Automation.** (2014): Página principal. USA. Disponible en: <http://www.rockwellautomation.com/rockwellsoftware/performance/view/viewstudio.html>

- Crear etiquetas de acceso de los servidores OPC en todo el sistema a través de un explorador de etiquetas que presenta las variables PLC directos y variables HMI en una jerarquía lógica
- Remotamente configurar servidores RSLinx y FactoryTalk View Site Edition
- Crear pantallas usando un editor gráfico con todas las funciones

1.5. COMUNICACIÓN INDUSTRIAL

1.5.1. Proceso de comunicación industrial¹⁵

El objetivo principal del proceso de comunicación industrial es la comunicación totalmente integrada en el sistema. Esto reporta la máxima flexibilidad y permite integrar sin problema productos de otros fabricantes a través de los interfaces software estandarizado.

Las aplicaciones industriales basadas en comunicación digital se han incrementado haciendo posible la conexión de sensores, actuadores y equipo de control en una planta de procesamiento. La comunicación digital debe integrar la información provista por los elementos de campo en el sistema de control de procesos.

1.5.2. Niveles de una red industrial

En la industria coexisten una serie de equipos y dispositivos dedicados al control de una máquina o una parte cerrada de un proceso. Entre estos dispositivos están los autómatas programables, ordenadores de diseño y gestión, sensores, actuadores, etc.

El desarrollo de las redes industriales ha establecido una forma de unir todos estos dispositivos, aumentando el rendimiento y proporcionando nuevas posibilidades de comunicación a nivel industrial.

Cabe recalcar que el nivel de una red industrial está ligado con el nivel de automatización que posea la planta. En la figura N.- 1.13 se detallan los niveles de una red Industrial.

¹⁵**UNIVERSIDAD DE OVIEDO.** Ingeniería Electrónica y Automática: Comunicaciones Industriales. España. Disponible en:
<http://isa.uniovi.es/docencia/iea/teoria/comunicacionesindustrialesdocumento.pdf>

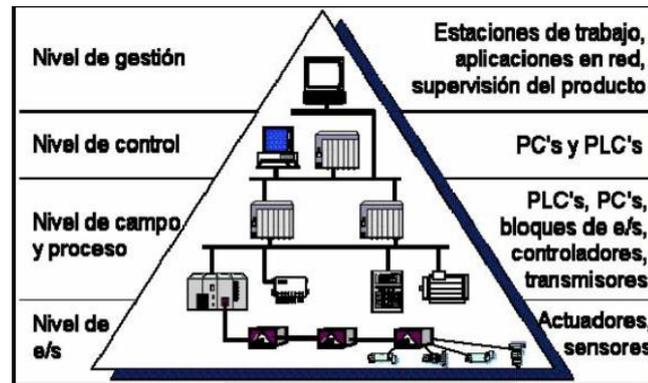


Figura 1. 13: Niveles de una red industrial

- **Nivel de gestión:** Es el más elevado y se encarga de integrar los niveles siguientes en una estructura de fábrica, e incluso de múltiples factorías. Las máquinas aquí conectadas suelen ser estaciones de trabajo que hacen de puente entre el proceso productivo y el área de gestión, en el cual se supervisan las ventas, stock, etc. Se emplea una red de tipo LAN (Local Área Network) o WAN (Wide Área Network).
- **Nivel de control:** Se encarga de enlazar y dirigir las distintas zonas de trabajo. A este nivel se sitúan los autómatas de gama alta y los ordenadores dedicados al diseño, control de calidad, programación, etc. Se suele emplear una red de tipo LAN.
- **Nivel de campo y proceso:** Se encarga de la integración de pequeños automatismos (autómata compacto, multiplexores de E/S, controladores PID, etc.) dentro de sub-rede o "islas". En el nivel más alto de estas redes se suelen encontrar uno o varios autómatas modulares, actuando como maestro de la red o maestro flotante. En este nivel se emplean los buses de campo tradicionales, aunque también tienen cabida redes superiores como Ethernet Industrial bajo ciertas premisas que aseguren el determinismo en la red.
- **Nivel de E/S:** Es el nivel más próximo al proceso. Aquí están los sensores y actuadores, encargados de manejar el proceso productivo y tomar la medida necesaria para la correcta automatización y supervisión. Se tratan de sustituir los sistemas de cableado tradicionales por buses de campo de prestaciones sencillas y sistemas de periferia descentralizada.

Esta estructura, sin embargo, no es universal, habrá casos en lo que conste de un número mayor o menor de niveles, dependiendo del tamaño del proceso y de la propia industria.

1.5.3. Ethernet industrial

Ethernet es una especificación para redes de área local que comprende el nivel físico y el nivel de enlace del modelo de referencia ISO/OSI. Se implementa en principio sobre una topología bus serie con mecanismo CSMA/CD para el control del acceso al medio (MAC).

Se implementaba originalmente sobre cable coaxial, codificándose la señal en banda base mediante el código Manchester. Sin embargo se han desarrollado especificaciones para que la red Ethernet se pueda implementar sobre otros soportes físicos: par trenzado, fibra óptica, etc. y soportando mayores velocidades de transmisión.

a. Medios de transmisión de la red ethernet

Como ya se mencionó anteriormente, Ethernet fue una red en bus basada en cable coaxial. Pero estos cables planteaban problema de fiabilidad, limitaban el alcance geográfico de la red a uno o dos kilómetro e impedían el aumento de la velocidad de la red por encima de los 10 Mbps (megabit por segundo) originales.

Actualmente el cableado más popular es el par trenzado bajo las denominaciones 10BASE-T y 100BASE-TX (para 10 y 100 Mbps respectivamente). En ambos casos se trata de cable de cobre formado por cuatro pares trenzados apantallados o sin apantallar (STP y UTP, respectivamente). El cable de Categoría 5 es el más habitual ya que proporciona la calidad suficiente para la transmisión hasta 100 Mbps. Los cables se conectan a los equipos de la red mediante conectores RJ-45. La figura 1.14 detalla el cable de par trenzado y conector RJ-45.

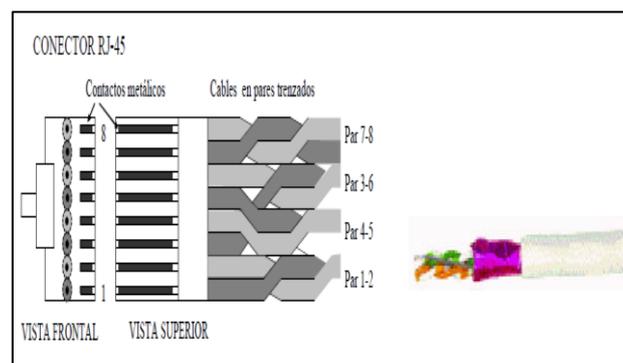


Figura 1. 14: Cable de par trenzado y conector RJ-45

En la actualidad también se utiliza la fibra óptica (10BASE-FL o 100BASE-FX). El cable de fibra óptica es más caro, pero puede ser útil en áreas donde hay grandes interferencias electromagnéticas, como en la planta de una fábrica o cuando la distancia a salvar es demasiado extensa.

CAPÍTULO II

DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

2.1. CONSIDERACIONES PARA LA DETERMINACIÓN DE ESPECIFICACIONES.

El departamento de Fundición de CEDAL S.A., con el objeto de aumentar su productividad, surge la necesidad de automatizar sus procesos de producción; uno de ellos es la mesa de conformación de lingotes de aluminio.

La mesa de conformación de lingotes de aluminio no cuenta con un control automático de velocidad, por lo cual se plantea como objetivo primordial automatizar la velocidad de la mesa.

En la actualidad, el control de velocidad de la mesa es manual. El proceso de control toma como referencia la temperatura del Tundish y a través de esta lectura se varía manualmente un potenciómetro el cuál está conectado a un variador de velocidad el cual determina la velocidad a la cuál debe girar la mesa.

La relación entre temperatura y velocidad es inversa, es decir a mayor temperatura la velocidad debe ser mínima; y a menor temperatura mayor velocidad.

Con un control manual (a través de un potenciómetro) la relación no es inversamente proporcional, ya que los operadores no varían el potenciómetro de acuerdo a las lecturas de la temperatura, conllevando a que los lingotes producidos no salgan con características óptimas de composición y forma.

En los próximos ítems se detallará el diseño implementado para el control automático de velocidad, con la relación inversa entre temperatura y frecuencia.

El proceso de fundición de Cedal es único en el país, adoptando normas de control de calidad internacionales y estándares propios de producción.

2.2. LA CASA DE LA CALIDAD

Las especificaciones técnicas para la automatización de la mesa de conformación de lingotes, son determinadas a través de la casa de la calidad que es una herramienta del QFD (Despliegue de la función calidad); cuya función es

transformar las demandas del usuario en la calidad del diseño, implementar las funciones que aporten más calidad, e implementar métodos para lograr calidad del diseño en subsistemas y componentes, y en última instancia a los elementos específicos del proceso de fabricación.

Para aplicar la casa de la calidad, se necesita la intervención de tres entes:

1. El cliente, quien manifiesta los requerimientos y deseos a satisfacer en el producto o proceso.
2. El ingeniero, quien recopila la información del cliente y los pasa a requerimientos técnicos.
3. Resultados, que son la valoración de los requerimientos en jerarquía de importancia (escala).

2.2.1. Requerimientos del cliente

De acuerdo al personal del departamento de Fundición de la empresa CEDAL S.A., los requerimientos a satisfacer son:

- Se requiere un control manual y automático de la mesa de conformación de lingotes de aluminio.
- El control manual debe ejecutarse al arranque y el automático en plena producción.
- La inversión para la automatización debe ser mínima y recuperable en el menor tiempo posible.
- El control de la velocidad de la mesa debe ser inversamente proporcional, es decir a mayor temperatura menor velocidad y viceversa.
- Los rangos de control deben ser en temperatura (680-720) ° C y frecuencia (velocidad) (47-50) Hz en modo paso a paso.
- Se debe producir como base 92 lingotes por turno llegando a alcanzar un máximo de 96.
- Se debe disminuir los rechazos de lingotes por causas de mal formación.
- Es necesario implementar alarmas cuando la presión de enfriamiento del agua sobrepase o disminuya los rangos seteados.
- Los cortes de energía eléctrica no deben detener el funcionamiento de la mesa de conformación de lingotes de aluminio.

- Se requiere la implementación de un HMI-SCADA del proceso a automatizar.
- La automatización del proceso debe ser flexible.
- El control de la mesa debe ser de fácil operación.
- La automatización debe requerir un mantenimiento mínimo.
- Se debe respetar las zonas demarcadas por seguridad industrial en cuanto se refiere a la colocación de nuevos tableros de control.
- La automatización debe proyectarse a largo tiempo.

2.2.2. Criterio del ingeniero

Luego de conocer los requerimientos del departamento de fundición (cliente) se procede a traducirlos a especificaciones técnicas.

- Volumen.
- Optimización de recursos.
- PLC.
- Control inversamente proporcional.
- Frecuencia al arranque.
- Frecuencia en producción.
- Temperatura en el Tundish.
- Tiempo de corte de cada lingote.
- Presión del agua.
- Temperatura del agua.
- UPS. (Alimentación eléctrica)
- OPC (SCADA).

2.2.3. Resultados

La casa de la calidad mostrada en el anexo **A**, detalla los requerimientos del cliente y la voz del ingeniero. De los datos mostrados en dicho proceso se concluye lo siguiente:

- **Control manual y automático de la mesa.**

El control debe ser manual al arranque y automático en producción. En modo automático el control debe ser inverso es decir a mayor temperatura menor

velocidad y a menor temperatura mayor velocidad, en los rangos ya explicados anteriormente.

- **Optimización de recursos**

Con la automatización se pretende disminuir o eliminar los rechazos producidos por malformación. Principalmente rechazos por formación de estrella en el centro.

- **Metas de producción**

Se debe producir por turno como mínimo 92 lingotes y un máximo de 96. Esto se lograra optimizando los tiempos de corte de cada lingote sin afectar la conformación.

- **HMI-SCADA**

Es fundamental la implementación de un SCADA del proceso, ya que en la actualidad no se generan automáticamente datos del proceso de producción.

- **Flexible**

La automatización debe ser flexible, es decir que se adapte sin ningún problema a cambios en el proceso.

2.3. ANÁLISIS FUNCIONAL

El análisis funcional es una técnica que se emplea con el propósito de separar la acción que se efectúa del componente o mecanismo, para de este modo buscar nuevas soluciones a un mismo problema. El análisis funcional logra obtener mejores productos a un menor costo.

Para aplicar esta técnica de diseño es necesario determinar las funciones primarias y secundarias del producto.

Las funciones primarias son aquellas por las cuales el cliente compra el producto, que es te caso es automatizar el control de velocidad de la mesa de conformación de lingotes de aluminio.

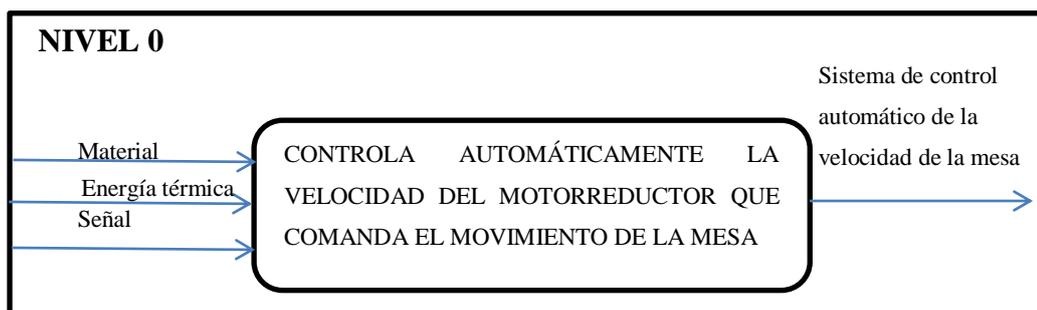
Las funciones secundarias son aquellas que permiten que la función primaria se ejecute satisfactoriamente y son las que mediante este análisis se determinan.

Luego de haber determinado las funciones primarias y secundarias, se procede a plantear soluciones aptas para dar solución a los requerimientos.

Para determinar las soluciones, se descomponen en módulos las cuáles agrupan las funciones primarias y secundarias con el objetivo de obtener un diseño modular

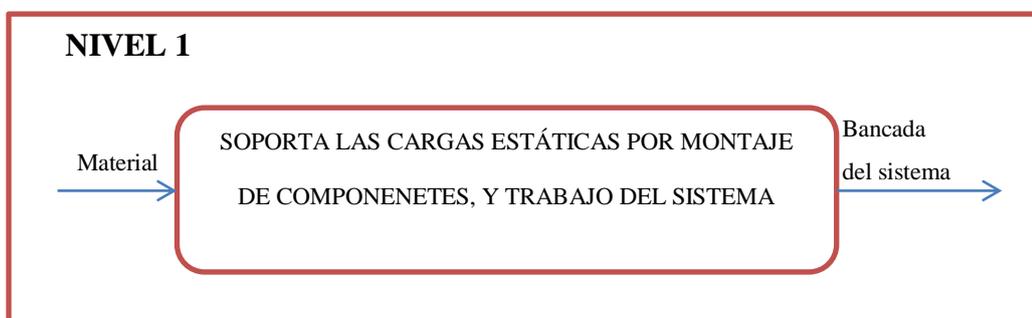
La descomposición funcional se lleva a cabo a través de diagramas de flujo, los cuales se representan en diferentes niveles, empezando con el nivel 0 o función global, y continuando hasta el nivel que se estime conveniente.

2.3.1. Desarrollo y análisis de los niveles funcionales



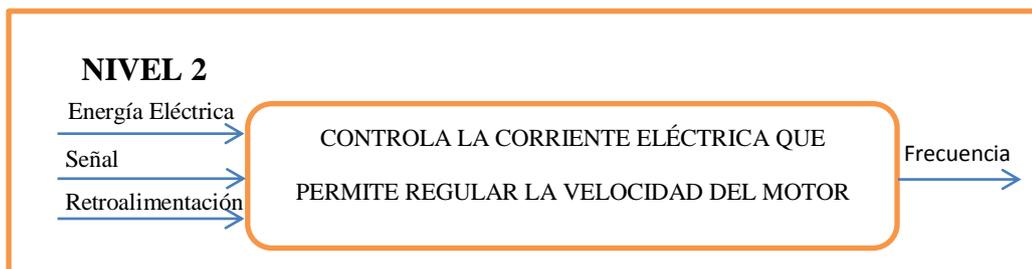
ANÁLISIS:

El nivel cero representa la función global o primaria, es el requerimiento del cliente a satisfacer, engloba la problemática principal. Se especifican las entradas y el proceso necesario para dar solución al problema.



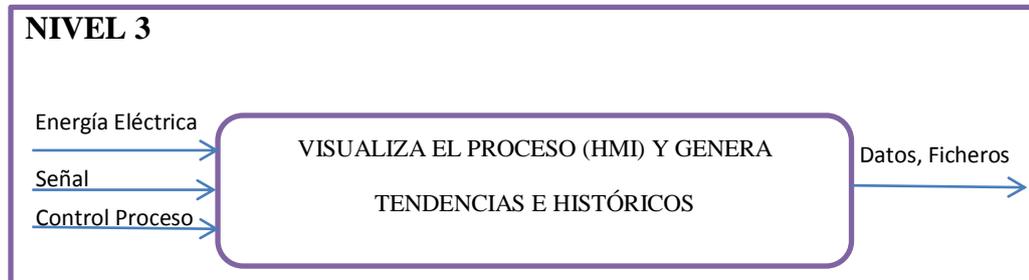
ANÁLISIS:

El nivel uno es un nivel secundario que está un función del primario; este nivel especifica las cargas estáticas que soporta la mesa debidas a montaje y por producción.



ANÁLISIS:

El nivel dos tiene como meta regular la frecuencia (velocidad) del motorreductor. Para conseguir este fin necesita energía eléctrica, señal de un sensor, y retroalimentación en base a la temperatura.



ANÁLISIS:

El nivel tres tiene como objetivo crear una HMI y generar históricos. Para esto se necesita energía eléctrica, control del proceso ya automatizado, y una señal.

Todos los niveles del análisis funcional buscan la optimización de tiempo y recursos, tomando para este caso específico como referencia las 3 áreas que corresponde a la Mecatrónica inmersa en la automatización de procesos (producto final).

2.4. DIVISIÓN MODULAR DEL ANÁLISIS FUNCIONAL

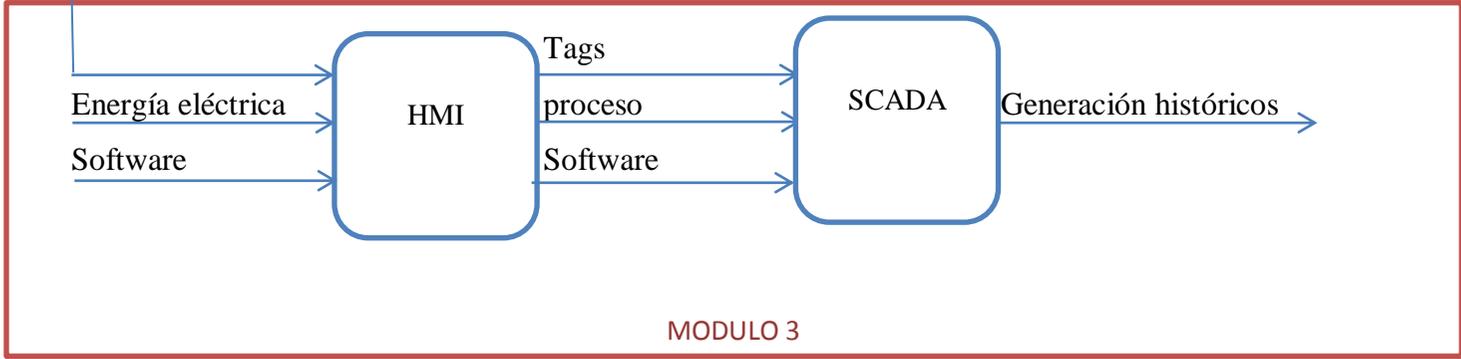
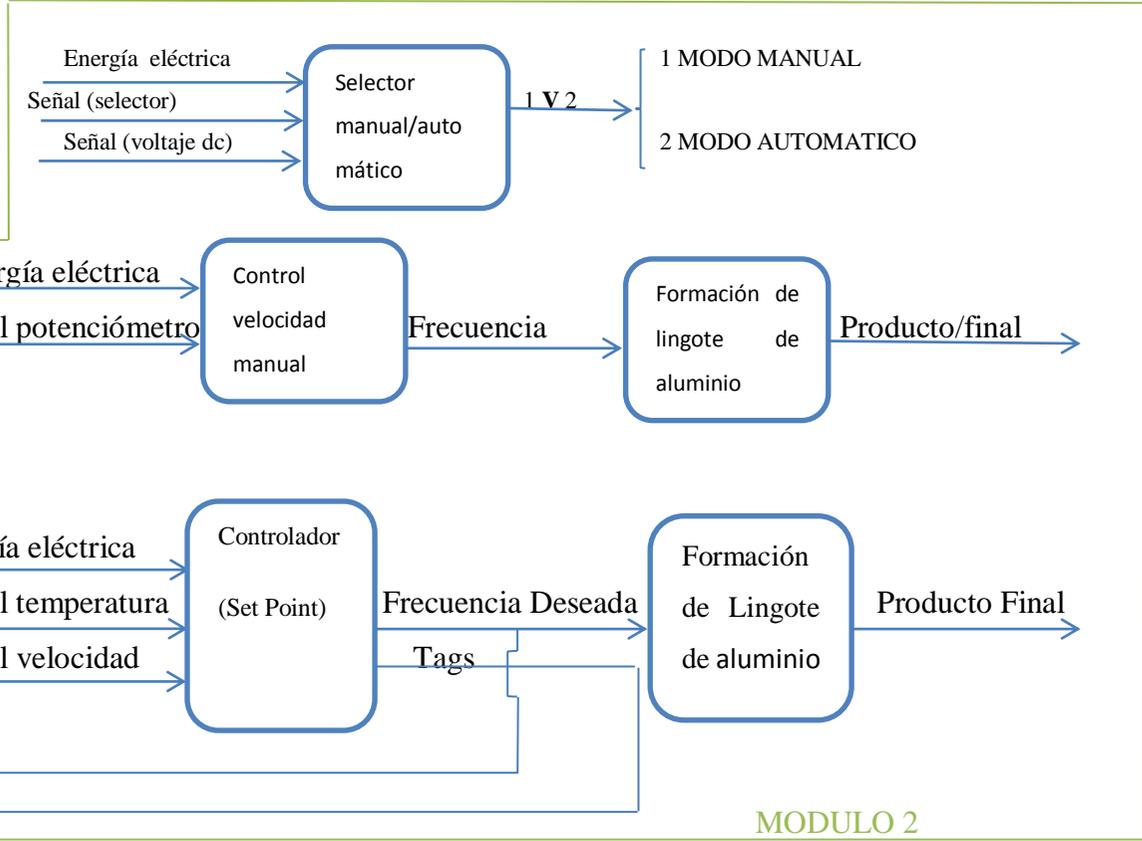
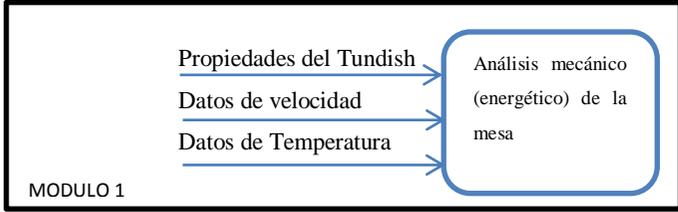
La modularidad consiste en dividir el producto final (automatización mesa) en varios bloques funcionales o constructivos.

En el proceso de automatizar el control de velocidad de la mesa se cumplen varios proceso o funciones, es indispensable llevar a cabo una división modular. Para esto es necesaria la información de los niveles funcionales, de donde se obtendrá la información para determinar la correcta división modular.

A continuación se detalla la división modular de la automatización del control de velocidad de la mesa de conformación de lingotes de aluminio.

SOPORTA CARGAS ESTÁTICAS POR MONTAJE Y TRABAJO DEL SISTEMA

CONTROLA LA CORRIENTE ELECTRICA QUE PERMITE VARIAR LA VELOCIDAD DEL MOTOR



2.5. SOLUCIÓN A MODULOS

Para la automatización del control de la velocidad de la mesa de lingotes de aluminio se dividió el diseño funcional en 3 módulos los cuales dan solución a los siguientes inconvenientes:

2.5.1. Módulo 1

No se lo ha tomado en cuenta como proceso de diseño, pero si como análisis dado que es parte constitutiva de la automatización.

Se utiliza la matriz de selección para dar solución al modulo1, en la cuál se escogerá la opción más adecuada dentro de un determinado número de alternativas.

a. Matriz de selección

La matriz de selección permite determinar la solución idónea para el módulo en cuestión. La ponderación es de 0 a 10, entendiéndose como 0 sin importancia y 10 como la opción imprescindible, las alternativas para dar solución al módulo 1 se visualizan en la tabla 2.1

Tabla 2. 1: Alternativas de solución para el módulo 1.

ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN PARA EL MÓDULO 1	
Alternativa 1	ANÁLISIS ENERGÉTICO
ALTERNATIVA 2	ANÁLISIS METALÚRGICO
ALTERNATIVA 3	ANÁLISIS ESTRUCTRAL

En base las alternativas de solución se plantea la matriz de selección, los resultados se detallan en la tabla 2.2

Tabla 2. 2: Modulo 1 Cargas estáticas soportadas por la mesa.

SOLUCIÓN AL MÓDULO 1			
DETALLE	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
TEMP MAX 720°C	0.3 / 7	0.3 / 7	0.2 / 7
TEMP MIN 680°C	0.2 / 8	0.2 / 7	0.3 / 6
BAJO COSTO	0.2 / 4	0.1 / 3	0.2 / 6
LIVIANO	0.15 / 8	0.15 / 5	0.1 / 7
RESISTENTE	0.15 / 2	0.15 / 4	0.1 / 5
TOTALES	8,7	5,15	5,6

b. Interpretación

Para dar solución al módulo 1, se tomó como indicadores la temperatura máxima y mínima en el Tundish, como factores principales. Además se consideró el costo económico y características propias de la mesa como son el peso y la resistencia.

En base a estos indicadores se plantearon 3 soluciones, descritas en la tabla 2. Cuyos puntajes fueron:

Alternativa1: 8,7

Alternativa2: 5,15

Alternativa3: 5,6

c. Declaración de resultados

En base a la interpretación de resultados, se determina que la alternativa 1 correspondiente a “Análisis Energético” de la mesa de conformación de lingotes de aluminio es la mejor opción para dar solución al nivel 1.

Por tal motivo se procede a realizar el “*Análisis energético de la mesa de conformación de lingotes de aluminio*”.

2.5.2. Solución módulo 1: Análisis energético de la mesa de conformación de lingotes de aluminio

Para realizar el análisis energético de la mesa de conformación de lingotes de aluminio; como primer paso se procedió a tomar datos en sitio de temperatura y tiempos de producción.

La tabla 2.3 detalla dicha información; tomando como referencia la producción de lingotes con dimensiones 2795mm y 3075mm.

La información obtenida servirá además para determinar el comportamiento del proceso, el cual permitirá determinar la eficiencia actual del sistema.

Tabla 2. 3: Detalles de temperaturas y tiempos de producción¹⁶.

DETALLES DE TEMPERATURAS Y TIEMPOS DE PRODUCCIÓN							
FECHA	LONGITUD (mm)	TEMPERATURA TUNDISH(°C)	VELOCIDAD AD (mm/seg)	TIEMPO (min)	TEMPERATURA MELTING(°C)	TEMPERATURA A CASTING(°C)	TEMPERATURA A AGUA(°C) 25°C IDEAL
21-02-2013	2795	701	4,9	20:46:04	606	35 DAÑADO	39,9
22-02-2013	2795	723	4,8	20:35:00	640	790	38
12-03-2013	3075	697	5,2	22:19:77	650	775	36,5
12-03-2013	3075	717	5,2	22:15:86	655	785	34,5
13-03-2013	3075	704	5,2	22:15:09	635	770	38,6
18-03-2013	2795	689	4,5	20:58:00	656	781	39
21-03-2013	2795	700	5,3	20:34:00	667	791	36,5
21-03-2013	2795	702	5,3	20:32:25	669	797	37
22-03-2013	2795	751	4,5	21:07:35	654	780	36,5
22-03-2013	2795	716	5,1	20:18:04	630	757	37,3
22-03-2013	2795	706	5,3	19:36:09	649	765	35

Luego de obtener la información de temperaturas y tiempos de producción, se procedió a dibujar la mesa y segmentar el tundish, ya que es aquí el último lugar donde al aluminio llega como colada antes de solidificarse.

a. Modelado en 3D de la mesa

¹⁶**Fuente:** Datos tomados en proceso.

Con el uso de un software CAD se procede a modelar la mesa; se toma como referencia el plano 142.10.01. **MIFROMAL** el cuál reposa en el área de fundición.

NOTA: En el presente trabajo investigativo se publica el modelado en 3D de la mesa y el análisis energético; más no los planos originales de la mesa ya que son propiedad de CEDAL S.A. En la figura 2.1 se observa la mesa de conformación de lingotes de aluminio dibujada en 3D.

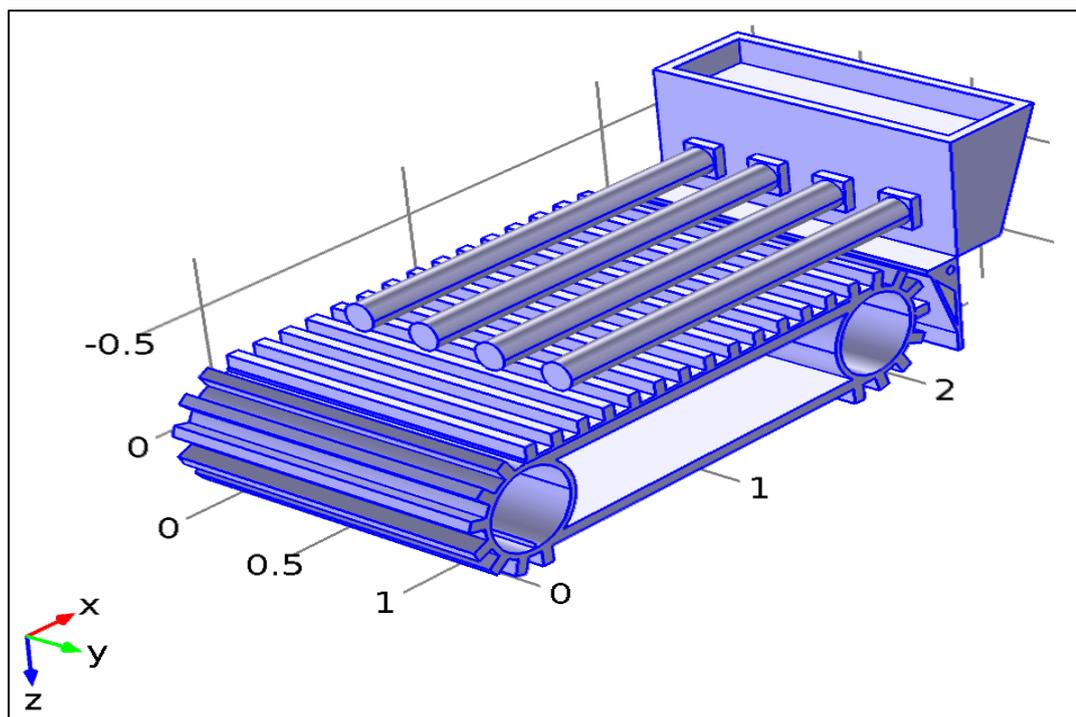


Figura 2. 1: Modelado en 3D de la mesa de conformación de lingotes de aluminio

Como siguiente paso se procede a segmentar las partes que intervienen directamente en el análisis. Para el análisis se tomaron en cuenta 3 partes principales de la mesa, las cuáles son el Tundish, los moldes y los lingotes ya solidificados.

b. Tundish: capas que lo conforman ¹⁷

El Tundish es un recipiente intermedio que recibe el aluminio líquido, lo almacena, y lo distribuye, controlando el flujo de salida en la colada continua. EL Tundish es la referencia para el análisis energético del sistema, además es la parte más crítica del proceso; ya que aquí es el último lugar donde llega la colada antes de solidificarse.

¹⁷ **Alas C, Pérez R.;** (Universidad de Oviedo). Diccionario de siderurgia: español-inglés, inglés-español. Disponible en: books.google.com.ec/books?isbn=8483173921

Este es el motivo por el cuál se toma esta lectura de temperatura para el control automático del proceso.

En la figura 2.2 se visualiza el Tundish utilizado en el área de Fundición.

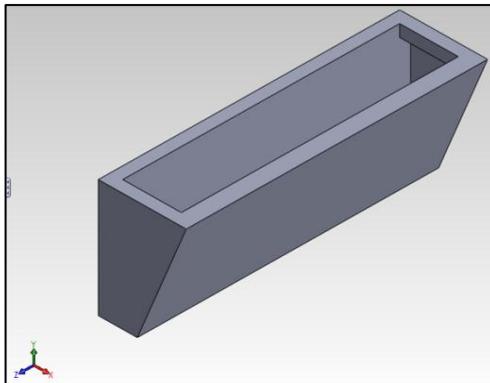


Figura 2. 2: Tundish

El Tundish está fabricado con un acero SAE 1045, cuyas propiedades se detalla en la tabla 2.4

Tabla 2. 4: Propiedades del acero SAE 1045

PROPIEDADES ACERO SAE 1045				
Composición química: C=0.45%, Mn=0.75%, P=0.04% máx, S=0.05% máx.				
PROPIEDADES	SISTEMA MÉTRICO		SISTEMA INGLÉS	
Densidad	7.872 *10 ³	kg/m ³	491.4	lb/ft ³
Módulo de elasticidad	201	GPa	29100	Kpsi
Expansión térmica (20 °C)	11.7*10 ⁻⁶	°C ⁻¹	6.5*10 ⁻⁶	in/(in* °F)
Calor específico	486	J/(kg*K)	0.116	BTU/(lb*°F)
Conductividad térmica	50.9	W/(m*K)	353	BTU*in/(hr *ft ² *°F)
Resistividad eléctrica	1.62*10 ⁻⁷	Ohm*m	1.62*10 ⁻⁵	Ohm*cm
Resistencia a la tensión (laminado en caliente)	565	Mpa	81900	Psi
Límite elástico (laminado en caliente)	310	Mpa	45000	Psi
Elongación (laminado en caliente)	16	%	16	%
Dureza (laminado en caliente)	84	RB	84	RB

Resistencia a la tensión (estirado en frío)	625	Mpa	90600	Psi
Límite Elástico (estirado en frío)	530	Mpa	76900	Psi
Elongación (estirado en frío)	12	%	12	%
Dureza (estirado en frío)	88	RB	88	RB

Capas del tundish

- **Primera Capa:** La primera capa del Tundish es un ¹⁸Papel Cerámico de 3mm a 1260°C.

En la tabla 2.5 se detallan las propiedades del papel cerámico:

Tabla 2. 5: Propiedades del papel cerámico

PROPIEDADES DEL PAPEL CERÁMICO	
PROPIEDADES FÍSICAS	
Temperatura máxima recomendada (°C)	1,260
Temperatura máxima recomendada (°F)	2,300
Encogimiento térmico (%)	
Punto de fusión (°C)	1,700
Punto de fusión (°F)	3,092
PROPIEDADES QUÍMICAS	
AL ₂ O ₃	44-46
SiO ₂	52
Otros	≤ 2
Presentaciones	
ESPESOR: 2, 3 & 4 mm	
DENSIDAD: 12.5 lb /ft (200 kg/m)	
ANCHO: 0.61 m	

¹⁸**PIRO (2012)**, Propiedades del papel cerámico, Guadalajara- Jalisco Mx. Disponible en: http://www.piro.mx/site/index.php?option=com_content&view=article&id=37&Itemid=30

LARGO: 30 m
Coeficiente de elasticidad: 25-30 Pa

- **Segunda Capa:** La segunda capa que conforma la Tundish es una Lana de vidrio (manta cerámica) de 13mm-25mm-6mm (ALSIZR) 1260°C Densidad 128 kg/m³. Las propiedades de la lana de vidrio se muestran en la tabla 2.6.

Tabla 2. 6: Propiedades de la lana de vidrio.

PROPIEDADES DE LA LANA DE VIDRIO	
Conductividad Térmica	0,032 a 0,045 $\frac{W}{m.K}$
Productos fabricados: ligeros	De 10 a 110 $\frac{kg}{m^3}$
PH	7
Es incombustible, inatacable por agentes exteriores como: aire, vapor, ácidos (excepto fluorhídrico) y bases no concentradas	
Débil calor específico.	
Elevado coeficiente de absorción.	
Cualidades acústicas (apantallamiento).	

- **Tercera Capa:** La tercera capa del Tundish es una plancha cerámica, las cuáles pueden ser:
 - a) Plancha cerámica Duraboard LD 300 254*610*1200 mm mínimo 1200°C:
 - b) Plancha cerámica Duraboard HD 38*610*1200 mm mínimo 1200°C.
- **Cuarta Capa:** Como capa final se cubre toda la superficie interior restante con Nitruro de Boro, cuyas propiedades se detallan en la tabla 2.7

Tabla 2. 7: Propiedades del nitruro de boro.

PROPIEDADES DEL NITRURO DE BORO	
Fórmula molecular	BN
Propiedades físicas	
Apariencia	Sólido blanco
Densidad	2200 kg/m ³ ; 2,2 g/cm ³
Punto de ebullición	3 273 K (3 000 °C)
Termodinámica	
$\Delta_f H^0_{\text{gas}}$	476,98 kJ/mol
$\Delta_f H^0_{\text{sólido}}$	-250,91 kJ/mol
$S^0_{\text{gas, 1 bar}}$	212,36 J·mol ⁻¹ ·K

Riesgos	
Ingestión	Clasificado como «no riesgoso».
Valores en el SI y en condiciones normales (0 °C y 1 atm), salvo que se indique lo contrario.	

- **UNIONES:** Para unir las planchas se utiliza pega QF-150, cuyas propiedades se indican en la tabla 2.8.

Tabla 2. 8: Propiedades del pegamento QF-150.

PROPIEDADES DEL PEGAMENTO QF-150		
Propiedades Físicas	Métrico	Inglés
Densidad	1.80 g/cc	0.0649 lb/in ³
Propiedades eléctricas	Métrico	Inglés
Rigidez Dieléctrica	1.57 kV/mm	40.0 kV/in
Propiedades térmicas	Métrico	Inglés
CTE, linear	0.00000540 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$	0.00000300 $\mu\text{in}/\text{in}\cdot^{\circ}\text{F}$
Temperatura máxima de servicio, Aire	1177 °C	2151 °F
Propiedades de los componentes elementales	Métrico	Inglés
Al ₂ O ₃	38.6 %	38.6 %
Fe ₂ O ₃	0.70 %	0.70 %
MgO	0.30 %	0.30 %
Na ₂ O	0.70 %	0.70 %
SiO ₂	57.5 %	57.5 %
TiO ₂	1.5 %	1.5 %
Apariencia		Pasta Blanca
Cobertura aproximada: 1 capa (SF/Gal)		20
Temperatura Grados (°F)		2300

c. Moldes para formación de lingotes de aluminio

Los moldes están fabricados mediante una aleación de Cu+Cr+Zr. Las características de la aleación son:

- Aleación a alta temperatura.
- Resistencia a rozamiento y deformación.

- El cobre ofrece resistencia a deformación.
- No se desgasta fácilmente.

Los moldes están formados de dos cavidades, las cuáles son:

1. Capa anterior por la cual circula aceite vegetal, la cual cumple funciones de lubricación.
2. Capa posterior por la cual fluye agua a presión, es aquí donde se produce el choque térmico entre la colada de aluminio y el agua, obteniéndose como producto final los lingotes de aluminio.

En la figura 2.3 se visualiza los moldes utilizados en el proceso de formación de lingotes de aluminio.



Figura 2. 3: Molde para formación de lingote de aluminio.

d. Procedimiento y resultados del análisis energético

A través de un software CAE (Comsol 4.4) se realizó un análisis energético (transferencia de calor) del aluminio desde su estado líquido (colada) hasta el estado sólido (lingote). En el anexo I se detalla el análisis energético realizado antes de la automatización.

Para el análisis energético, se efectuó el siguiente procedimiento:

- En primer lugar se realiza la configuración de los materiales, principalmente en lo referente a las capas que conforman el Tundish, como se describió en las tablas mostradas anteriormente.
- Al ser un análisis por elementos finitos como se siguiente paso se realiza el mallado de la superficie a ser a analizado. Se escoge un mallado tetraédrico con el objetivo de obtener resultados más precisos. La figura 2.4 visualiza el mallado de la mesa

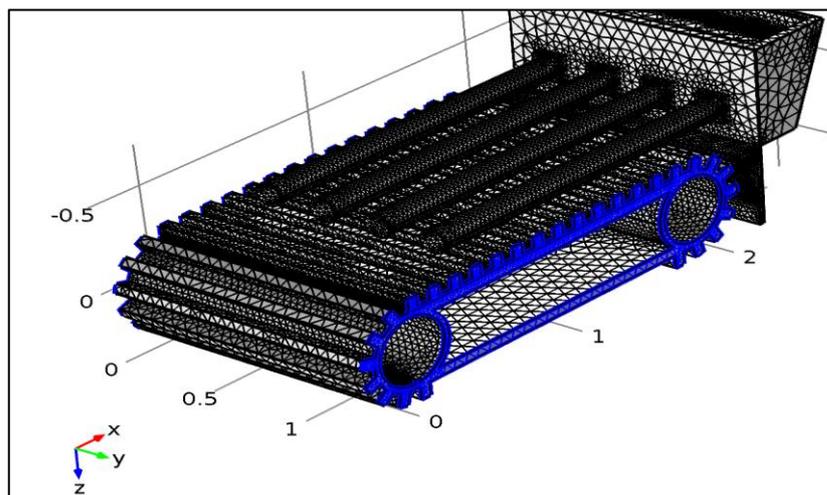


Figura 2. 4: Mallado de la mesa

- Acto seguido, se toma como primera instancia la temperatura variable y la velocidad constante; es decir antes de la automatización, la figura 2.5 visualiza las regiones tomadas en la transferencia de calor antes de la automatización.

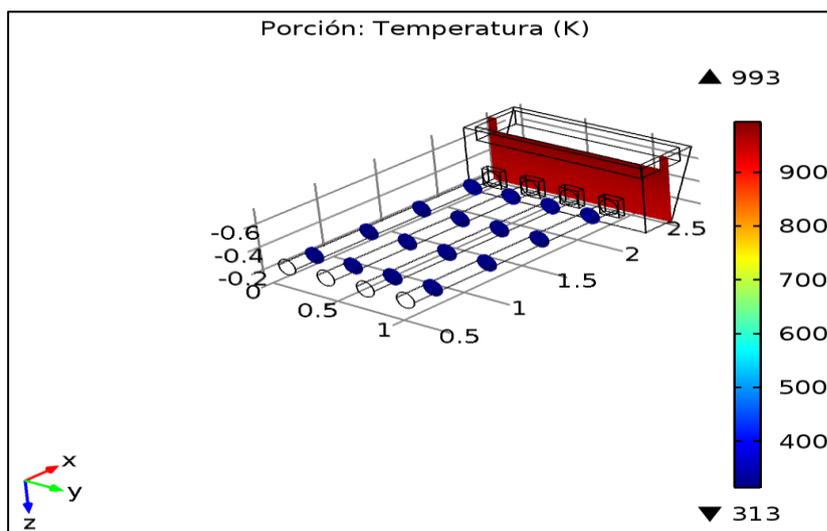


Figura 2. 5: Regiones de temperatura antes de la automatización.

Para el análisis se tomó en cuenta las temperaturas de control en el Tundish y la temperatura a la cual debe salir el lingote ya conformado.

Se toma como referencia la temperatura a la que llega la colada de aluminio aproximadamente $720^{\circ}\text{C} = 993,15^{\circ}\text{K}$

- En la figura 2.6 Se aprecian los resultados de la simulación, en donde claramente se puede apreciar las isosuperficies creadas, se observa que la transferencia no es uniforme, sino que existe una formación brusca, esto debido a que no se regula la velocidad.

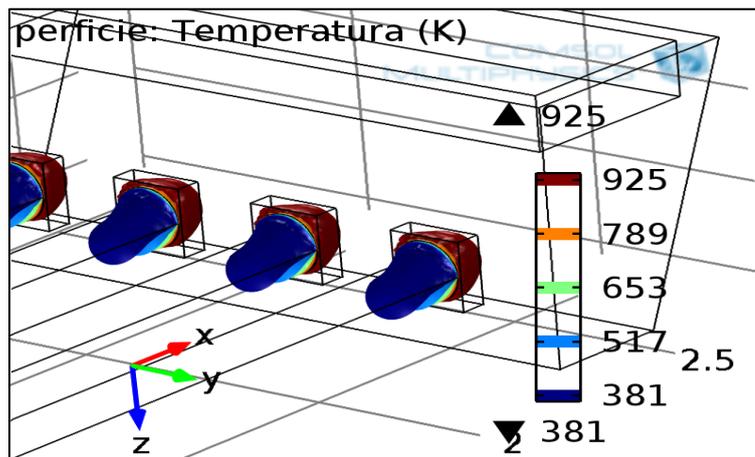


Figura 2. 6: Isosuperficies antes de la automatización

- En la figura 2.7 se visualiza el resultado más relevante, el cuál es la relación volumen máx vs min, en el cuál se puede apreciar claramente que la formación es brusca, no existe una regulación controlada, lo cuál produce que se generen estrellas en el centro.

Se puede visualizar en la salida de los moldes la variación de temperatura, justo en el momento en que está en contacto con el agua de enfriamiento.

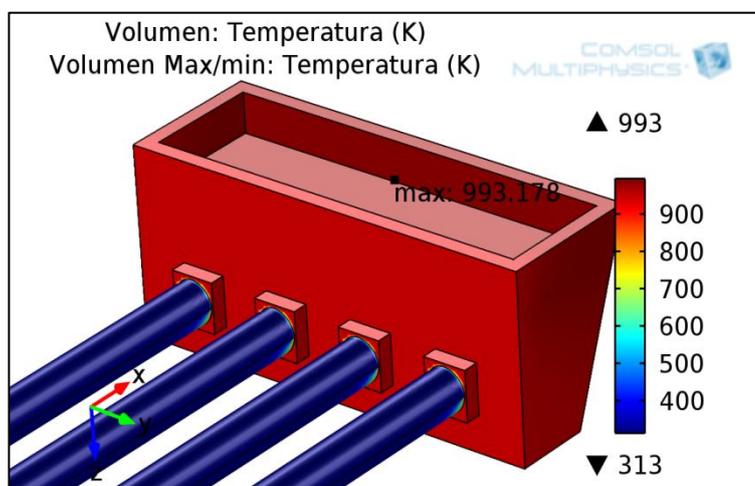


Figura 2. 7: Relación volumen máx. vs volumen min antes de la automatización

2.5.3. Módulo 2

En el módulo 2 se busca automatizar el control de la velocidad de la mesa, para esto se seleccionó la alternativa adecuada para dar solución a este problema.

a. Matriz de selección

Para dar solución al módulo 2, se presentan las alternativas mostradas en la tabla 2.9.

Tabla 2. 9: Alternativas de solución módulo II

ALTERNATIVAS DE SOLUCION MÓDULO II	
ALTERNATIVA 1	DISEÑO SISTEMA DE CONTROL A LAZO CERRADO
ALTERNATIVA 2	DISEÑO SISTEMA DE CONTROL A LAZO ABIERTO

En la tabla 2.10 se desglosan los detalles de las alternativas para dar solución al módulo 2.

Tabla 2. 10: Solución al módulo II

SOLUCIÓN AL MÓDULO 2		
DETALLE	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
CONTROL PRECISO	0.4 / 7	0.3 / 7
ERROR PORCENTUAL MÍNIMO	0.4 / 8	0.3 / 9
BAJO COSTO	0.2 / 9	0.1 / 8
FACIL IMPLEMENTACIÓN	0.3 / 8	0.2 / 6
DURADERO	0.2 / 6	0.15 / 8
TOTALES	11,4	8

b. Interpretación

Para el módulo2 se plantean las alternativas de utilizar un sistema de control a lazo abierto o cerrado. Los parámetros que deben cumplir son: control preciso, mínimo error porcentual, bajo costo, fácil implementación, duradera.

En base a la matriz de selección, se obtuvieron los siguientes resultados finales:

Alternativa 1: 11.4

Alternativa 2: 8

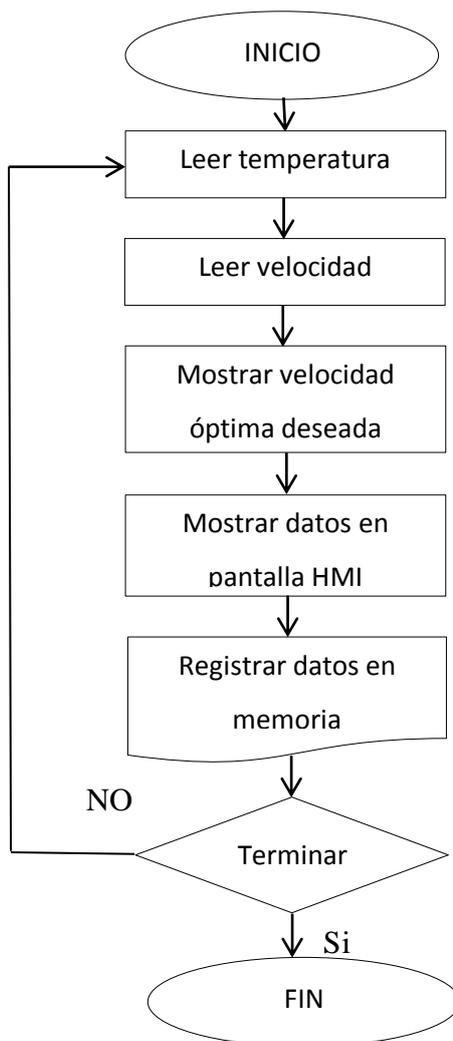
c. Declaración de resultados

En base a los resultados de la Matriz de selección; se determina que la alternativa1, correspondiente a “Diseño Sistema de Control a Lazo Cerrado”, es la opción más adecuada para dar solución al módulo 2.

Por tanto se implementará este diseño para controlar automáticamente la velocidad de la mesa.

2.5.4. Solución al módulo 2: Diseño sistema de control a lazo cerrado

En base a las condiciones del proceso, se empleará un control a lazo cerrado, mediante la siguiente lógica.



a. Diseño del control

Se tomó como datos de entrada las necesidades de control solicitada por el personal de fundición (voz del cliente).

Como preámbulo cabe recalcar que la mesa puede trabajar en dos modos: paso a paso y continuo.

Desde la instalación de la planta de fundición la mesa ha trabajado sólo en modo paso a paso por tal motivo se realizará el control en modo **paso a paso**.

Para determinar los valores ideales a los cuales debe girar la velocidad de la mesa, se realizaron pruebas de campo; obteniendo como resultado los datos mostrados en la tabla 2.11, Los cuáles son de vital importancia para la calibración final del sistema.

Por diseño se toman datos del modo continuo, aunque no se implementará el control en este modo.

Tabla 2. 11: Parámetros óptimos para el funcionamiento de la mesa de conformación de lingotes de aluminio¹⁹.

PARÁMETROS ÓPTIMOS PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LA MESA DE CONFORMACIÓN DE LINGOTES DE ALUMINIO			
VELOCIDAD DE LA MESA MODO PASO A PASO			
DESCRIPCION	VALOR	UNIDADES	TIEMPO DE CORTE
Frecuencia al Arranque	44	Hz	
Frecuencia máxima en producción	50	Hz	20:30 min.
Frecuencia media en producción	48,5	Hz	20:45 min.
Frecuencia mínima en producción	47	Hz	21 min.
VELOCIDAD DE LA MESA MODO CONTINUO			
Frecuencia al Arranque	16	Hz	
Frecuencia máxima en producción	24	Hz	20 min.
Frecuencia media en producción	22	Hz	21 min.
Frecuencia mínima en producción	20	Hz	22 min.
TEMPERATURA TUNDISH			
Mínima	680	°C	
Máxima	720	°C	
Mínima Ideal	690	°C	
Máxima Ideal	705	°C	
TEMPERATURA CASTING			
Mínima	820	°C	
Máxima	900	°C	
TEMPERATURA MELTING			
Mínima	830	°C	
Máxima	1000	°C	

¹⁹**FUENTE:** Datos tomados experimentalmente en planta.

La lógica de control de la velocidad de la mesa es que sea inversamente proporcional a la temperatura. En base a esto los parámetros para el control automático se visualizan en la tabla 2.12.

Tabla 2. 12: Parámetros óptimos para el funcionamiento de la mesa de conformación de lingotes de aluminio modo paso a paso²⁰.

CONTROL AUTOMÁTICO MODO PASO A PASO	
TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (HZ)
680	50
720	47

La figura 2.8 Detalla la linealidad del control para el modo paso a paso.

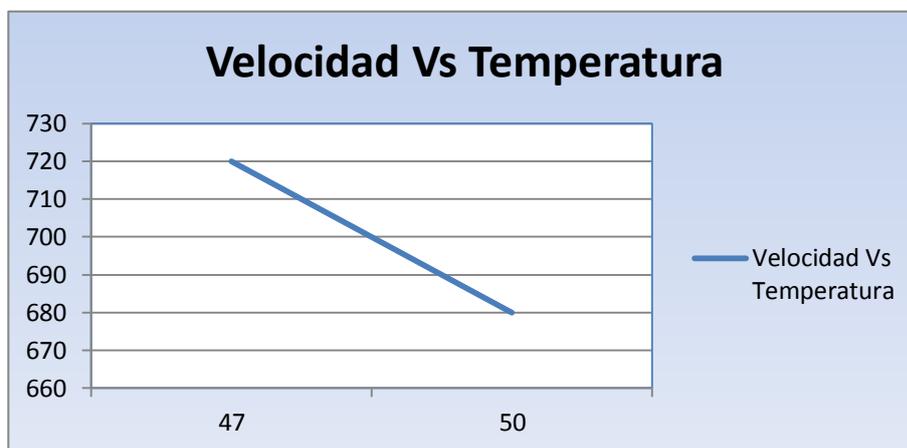


Figura 2. 8: Linealización del control automático modo paso a paso.

$$y = m * x + b \quad \text{Ec. 2.1}$$

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad \text{Ec. 2.2}$$

$$m = \frac{680 - 720}{50 - 47}$$

$$m = -13.33$$

$$y - y_2 = m(x - x_2)$$

$$y - 720 = -13.33(x - 50)$$

²⁰FUENTE: Datos tomados experimentalmente en planta.

$$y = -13.33x + 666.5 + 720$$

$$y = -13.33x + 1386.5 \quad \text{Ec. 2.3}$$

La ecuación 2.1 detalla la modelación matemática del control a través de una ecuación recta punto pendiente. La ecuación 2.2 detalla la pendiente de dicha recta.

En la ecuación 2.3 se visualiza el resultado final, obteniendo una pendiente negativa en el proceso.

Para el control automático en modo continuo, los parámetros óptimos para el correcto funcionamiento de la mesa se detallan en la tabla 2.13

Tabla 2. 13: Parámetros óptimos para el funcionamiento de la mesa de conformación de lingotes de aluminio modo continuo²¹.

CONTROL AUTOMÁTICO MODO CONTINUO	
TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (HZ)
680	23.7
720	21

En la figura 2,9 se visualiza la linealización del control automático en modo continuo.

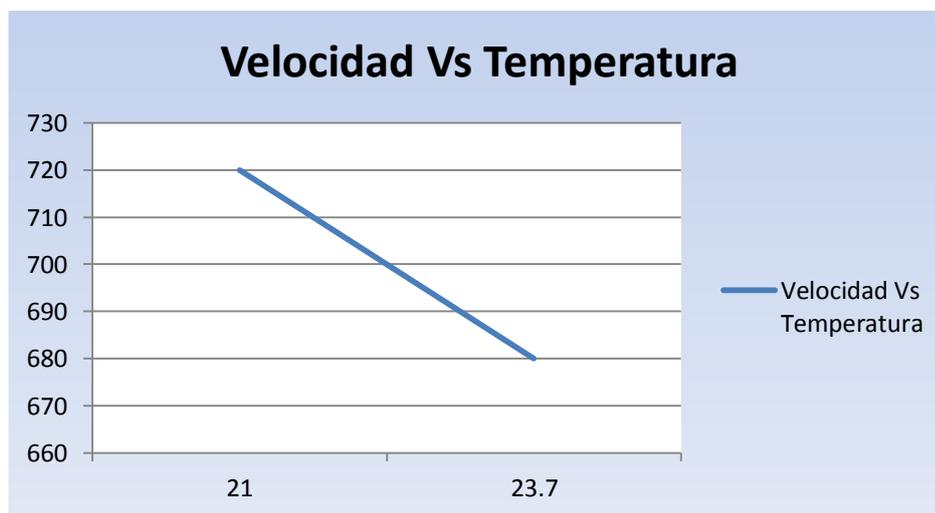


Figura 2. 9: Linealización del control automático modo continuo.

$$y = m * x + b$$

²¹FUENTE: Datos tomados experimentalmente en planta.

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$$m = \frac{680 - 720}{23.7 - 21}$$

$$m = -14,81$$

$$y - y_2 = m(x - x_2)$$

$$y - 720 = -14,81(x - 24)$$

$$y = -14,81x + 355,44 + 720$$

$$y = -14,81x + 1075,44 \quad \text{Ec. 2.4}$$

La ecuación 2.4 detalla el resultado final del modelo matemático del control en modo continuo.

Como se mencionó anteriormente, por petición de Fundación el control se diseñará para el modo paso a paso.

b. Parámetros a controlar

- **VARIABLES DE ENTRADA:**

- Temperatura en el Tundish, valor que censa la temperatura de la colada de aluminio a través de una Termocupla tipo K en unidades °C.
- Velocidad de la mesa, medido por un Encoder incremental quién entrega una señal tipo tren de pulsos de 24 VDC.
- Presión de enfriamiento del agua, dato obtenido a través de un transductor de presión.
- Potenciómetro 10KΩ. Señal análoga para variar la velocidad de la mesa.
- Selector de modo de funcionamiento de la mesa
- Pulsantes.

- **VARIABLES DE SALIDA:**

- Frecuencia, control de velocidad de la mesa
- Luces indicadoras
- Luces de emergencia.

c. **Diseño del hardware**

SELECCIÓN DE TRANSMISORES Y ACTUADORES

Se realiza la selección de transmisores y actuadores, en base a los requerimientos del cliente obtenidos a través de la casa de la calidad. La tabla 2.13 detalla los elementos de control para las variables de entrada

Tabla 2. 14: Elementos de control para las variables de entrada.

ELEMENTOS DE CONTROL VARIABLES DE ENTRADA		
VARIABLE DE ENTRADA	ELEMENTO DE CONTROL	FUNCION
Medir la temperatura de la colada de aluminio en el Tundish.	Termocupla tipo K	Censar la temperatura en el Tundish. RANGO 680 a 720°C
Medir la velocidad del motor acoplado a la mesa.	Encoder incremental.	Contar los pulsos por segundo, y en base a esto determinar la velocidad a la que está girando la mesa.
Medir la presión de enfriamiento del agua	Transductor de presión	Censar la presión a la que fluye el agua hacia los moldes.
Variación de velocidad de la mesa	Potenciómetro de 10KΩ	El potenciómetro varia una voltaje 0 a 10 Vdc que se traduce en frecuencia a la salida.
Selección del modo de funcionamiento de la mesa	Selector 3 posiciones	Determinar si la mesa funciona en modo manual o automático.
Encendido –Apagado	Pulsantes NO	Encender o apagar la mesa

La tabla 2.15 detalla los elementos de control para las variables de salida

Tabla 2. 15: Elementos de control para las variables de salida

ELEMENTOS DE CONTROL PARA VARIABLES DE SALIDA		
VARIABLE DE SALIDA	ELEMENTO DE CONTROL	FUNCION
Velocidad de la mesa	Variador de Velocidad	Determinar la velocidad de la mesa de acuerdo a una señal de control de 0 a 10Vdc. Rango de control 44.4 a 49 Hz en modo paso a paso.
Luces indicadoras	Luz piloto	Visualización del modo de operación de la mesa
Luz de emergencia	Luz tipo licuadora	Activarse en casos de emergencia y alarmas.

En base a los elementos de control de las variables de entrada y salida, se determina el número de entradas y salidas totales del sistema. La tabla 2.16 detalla las entradas totales del sistema

Tabla 2. 16: Entradas totales

ENTRADAAS	CANTIDAD	VARIABLE	TIPO	SENSOR / ACTUADOR
	1	Temperatura en el Tundish	Analógica	Termocupla tipo K
	1	Variación de velocidad	Analógica	Potenciómetro 10KΩ
	1	Presión de enfriamiento del agua	Analógica	Transductor de presión.
	1	Velocidad mesa	Digital entrada rápida)	Encoder
	1	Mesa encendida	Digital	Pulsante
	1	Mesa apagada	Digital	Pulsante

	1	Paro de emergencia	Digital	Pulsante tipo hongo
	1	Selector mesa manual	Digital	Selector Izq.
	1	Selector mesa automático	Digital	Selector der.
TOTAL	9			

De igual manera se procede con las salidas. La tabla 2.17 de talla las salidas

Tabla 2. 17: Salidas totales

SALIDAS	CANTIDAD	VARIABLE	TIPO	SENSOR / ACTUADOR
	1	Variador Mesa	Analógica	Variador de frecuencia.
	1	Mesa On	Digital	Motorreductor
	1	Mesa off	Digital	Motorreductor
	1	Luz mesa energizada	Digital	Luz piloto
	1	Luz mesa manual	Digital	Luz piloto
	1	Luz mesa automático	Digital	Luz piloto
	1	Sirena Sonora	Digital	Zumbador
	TOTAL	7		

SEÑALES TOTALES= SEÑALES DE ENTRADA + SEÑALES DE SALIDA

SEÑALES TOTALES=9+7

SEÑALES TOTALES= 16

Luego de haber determinado el número de señales totales, se procede a determinar las marcas que se utilizará en la programación.

La tabla 2.18 detallas las marcas a utilizarse en el programa de control para la regulación automática de la velocidad en función de la temperatura.

Tabla 2. 18: Marcas para la programación del control

MARCAS	
NOMBRE	MARCA
LECTURA POTENCIÓMETRO	F8:0
TEMPERATURA TUNDISH	F8:1
FRECUENCIA	F8:2
FRECUENCIA AUTOMATICO SIN ESCALAR	F8:3
VELOCIDAD LINEAL SIN ESCALAR	F8:4
VELOCIDAD LINEAL ESCALADA	F8:6
FRECUENCIA REAL (ENCODER)	F8:7
PRESION AGUA SIN ESCALAR	F8:8
PRESION AGUA ESCALADA	F8:9
HABILITAR ALARMA	B3:0/11
RRESETEO	B3:0/12

De la misa forma se procede con las Tags del proceso, la tabla 2.19 detalla las Tags a utilizarse.

Tabla 2. 19: Tags del proceso

TAGS DEL PROCESO	
NOMBRE	DIRECCIÓN PLC
STAR	I:0:0/1
STOP	I:0:0/1
MANUAL	I:0:0/3
AUTOMATICO	I:0:0/6
TEMPERATURA	F8:1
FRECUENCIA	F8:2
PRESION	F8:9
VELOCIDAD	F8:6

d. Selección del controlador²²

De acuerdo a los requerimientos del cliente, y al ambiente de trabajo que es netamente industrial se opta por controlar el sistema a través de un PLC.

Los equipos utilizados para control en CEDAL S.A. en su mayoría son de ROCKWELL AUTOMATION de la línea Allen Bradley.

Por la fiabilidad de sus componentes, versatilidad se opta por usar un plc de esta marca y más aún cuando se pretende estandarizar a una sola línea los equipos utilizados en la empresa.

CONTROLADORES MICROLOGIX

La línea de controladores Micrologix se distingue por cuatro niveles de control:

- **Micrologix 1000.-** En base a la arquitectura de la familia del controlador SLC 500 líder en el mercado, el Micrologix 1000 ofrece alta velocidad, poderosas instrucciones y comunicaciones flexibles para aplicaciones que demandan soluciones compactas y rentables
- **Micrologix 1100.-** Está diseñado para ampliar la cobertura de aplicaciones mediante entradas analógicas incorporadas, comunicaciones Ethernet y capacidades de visualización, el controlador Micrologix 1100 puede manipular una amplia variedad de tareas. Incluye edición en línea
- **Micrologix 1200.-** Los controladores Micrologix 1200 ofrecen mayor capacidad de cómputo y flexibilidad de E/S que el Micrologix 1000 para cubrir una variedad de necesidades de aplicación. Proporciona características y opciones para manipular un amplio rango de aplicaciones.
- **Micrologix 1500.-** El Micrologix 1500 es una plataforma de control lógico programable de talla mundial con facilidades y rendimiento aún más avanzados que el Micrologix 1200. Muchas de estas facilidades permiten que este controlador sea usado en aplicaciones donde en el pasado se requerían controladores mucho más grandes.

²² **Rockwell Automation:** Servicio de soporte técnico de Rockwell Automation. Disponible en:

<http://www.roydisa.es/wp-content/uploads/2013/01/MICROLOGIX1100.pdf>

En base al número de entradas y salidas del proceso y al analizar las características de cada controlador de la familia Micrologix, se opta por usar un **PLC Micrologix 1100**, ya que a diferencia de los otros controladores tiene incorporado un puerto Ethernet, y facilita la expansión con módulos de E/S análogas indispensables para la automatización de la mesa.

MICROLOGIX 1100, SELECCION DE CPU.

Los controladores Micrologix™ 1100 Boletín 1763 tienen Ethernet/IP™ incorporada, edición en línea. Cuenta con una LCD la cual muestra el estado de las E/S del controlador. Cuenta con dos entradas analógicas, 10 entradas digitales y seis salidas digitales, el controlador Micrologix 1100 puede manipular una amplia variedad de tareas.

- **CARÁCTERISTICAS**

- Incluye un puerto Ethernet/IP™ de 10/100 Mbps incorporado para mensajería entre dispositivos similares
- Proporciona una memoria de 8 KB (4 KB de programas de usuario con 4 KB de datos de usuario)
- Permite el acceso, el monitoreo y la programación desde cualquier conexión Ethernet.
- Admite la edición en línea
- Proporciona un servidor web incorporado que permite configurar los datos del controlador para que aparezcan como una página web.
- Contiene un puerto combinado RS-232/RS-485 aislado para comunicación en serie y conectada en red
- Permite monitorear y modificar los datos del controlador a través de una pantalla LCD incorporada.
- Compatible con módulos de expansión de E/S Micrologix 1762 (hasta cuatro módulos por controlador)
- Admite un máximo de 144 puntos de E/S digitales.

- **Selección del CPU**

La selección de la CPU del PLC depende del tipo de entradas y salidas presentes en el proceso, la figura 2.10 Detalla el diagrama de selección.

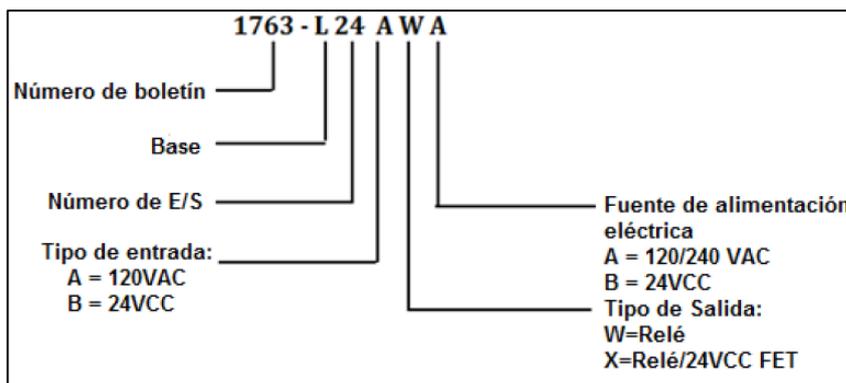


Figura 2. 10: Diagrama de selección de la CPU del plc micrologix 1100.

Para la automatización de la mesa de conformación de lingotes, la alimentaciones de 110 Vac, las entras son de 24 Vdc tantos de los pulsantes como de los sensores y salidas a relés con voltajes de 24 Vdc y 110 Vac. Las características adicionales del controlador se detallan en el anexo F

En base a estos datos se opta por utilizar un PLC Micrologix 1100 CPU 1763L16BWA. A detalle en la tabla 2.20

Tabla 2. 20: Características de PLC seleccionado

NUMERO DE CATALOGO	VOLTAJE DE LÍNEA	NÚMERO DE ENTRADAS	NÚMERO DE SALIDAS
1763L16BWA	120-240 VAC	10 digitales de 24 Vdc 2 análogas de voltaje	6 Relés aisladas individualmente.

Para la expansión modular, el plc Micrologix 1100 utiliza los módulos del plc Micrologix 1200 catálogo 1762.

Para a automatización se requieren dos entradas análogas (una de corriente y otra de voltaje), una entrada análoga de termopar y una salida análoga (de voltaje).

La tabla 2.21 Detalla los módulos de expansión a utilizarse:

Tabla 2. 21: Módulos de expansión a utilizarse

DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	CARACTERÍSTICAS
A-B AUT MICR 1200 MODULO ANALO 4 SALIDAS ANALOGAS	1762-OF4	Salidas análogas de voltaje o corriente.
A-B AUT MICR 1200 MODULO ANALO 4 ENTRADAS ANALOGAS	1762-IF4	Entradas análogas de voltaje o corriente.
A-B AUT MICR 1200 MOD TERMOPAR TERMOPAR/MV DE 4	1762-IT4	Entradas análogas para Termocupla.

Fuente: COTIZACIÓN: PG0204

- **SELECCIÓN DE LA FUENTE DE ALIMENTACION**

Para la selección de la fuente de alimentación se toma en cuenta que las entradas del plc son de 24 Vdc y el amperaje a máxima carga es de 4A, por tal motivo se selecciona una Fuente de 24 Vdc 5A de la marca SOLA marca genérica de Allen Bradley. La tabla 2.22 Detalla el consumo de energía a plena carga.

Tabla 2. 22: Consumo de corriente del PLC y módulos

EQUIPO	CARGA
PLC Micrologix 1100 (1763L16BWA)	2167 mA.
1762-OF4 (MODULO 4 SALIDAS ANÁLOGAS).	165 mA.
1762-IF4 (MÓDULO 4 ENTRADAS ANALOGAS).	250 mA.
1762-IT4 (MODUO 4 CANALES TERMOPAR).	62.5 mA.
CONSUMO EXTERIOR	1200 mA.
TOTAL	3844,5 mA.

e. **Selección del transmisor de presión**

El transmisor a utilizarse debe cumplir las siguientes características:

- Salida a análoga de 4 a 20 mA.
- Rango de presión superior a 100psi
- Protección para ambiente agresivos (Industriales).

En base a los requerimientos anteriormente descritos, se opta por usar un transductor de marca Allen Bradley. La tabla 2.23 Detalla la selección.

Tabla 2. 23: Selección del transmisor de presión.

Process Connection	Pressure Range	Set Point Range	Reset Point Range	Max. Working Pressure*	Cat. No.	Cat. No.
					Dual PNP Output	4...20 mA Analog Output w/Single PNP Output Ⓢ
1/4 inch NPT (female)	-15...15 (psi)	-14.92...+15 (psi)	-15.00...14.92 (psi)	40.5 (psi)	836E-DA1CC1D4	836E-DC1CC1D4
	0...60 (psi)	0.30...60 (psi)	0...59.70 (psi)	160.5 (psi)	836E-DA1EL1D4	836E-DC1EL1D4
	0...150 (psi)	0.75...150 (psi)	0...149.25 (psi)	400.5 (psi)	836E-DA1EN1D4	836E-DC1EN1D4
	0...600 (psi)	3.00...600 (psi)	0...597.00 (psi)	1600.5 (psi)	836E-DA1EQ1D4	836E-DC1EQ1D4
	0...1,500 (psi)	7.50...1,500 (psi)	0...1,492.50 (psi)	1600.5 (psi)	836E-DA1ER1D4	836E-DC1ER1D4
	0...6,000 (psi)	0.30...6000 (psi)	0...5,970.00 (psi)	6,000 (psi)	836E-DA1EU1D4	836E-DC1EU1D4
SAE 7/16-20 UNF (female)	-15...15 (psi)	-14.92...+15 (psi)	-15.00...14.92 (psi)	40.5 (psi)	836E-DA1CC2D4	836E-DC1CC2D4
	0...60 (psi)	0.30...60 (psi)	0...59.70 (psi)	160.5 (psi)	836E-DA1EL2D4	836E-DC1EL2D4
	0...150 (psi)	0.75...150 (psi)	0...149.25 (psi)	400.5 (psi)	836E-DA1EN2D4	836E-DC1EN2D4
	0...600 (psi)	3.00...600 (psi)	0...597.00 (psi)	1600.5 (psi)	836E-DA1EQ2D4	836E-DC1EQ2D4
	0...1,500 (psi)	7.50...1,500 (psi)	0...1,492.50 (psi)	1600.5 (psi)	836E-DA1ER2D4	836E-DC1ER2D4
	0...6,000 (psi)	0.30...6000 (psi)	0...5,970.00 (psi)	6,000 (psi)	836E-DA1EU2D4	836E-DC1EU2D4

Se seleccionó un transductor de 0 a 150 psi, cuyo catálogo es 836E-DC1EN1D4, YA cumple las especificaciones del cliente.

Los transmisores de estado sólido 836E son dispositivos que permiten medir y monitorear la presión de forma confiable, poseen una señal de salida análoga de 4 – 20 mA, son compactos, robustos e ideales para una gran variedad de aplicaciones debido a su amplio rango de operación que varía entre 0 – 6000 PSI. En la fig. 2.11 se visualiza el transductor a utilizarse en la automatización.



Figura 2. 11: Transmisor de presión de estado sólido 836E

Características:

- Los transmisores 836E están basados en microprocesador que permite al instrumento realizar compensación de temperatura ambiente; no poseen partes móviles lo cual aumentan el tiempo de vida del dispositivo y reduce su desgaste.
- El rango de presión va de 0 a 150 PSI y el rango de Set Point de 0.75 a 150 PSI.
- La máxima presión de trabajo es 400.5 PSI, esta presión MWP (Máximo Working Pressure) está referida a temperatura normal (20°C) y puede ser aplicada al transmisor por tiempo ilimitado.
- El límite de sobre presión OPL (Over Pressure Limit) corresponde a 1.5 veces el valor de la máxima presión de trabajo y éste valor puede ser aplicado únicamente por tiempo limitado antes de que se produzca daños en el sensor.
- El voltaje de funcionamiento va de 12 a 30 Vdc
- La corriente de consumo es menor a 60 mA. sin carga y la corriente a plena carga 250 mA.
- Estos transmisores tienen una exactitud menor al 0.5% y una repetitividad de 0.2% sobre el límite del rango superior de presión.
- La temperatura de operación está en el rango de -40°C a +85°C (-40°F a +185°F).
- Poseen protección IP65 por lo que puede ser utilizado bajo fuertes condiciones industriales.
- Su tiempo de respuesta varía entre 2 a 5 ms.

Principio de funcionamiento:

El transmisor de presión 836E está formado por un elemento de silicio situado dentro de una cámara de silicona que está en contacto directo con el proceso a través de un diafragma metálico flexible por lo tanto mide directamente la presión del fluido y no la fuerza que éste ejerce sobre el diafragma, el sensor está fabricado de un monocristal de silicio en cuyo interior se difunde boro para formar varios puentes de Wheatstone creando así una galga autocontenida, el sensor con su puente de Wheatstone incorporado se lo visualiza en la figura 2.12

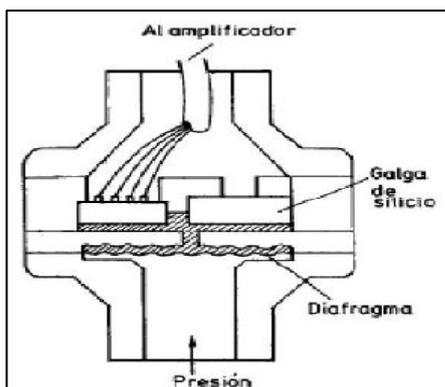


Figura 2. 12: Principio de funcionamiento del transmisor de presión

Cuando no existe presión, las tensiones E_1 y E_2 del puente de Wheatstone de la figura 2.13, son iguales y al aplicar presión del proceso, R_b y R_c disminuyen su resistencia y R_a y R_d aumentan su resistencia, esto provoca caídas de tensión distintas y una diferencia entre E_1 y E_2 , esta diferencia es aplicada a un amplificador diferencial de alta ganancia que controla un regulador de corriente variable, un margen de corriente continua de 3 a 19 mA con 1 mA del puente, produce una señal de salida de 4 a 20 mA, esta corriente circula a través de la resistencia de realimentación R_{fb} y produce una caída de tensión que equilibra el puente, debido a que esta caída de tensión es proporcional a R_{fb} , ésta resistencia fija el intervalo de medida del transductor, en este caso de 0 a 150 PSI.

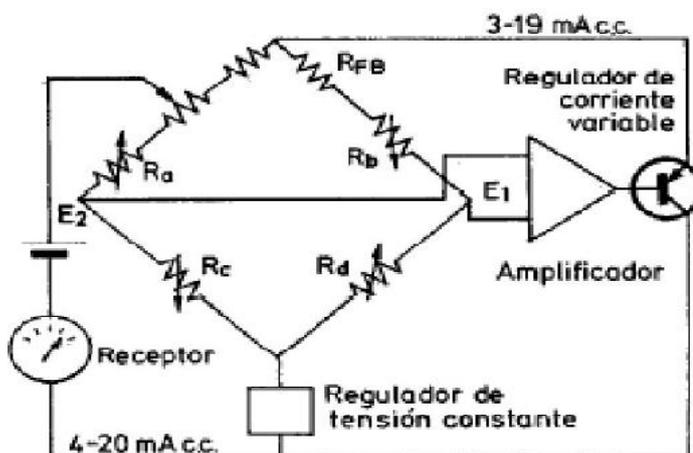


Figura 2. 13: Funcionamiento del puente de wheatstone de un transmisor de presión

f. Selección de la termocupla

Para la Termocupla, no se cambian las especificaciones de la utilizada en el proceso. La Termocupla es tipo k, y tiene un revestimiento de grafito.

Por lo mismo se realiza una transferencia la bodega de CEDAL para una Termocupla nueva. Salvo que se adapta un cabezal de doble conexión, ya que se requiere la lectura de la temperatura en el indicador del Tundish y para la automatización. En la figura 2.14 se visualiza una termocupla con cabezal para una conexión a la cual se le adaptará un nuevo cabezal.



Figura 2. 14: Termocupla con cabezal para una conexión.

La figura 2.15 se puede visualizar el cabezal a utilizarse el cuál posee un cabezal con bornera cerámica de doble conexión.



Figura 2. 15: Termocupla con cabezal para doble conexión.

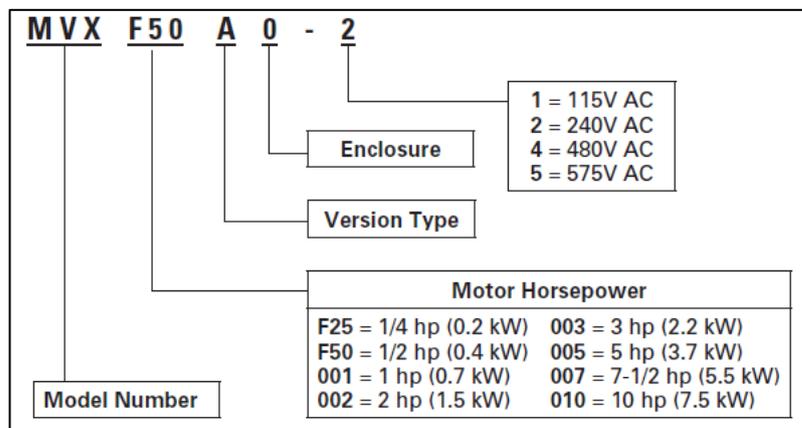
g. Selección del variador de velocidad

Para la selección del variador intervienen las características del motor, las cuales se detallan en la tabla 2.24.

Tabla 2. 24: Características del motor de la mesa

CARÁCTERÍSTICAS DEL MOTOR DE LA MESA	
CARACTERÍSTICA	VALOR
Frecuencia	50 HZ
Voltaje	380V en Y
Corriente	0.47 ^a
Potencia	0.11kw
n1	1330
n2	0.28
Factor de Potencia	0.71
Protección IP	065

En base a las características del motor y con la ayuda del catálogo de selección EATON proveedores de variadores de CEDAL se procede a seleccionar el variador. En la figura 2.16 Se visualiza el catálogo de selección.

**Figura 2. 16: Catálogo de selección de variadores EATON.**

En base al catálogo se selecciona un variador: MVX001A0-4. Para mayor detalle en el anexo **B** se describen los diagramas y botones de navegación del variador.

h. Selección del panel view

Como se mencionó anteriormente, la aplicación se va a desarrollar con el uso el software Factory Talk, por tal motivo la pantalla seleccionada debe correr con este software.

Para la selección del panel view se busca los catálogos de selección de Rockwell Automation quienes distribuyen pantallas de operador Allen Bradley propias del software Factory. El anexo G detalla la selección del Panel View.

Selecciones de productos					
Número de boletín	Tipo de entrada	Tamaño de pantalla	Tipo de pantalla	Comunicación	Alimentación eléctrica
2711P-	K = Teclado	4 = 3.5 o 3.8 pulg.	C = Color	5 = RS-232 y USB	A = CA
	B = Teclado/pantalla táctil	6 = 5.5 pulg.	M = Escala de grises	20 = Ethernet, RS-232 y USB e interface de módulo de comunicación	D = CC

Figura 2. 17: Catálogo de selección de panel view allen bradley.

En base a la figura 2. 17. Se selecciona un panel view: **2711P-K4C20D**

Para la selección se tomó en cuenta que el panel view debe estar en red con los equipos, además se selecciona un panel view con teclado debido a que los operadores traban con guantes, y esto les dificulta manejar una pantalla táctil.

Las consideraciones de voltaje del panel view son en base a los cálculos de corriente diseñados para el tablero.

i. Selección de la PC

FactoryTalk por default es un software pesado, y más aún cuando se va a generar históricos. Por tal motivo es imprescindible que la computadora tenga características avanzadas. En base a estos requerimientos se selecciona una PC con las siguientes características:

- CASE COMO DE LUXE
- INTEL DH61CR S1155
- PROC. CI7 3770 3.4 GHZ
- MEMORIA DDR3 8GB
- DISCO DURO 1 TB SATA
- LECTOR DE MEMORIA
- DVD WRITER
- MONITOR LED LG 18.5

- REGULADOR ALTEK 725 VA
- XP SP3
- DOS TARJETAS DE RED

Cabe recalcar que la PC debe estar formateada bajo la plataforma Windows XP sp3 profesional, además que debe tener dos tarjetas de red: 1 red para trabajar como red LAN en la empresa es decir aplicaciones ofimáticas; y otra red para PLC , es decir exclusiva para programación.

j. Resumen: Requerimientos de hardware

Luego de haber seleccionado todos los equipos y en base a las cotizaciones realizadas, se presenta el siguiente resumen de requerimientos de equipos para la implementación de la automatización.

La tabla 2.25 detalla el resumen de requerimientos de Hardware, el cual incluye las características de cada equipo a utilizarse y el costo del mismo.

La adquisición de los equipos se realizó a través del departamento de compras de la empresa.

Tabla 2. 25: Resumen requerimientos de hardware

CANTIDAD	ÍTEM	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	COSTO TOTAL
1	PLC	1763-L16BWA AB AUTO MICR 1100 16 I/O 10 IN 24 VDC, 6 RELAT OUT DC	623,96
1	Modulo Entradas Análogas	1762-IF4 AB AUTO MICR 1100 MODULO ANALO 4 ENTRADAS ANÁLOGAS DE VOLTAJE Y CORRIENTE	360,42
1	Módulo Salidas Análogas	1762-OF4 AB AUTO MICR 1100 MODULO ANALO 4 SALIDAS ANÁLOGAS DE VOLTAJE Y CORRIENTE	341,67
1	Módulo Entradas Termocupla	1762-IT4 AB AUTO MICR 1100 MODULO TERMOPAR TERMOPAR/mV DE 4 CANALES	504,17
1	Variador de Velocidad	VARIADOR EATON 1 HP. MVX 9000. SENSOREIES VECTOR	465
1	Fuente 24Vdc/5A	SOLA FUENTE 120 W 24 VDC 5A INPUT 115/220 V AC AUTOSELEC	248,82
1	Conector Transmisor de Presión.	AB MICRO CONECTOR CON CABLE M12 HEMBRA, 4 PIN 22 AWG, 2METROS	14,63
1	Transmisor de Presión.	Solid state Pressure Condition Sensor, Digital Display, Analog Switching output 0 to 60 psi (0 to 4 bar) (4 -20 mA.) Pressure Range, ¼ NPT female (proces conection)	503,75
1	Termocupla Tipo K	TERMUCUPLA COMPLETA	400
1	Pantalla AB.	PanelView Plus 400 Color model, Keypad, Ethernet, RS-232 and Modular Communication, DC Input	892,71
100 m	Cable de red.	CABLE UTP CATEGORIA 6A.	270
1	Transformador de voltaje	TRANSFORMADOR DE VOLTAJE MONO.2000VA 240/480-120/240. GE.	353,62
1	Tablero Eléctrico	Tablero eléctrico, dimensiones: 1200*800*400 mm	474,25
1	Switch Ethernet	SCALANCE108 SWITCH ETHERNET 8 PUERTOS/RJ45 6GK5108-0BA00-2AA3.	30
1	Computadora	PC. CASE COMO DE LUXE INTEL DH61CR S1155 PROC. CI7 3770 3.4 GHZ MEMORIA DDR3 8GB DISCO DURO 1 TB SATA LECTOR DE MEMORIA DVD WRITER MONITOR LED LG 18.5 REGULADOR ALTEK 725 VA PAD.	1321,60
1	UPS	Marca: General Electric Serie: VH 1000UL 1 KV Ac input 120 Vac. Frecuencia de entrada 50 - 60 Hz Ac Output 100 - 127 selectable..	821
1	Consumibles.	Material eléctrico, canaleta, cable de Termocupla, switch de selección, pulsantes, consumibles, etc.	775,24
TOTAL			8400,62

k. Diseño del tablero de control

Luego de haber detallado el tipo de señales a utilizarse y determinado los módulos necesarios, se procede a diseñar la ubicación física de los componentes, Para esto se procede a realizar los planos eléctricos-electrónicos, En el anexo se detallan los planos eléctricos del tablero de control.

Se adquirió un tablero de dimensiones 1200*800*400 mm, esto con el objeto de colocar la visualización del control de los quemadores y para el control automático de la velocidad. En la figura 2. 18 Se detalla la distribución externa de elementos.

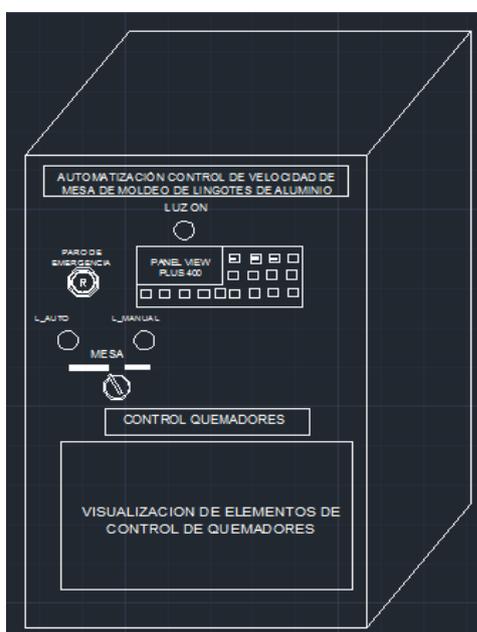


Figura 2. 18: Distribución externa el tablero de control.

La ubicación interna de los equipos se realiza respetando las sugerencias de los proveedores de los equipos en cuanto a espacios para ventilación se refiere. En el anexo C, se detalla el diseño de los elementos de control (palos eléctricos).

Además, es necesario implementar una tarjeta de control para regular el voltaje de 24Vcc a 10 Vcc, la cual se utilizara como entrada análoga de voltaje.

Para el efecto se utiliza un regulador de voltaje cuya serie es LM7810. La figura 2.19 detalla el circuito simulado para hacer ka respectiva placa.

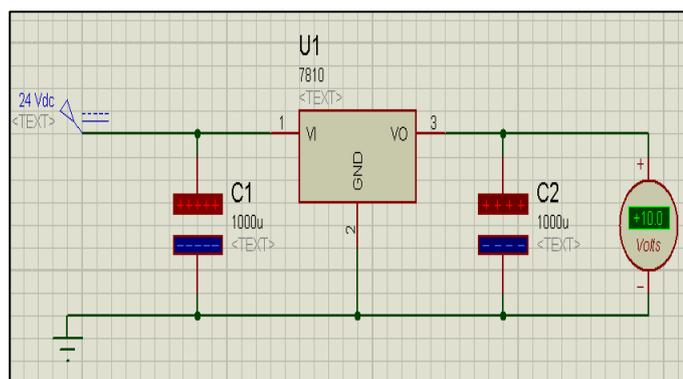


Figura 2. 19: Diseño regulador de voltaje.

Luego de diseñar la placa se procede a diagramar la conexión entre el regulador de voltaje y la entrada y salida analógica. En la figura 2.20 Se visualiza el diagrama diseñado que llega al variador.

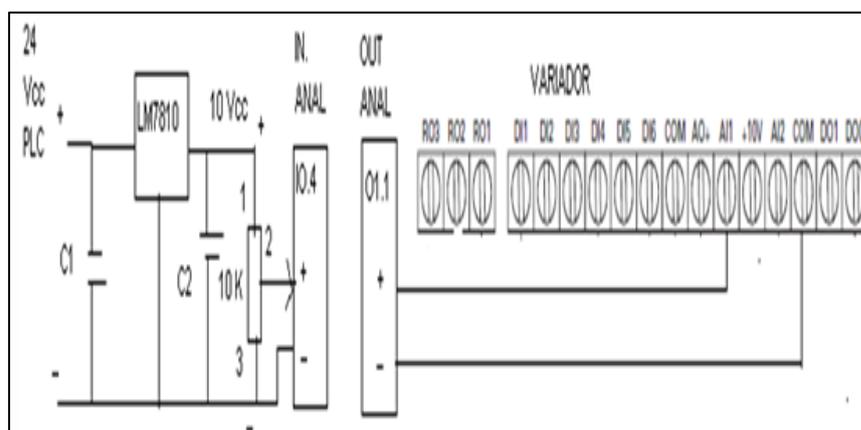


Figura 2. 20: Conexiones salidas analógicas-variador.

Como se puede ver en la fig2. 20 Se toma los 24 Vdc del PLC, esto con el objeto de garantizar que nunca se pierda el voltaje; ya que el tablero de control estará alimentado de una UPS.

Se tomará la entrada analógica de voltaje provista en el plc MicroLogix 1100. Para el transmisor de presión se utilizara la entrada analógica del módulo de expansión.

2.5.5. Módulo 3

Con el módulo 3 se pretende crear un Interfaz amigable con el operador y además es indispensable generar históricos.

a. Matriz de selección

La matriz de selección permite determinar la solución idónea para el módulo en cuestión. La ponderación es de 0 a 10.

A la ponderación 0 se la cataloga sin importancia y a la 10 como la opción imprescindible.

Las alternativas para dar solución al módulo 3 se visualizan en la tabla 2.26

Tabla 2. 26: Alternativas de solución para el módulo 3.

ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN PARA EL MÓDULO 3	
ALTERNATIVA 1	Diseño e implementación de un HMI-SCADA con Factory Talk
ALTERNATIVA 2	Diseño e Implementación de un HMI-SCADA con LabView
ALTERNATIVA 3	Diseño e Implementación de un HMI-SCADA Con Intouch

En base las alternativas de solución se plantean la matriz de selección, los resultados se detallan en la tabla 2.21

Tabla 2. 27: Solución al módulo 3.

SOLUCIÓN AL MÓDULO 3			
DETALLE	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
F'ACIL IMPLEMENTACIÓN	0.3 / 6	0.3 / 7	0.2 / 8
BAJO COSTO	0.3 / 9	0.2 / 6	0.2 / 6
POCO MANTENIMIENTO	0.2 / 7	0.2 / 7	0.2 / 7
COMPATIBLE CON OTRO SOFTWARE	0.3 / 8	0.15 / 6	0.1 / 7
FLEXIBLE	0.3 / 8	0.3 / 8	0.1 / 8
TOTALES	10,7	8	4,9

b. Interpretación

Para dar solución al módulo 3, se tomó como indicadores la fácil implementación, el costo de la licencia del software, el mantenimiento requerido, la compatibilidad y la flexibilidad del software.

En base a estos indicadores se plantearon 3 soluciones, descritas en la tabla 2. Cuyos puntajes fueron:

Alternativa1: 10,7

Alternativa 2: 8

Alternativa 3: 4,9

c. Declaración de resultados

En base a la interpretación de resultados, se determina que la alternativa 1 correspondiente a “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN HMI- SCADA CON FACTORY TALK” es la mejor opción para dar solución al módulo 3. Por tal motivo se procede a diseñar el SCADA

2.5.6. Solución Módulo 3: Diseño e implementación de un SCADA con el uso del software Factory Talk View Studio.

Para el diseño del SCADA, se usa el software Factory Talk, ya que a más de ser un software propietario de Allen Bradley; la empresa posee las licencias para la implementación, conllevando esto un ahorro económico en el desarrollo de la tesis. El paquete de FactoryTalk que posee Cedal. La licencia abarca un total de 100 displays para programación y 500 Tags para generación de históricos

Se creará una aplicación tipo cliente, las licencias se habilitarán enlazando el servidor que se encuentra en mantenimiento y la pc del proyecto que está ubicado en Fundición. El enlace se lo realizará a través de una red LAN.

.En el proyecto se implementarán dos aplicaciones: una Machine Edition quien correrá sobre el panel view plus 400, se opta por utilizar un panel view para tener control en tiempo real y se busca que el HMI sea amigable con los operadores.

Se creara también una aplicación site Edition, la cuál correrá sobre la PC remota la cuál se ubicará en la oficina de fundición para el monitoreo del sistema y recolección de información a través del SCADA.

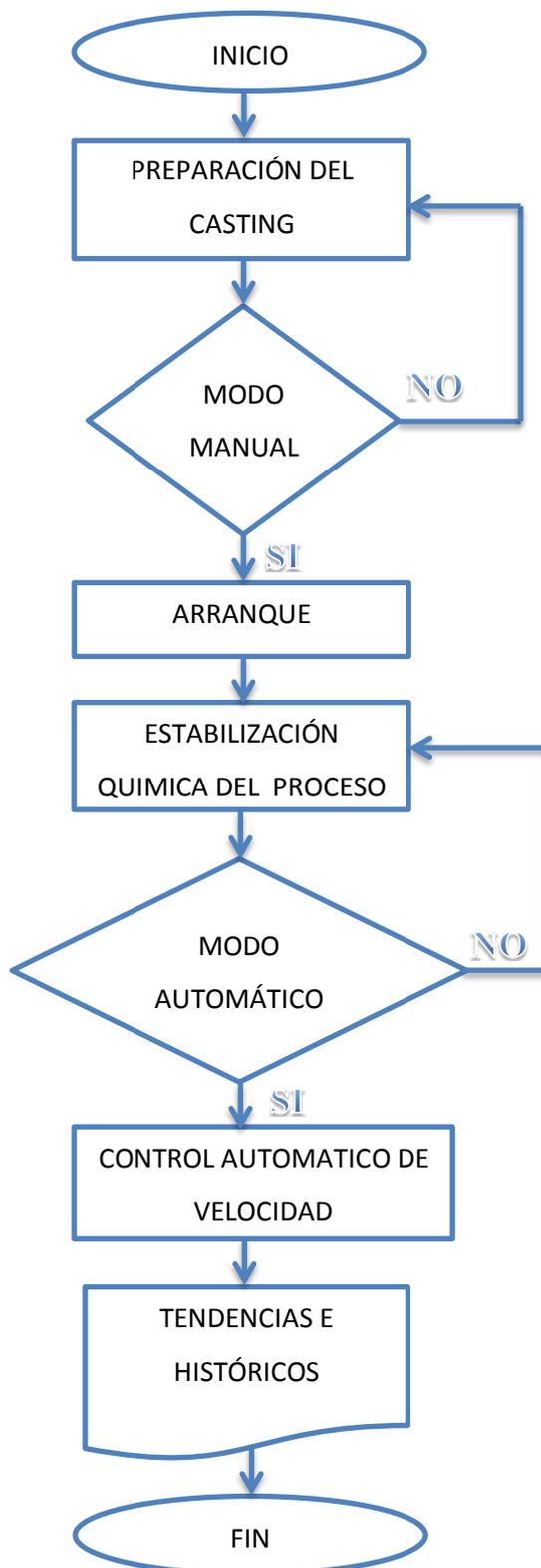
Como las aplicaciones estarán en red, se asignará las siguientes IP a los equipos que estarán conectados en red. La tabla 2.28 detalla las direcciones IP de los equipos.

**Tabla 2. 28: Direcciones IP de los equipos en red
ASIGNACIÓN DE IP'S A LOS EQUIPOS EN RED**

Nombre	Dirección IP
Tarjeta de red LAN	192.168.2.108
Tarjeta de red PLC	1.1.1.200
Panel View Plus 400	1.1.1.201
PLC Micrologix 1100	1.1.1.195

Para la automatización se aplicará un sistema de control a lazo cerrado tomando siempre como referencia la temperatura en el Tundish

La aplicación para el control de velocidad manual y automático, funcionará de acuerdo a la siguiente lógica:

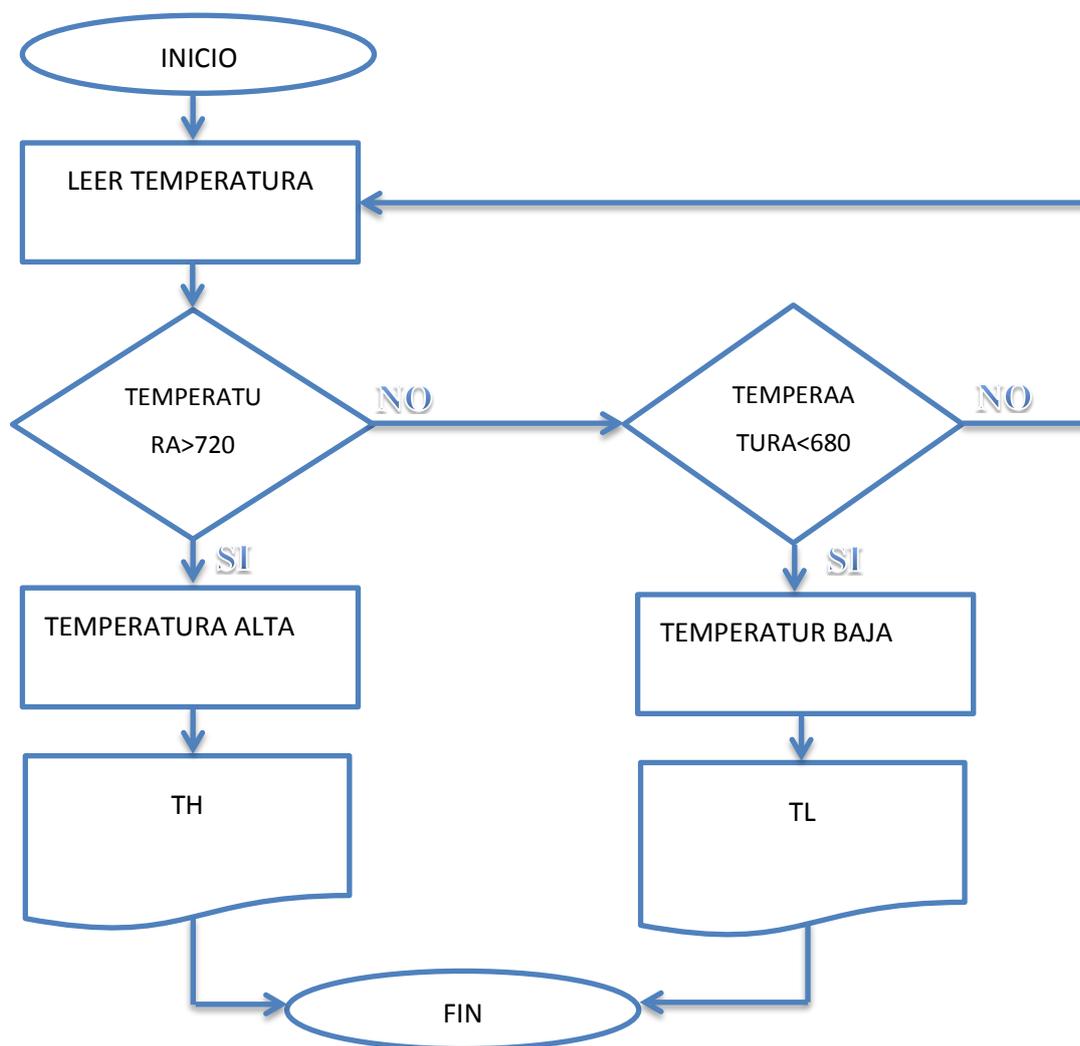


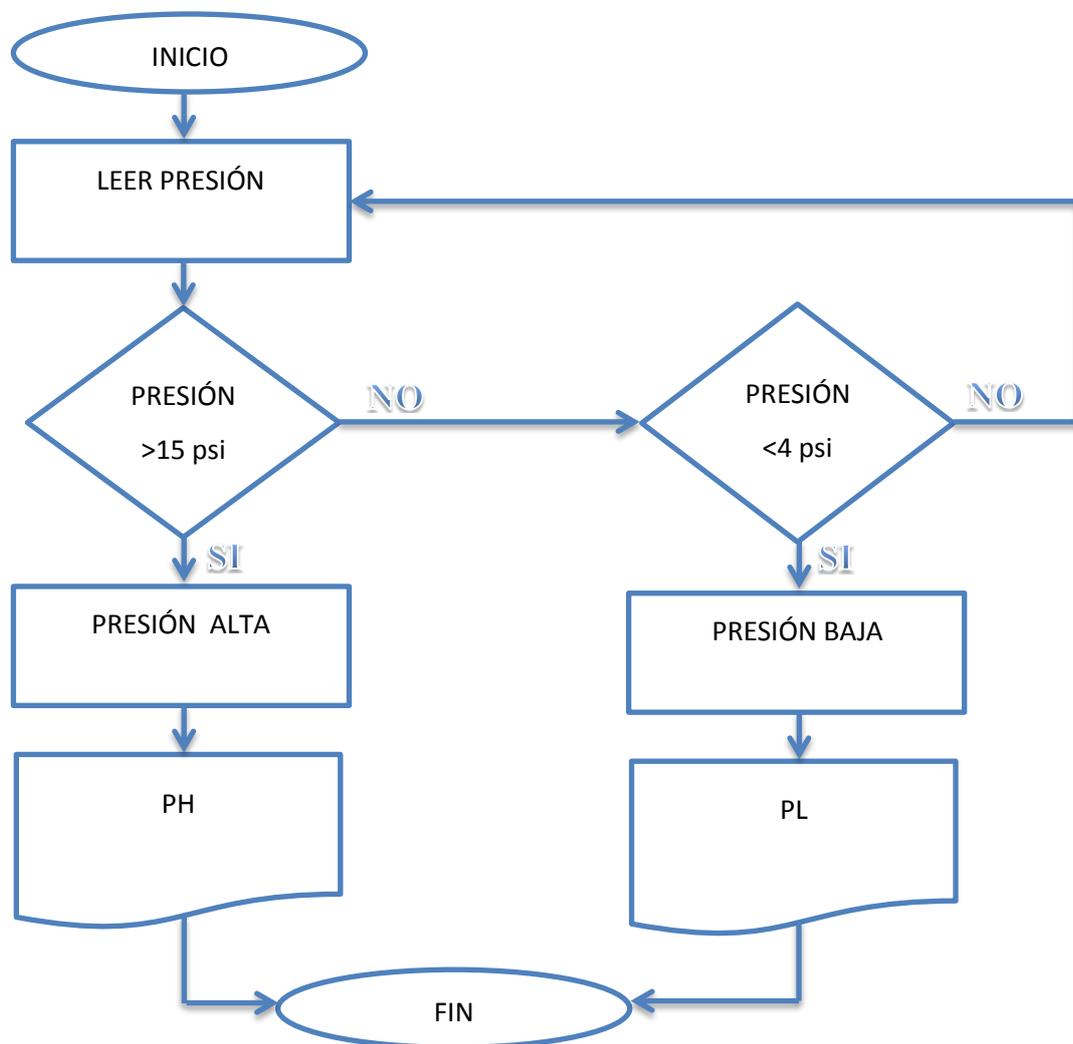
a. Diseño de las alarmas del proceso

En el proceso, las variables principales son la temperatura y velocidad. Además se toma en cuenta que por baja presión de agua la colada de aluminio puede derramarse. Por tal motivo también se diseñan alarmas por presión.

Las alarmas saltarán de acuerdo de a la siguiente lógica:

2.5.6.a.1. Alarmas por temperatura



2.5.6.a.2. Alarmas por presión

CAPÍTULO III

IMPLEMENTACIÓN

3.1. IMPLEMENTACIÓN DEL HARDWARE.

3.1.1. Reubicación del tablero de quemadores e instalación del nuevo tablero para el control automático de velocidad.

Como primera fase, y en base a los requerimientos del cliente: “No se debe instalar tableros de control en zonas exclusivas de tránsito peatonal y de montacargas”. Tomando como base a este principio y debido la falta de espacio físico para la ubicación de tableros; se procede a girar el tablero de control de los quemadores para poder instalar un nuevo tablero, dejando el control en tablero anterior y ubicando la visualización en el nuevo tablero (frontal) que se utilizará para la instalación de equipos para el nuevo control.

En figura 3.1, se visualiza el tablero de quemadores al cual se le girará para poder ubicar el nuevo tablero.



Figura 3. 1: Tablero de control de quemadores.

En el tablero del control de quemadores se tienen controladores de temperaturas de los quemadores meelting y casting, selectores de encendido y apagado de los mismos y el accionamiento del blower.

Se gira el tablero de control de los quemadores con el objeto de reducir espacio y poder instalar un nuevo tablero para el control automático de velocidad de la mesa. Para esto se pondrán los controladores al frente en el nuevo tablero y se mantendrá el control en la parte posterior, es decir los tableros quedarán pegados entre sí.

Con el reubicación del tablero se logra optimizar espacio, y lo primordial; visualizar los controladores de los quemadores y el control y visualización de la velocidad de la mesa en un solo tablero.

Para lograr esto, como primer paso para girar el tablero de los quemadores se procede a desconectar los controladores. La figura 3.2 detalla el proceso.



Figura 3. 2: Desconexión de los controladores del tablero de control de quemadores.

Para la desconexión del tablero de control, se siguieron los planos eléctricos “CONTROL DE QUEMADORES HERWITCH” que reposan en la oficina de fundición.

NOTA: En el presente trabajo investigativo, **no** se pueden publicar los planos “CONTROL DE QUEMADORES HERWITCH”, ya que son propiedad de CEDAL S.A.

3.1.2. Instalación del nuevo tablero

Luego de haber girado el tablero de control de quemadores se procede a construir una nueva base para el nuevo tablero. La figura 3.3 detalla la base, la cual fue construida en ángulo de 2 pulgadas.



Figura 3. 3: Base para el tablero de control de la velocidad de la mesa.

Luego se procede a anclar la base al suelo con pernos HELTY, los cuales soportarán el peso del tablero, la figura 3.4 detalla el anclaje.



Figura 3. 4: Base anclada al suelo.

A continuación se procede a instalar el tablero, en el cual se visualizarán los controladores de los quemadores y los elementos de control de la velocidad de la mesa. Por tal motivo, en el diseño se seleccionó un tablero lo suficientemente grande para que abarque todo los controladores. La figura 5 visualiza el tablero ya instalado.



Figura 3. 5: Tablero instalado.

Luego de verificar que el tablero este anclado al suelo correctamente, se procede a ubicar los controladores de los quemadores.

Para pasar los cables desde el tablero de control de quemadores hacia el tablero frontal se utiliza cable AWG 14, Termocupla tipo k, manguera y conectores VX de media y una pulgada.

La figura 3.6 detalla el proceso de instalación de los controladores en el tablero frontal.

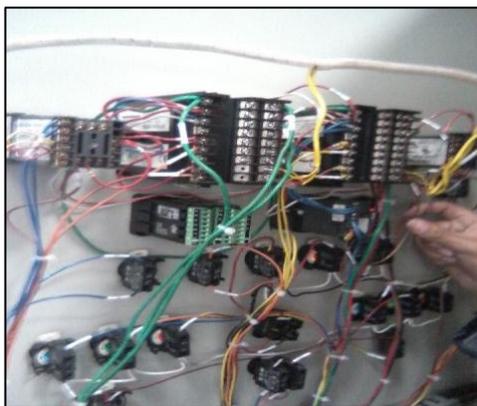


Figura 3. 6: Instalación de los controladores de quemadores en el tablero frontal.

Finalmente se enciende desde el tablero de control de quemadores para monitorear y activar los indicadores frontales, La figura 3.7 visualiza los indicadores frontales en funcionamiento, además muestra una vista lateral de los tableros, el de control de velocidad y quemadores.



Figura 3. 7: Activación de los controladores de los quemadores.

3.1.3. Implementación del circuito eléctrico-electrónico para el control de la velocidad de la mesa.

a. Potencia

De acuerdo a los procedimientos de control, se debe conectar primero potencia y luego control.

Para ello y en base a los requerimientos del cliente se alimenta el tablero de control desde el tablero de distribución de alto voltaje, el cual esta energizado de la UPS que suministra energía eléctrica a los tableros considerados como críticos en el área de fundición. La figura 3.8 detalla el tablero.



Figura 3. 8: Tablero de alto voltaje

b. Consideraciones para el cableado eléctrico en fundición

Fundición es una de las áreas más críticas en CEDAL, por tal motivo se deben cumplir normas estrictas en cuanto a cableados eléctricos se refiere; ya que un derrame de aluminio puede ser causal para un conato de incendio. Las consideraciones primordiales son:

- Ningún cable eléctrico debe ser enterrado, por tal motivo se implementa cableado aéreo, a través de las canaletas instaladas para el efecto.

En base a este principio se procede a llegar con cable sucre #14 a 4 hilos desde el tablero de control hacia la UPS.

Para el efecto se utiliza un montacargas y una canastilla de seguridad. Además de pasar el cable sucre, se instala cable belden para el variador y UTP para la red.

La figura 3. 9 Se visualiza el cableado aéreo de potencia.



Figura 3. 9: Cableado de potencia y control

En la figura 3.10 se visualiza el cableado de datos, que de igual forma debe ser aérea. En fundición; al ser las condiciones agrestes y más aún cuando la distancia es considerable entre el tablero de control y la oficina de Fundición, se opta por subir la categoría del cable de red utilizado en la planta. Se pasa un cable UTP categoría 6A, el cuál garantiza el apantallamiento de la señal (eliminación de interferencias) y principalmente que no se perderán los datos.

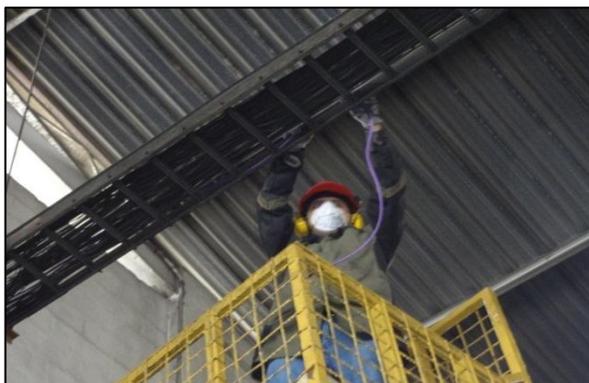


Figura 3. 10: Cable de datos

- Del Tablero de alto voltaje, se toma un Breaker de 440 Vac el cual suministrará la alimentación del tablero de control.

La figura 3.11 detalla el Breaker tomado, al cuál se lo denomino alimentación para tablero de control mesa salida de lingotes.

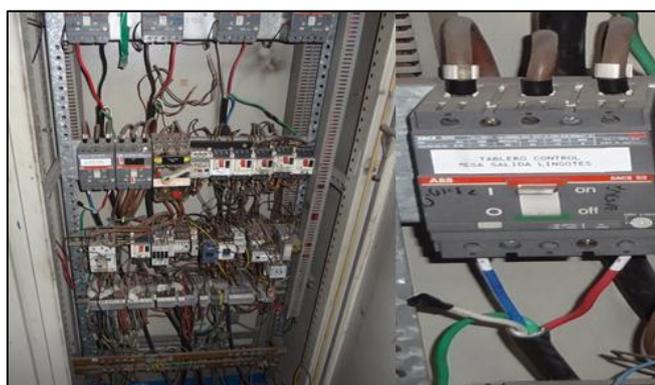


Figura 3. 11: Breaker 440 Vac

- Puesta a tierra

Para el tablero de control es indispensable una buena puesta a tierra, por tal motivo se utiliza un hilo (verde) del mismo cable sucre para aterrizar el control, ya que la UPS está dispuesta de una bornera de tierras, las cuáles garantizan la protección del

circuito. Además, se aterriza el control al propio tablero de control de velocidad utilizando borneras para puesta a tierra. En la figura 3.12 se puede ver la puesta a tierra del tablero de alto voltaje.

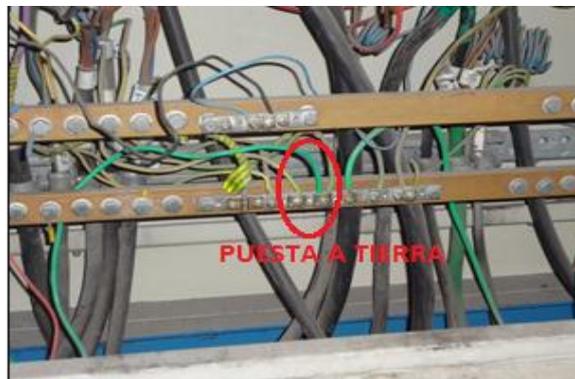


Figura 3. 12: Puesta a tierra en tablero de alto voltaje

c. Circuito de control

Luego de haber instalado el tablero, se procede a instalar el circuito eléctrico, para ello se sigue el siguiente procedimiento:

- En base a los diagramas eléctricos adjuntos en el anexo C, se instalará en primer lugar las canaletas y el riel din, por donde pasarán los cables y se instalarán los equipos respectivamente.

La figura 3.13 visualiza el proceso de instalación.



Figura 3. 13: Instalación de riel din y canaleta.

Al momento de poner las canaletas y el riel din, se respetó el espacio entre componente y componente recomendado por los fabricantes de los equipos a utilizarse, esto con el objeto de tener una buena ventilación y evitar el uso de ventiladores.

- Como siguiente paso se procede a instalar los componentes del control empezando por las protecciones, y con el etiquetado respectivo a cada conexión. En la figura 3.14 se detalla la instalación de los equipos de control.



Figura 3. 14: Instalación de los equipos de control.

Como se mencionó en la conexión de potencia, el tablero es aterrizado al propio tablero de control de velocidad, como de detalla en la figura3.15 donde se indican las borneras de tierra.



Figura 3. 15: Borneras de tierra.

- Luego de haber realizado las conexiones eléctricas para control, se procede a instalar el circuito en el tablero frontal, La figura 3.16 visualiza el proceso de instalación de la base de fibra de vidrio en el tablero.



Figura 3. 16: Instalación de circuito de control en el tablero.

- A continuación se procede a realizar la placa del regulador de voltaje de acuerdo al diseño del capítulo II.

En la figura 3.17 se visualiza la placa construida montada sobre una base para instalarla sobre riel din.

Se colocó un disipador en el circuito integrado por precaución; ya que la temperatura del ambiente promedio en el área de fundición supera los 25°C debido a la presencia de los hornos de fundición y homogenizado.



Figura 3. 17: Placa de control del regulador de voltaje

- Luego de haber realizado la placa; se procede a ubicarla en una caja de proyectos eléctricos para montarla sobre riel din en el tablero de control, como se visualiza en la figura 3. 18



Figura 3. 18: Regulador de voltaje instalado.

- Como siguiente paso para la automatización, se procede con la instalación de los selectores, luces piloto y panel view y paro de emergencia.

En la figura 3.19 se puede observar los componentes instalados en el tablero de control.



Figura 3. 19: Instalación de indicadores para el control de velocidad.

- Luego de haber instalado todos los equipos y haber realizados las pruebas correspondientes cómo se las detallas en el capítulo IV, se procede a energizar el tablero para realizar el programa de control sobre el plc y para programar el panel view y la PC.

En la figura 3.20 se visualizan los equipos energizados y listos para programarse.

En el capítulo III se detalla la programación y configuraciones realizadas para la automatización del control de velocidad de la mesa de conformación de lingotes de aluminio.



Figura 3. 20: Tablero energizado

3.1.4. Instalación y programación del variador

Se instala un variador de velocidad marca EATON de 1 HP seleccionado en el diseño (capítulo II).

En lo referente al motor se utiliza el mismo con el que ha trabajado la mesa, por tal motivo se setean los mismos parámetros. La figura 3.21 visualiza el variador instalado



Figura 3. 21: Variador instalado

Para el control del variador se utiliza los terminales dispuestos en el diagrama 3. 22 al cuál se llega con una señal análoga de 0 a 10 Vdc para el control de velocidad. Para mayor detalle revisar el anexo B, el cuál explica todos los parámetros referentes las configuraciones y conexiones del variador utilizado.

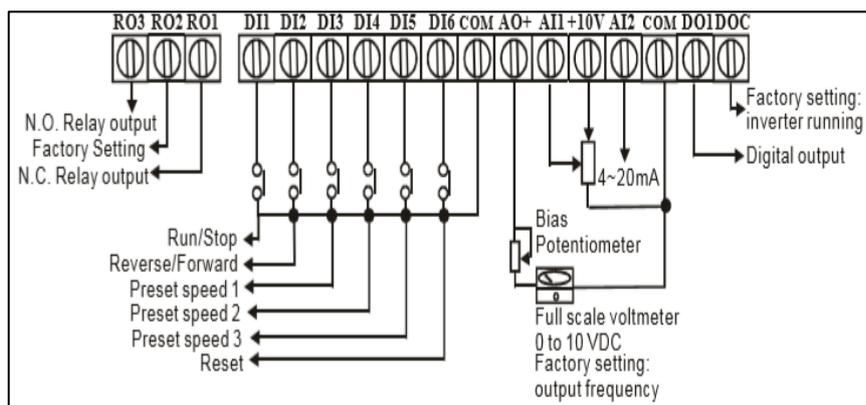


Figura 3. 22: Circuito de control del variador eaton.

a. Programación del variador

Para el control de velocidad se utiliza la entrada análoga de voltaje dispuesta en el variador, además se deshabilita el potenciómetro del variador y se habilitan comando externos, es decir un potenciómetro externo comandará el control de velocidad en modo manual y se utilizará la misma entrada de voltaje para el control automático realizado por el plc.

A detalle, la tabla 3.1 enlista la programación y configuración principal del variador.

Tabla 3. 1: Parámetros de configuración del variador.

<i>PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN DEL VARIADOR EATON</i>		
<i>PARÀMETRO</i>	<i>SETEO</i>	<i>DESCRIPCION</i>
20.01	60	Frecuencia Motor
20.02	380	Voltaje Motor
20.03	02	Frecuencia (Pot)
20.04	01	Comandos Externos
20.05	1.2	Corriente
20.06	1.5	Frecuencia Mínima
20.07	60	Frecuencia Máxima
20.08	0.30	Aceleración
20.09	0.20	Desaceleración

3.1.5. Enlace con PLC Control Logix

Cabe recalcar que en el proceso de fundición, aproximadamente el 70% del control del área lo realiza un PLC control Logix ubicado en el tablero de PLC's. Por tal motivo es indispensable comunicarse al mismo, ya que este plc tiene la potestad de parar la mesa cuando falle algún sistema inmerso en el funcionamiento general de la mesa como: hidráulico, presión de lubricación, etc. Por esta circunstancia el arranque y paro que se da desde el plc Micrologix 1100 (tablero de control de velocidad) debe pasar primero por este PLC para luego encender y apagar el variador. La figura 3.23 indica el plc Control Logix.



Figura 3. 23: PLC control logix de fundición.

Para enlazar los PLC's se realiza el siguiente procedimiento:

- En primer lugar, por sugerencia de mantenimiento no se cambia la ubicación de los pulsantes físicos para el arranque, paro y potenciómetro hacia el tablero de control de velocidad, se decide dejar en el tablero principal del proceso. Se cambian en sitio los pulsantes físicos, el potenciómetro y el capuchón del potenciómetro; esto se realiza con el objeto de facilitar la operación de la mesa por parte de Fundición y principalmente para evitar cableados excesivos que luego complican la labor de mantenimiento. Por tal motivo se debe llegar a los pulsantes con nuevos cableados desde el tablero de control de velocidad, los cuáles resultan más cortos.

En la figura 3.24 se visualiza los pulsantes físicos dejados en sitio en el tablero principal del proceso.



Figura 3. 24: Pulsantes físicos habilitado para manual.

- Se realiza el siguiente procedimiento para llevar el control de los pulsantes al nuevo tablero instalado, a detalle se lo visualiza en el anexo C.
 - En primero lugar se busca la línea principal de 24Vdc que alimenta a todos los pulsantes en el tablero principal del proceso.
 - Se pasa tubería para conexión eléctrica desde el tablero principal hacia el tablero de control de velocidad. Una para los pulsantes y otra para el potenciómetro.
 - Se corta el cable de alimentación, señal de star y stop para llevarla hacia el tablero de control de velocidad para que llegue a una entrada digital del plc; y luego del control por una salida llegue a un relé y esta señal regrese a cerrar el circuito en el tablero principal del proceso, para que por la misma línea vaya hacia el PLC Control Logix, es decir se hizo un empalme para que la señal eléctrica del star y stop en primer lugar lleguen al plc MicroLogix 1100 dónde se realiza el control y luego la salida digital ya controlada vaya al PLC control Logix.
- La señal del potenciómetro no ingresa al PLC ControlLogix sino al variador, entonces para llevar la señal del potenciómetro al tablero de control de velocidad se realiza el siguiente procedimiento:
 - Se cambia a un potenciómetro lineal de 10 K Ω para garantizar una corriente mínima en el circuito y para una baja potencia de consumo de acuerdo al siguiente calculo:

DATOS:

$$V = 10Vdc$$

$$R = 10k\Omega$$

$i = ?$

$P = ?$

$$v = i * R \quad \text{Ec. 3.1}$$

$$10V = i * 10000\Omega$$

$$i = \frac{1}{1000} [A] \quad \text{Ec. 3.2}$$

$$P = v * i \quad \text{Ec. 3.3}$$

$$P = 10V * \frac{1}{1000} A$$

$$P = 0,01 [W] \quad \text{Ec. 3.4}$$

- Con los datos de voltaje y resistencia se aplica ley de Ohm (Ecuación 3.1), determinándose así la corriente (Ecuación 3.2). Con estos datos se procede a calcular la potencia de disipación (Ecuación 3.3 y 3.4) arrojando un consumo de 0.01 watts que es mínima y está dentro de los parámetros diseñados para el control.
- Luego de haber dimensionado e instalado el potenciómetro se procede pasar desde el tablero principal al de control de velocidad cable belden con 3 hilos: alimentación, señal y común.
- Se toma la alimentación de la placa reguladora de voltaje a 10 Vdc ya antes detallada, la cuál toma la alimentación de 24 Vdc del PLC. La señal del potenciómetro se conecta a la entrada análoga del PLC de acuerdo al anexo C.
- En resumen, en el proyecto se enlazaron al tablero de control de velocidad 4 tableros: tablero de alto voltaje, tablero principal del proceso, tablero de quemadores y tablero de PLC's.

3.1.6. Programación e instalación del transmisor.

a. Programación del transmisor

Luego de haber realizado las conexiones eléctricas del tablero de control, se procede a programar e instalar el transmisor de presión.

- **PROGRAMACIÓN**

En base al diseño, se procede a programar el transmisor para que trabaje con una señal de 4 a 20 mA y un rango de presión de 0 a 150 psi.

El transmisor se programa a través de las 3 teclas de navegación dispuesta sobre el mismo. La figura 3.25 se detalla las teclas de navegación

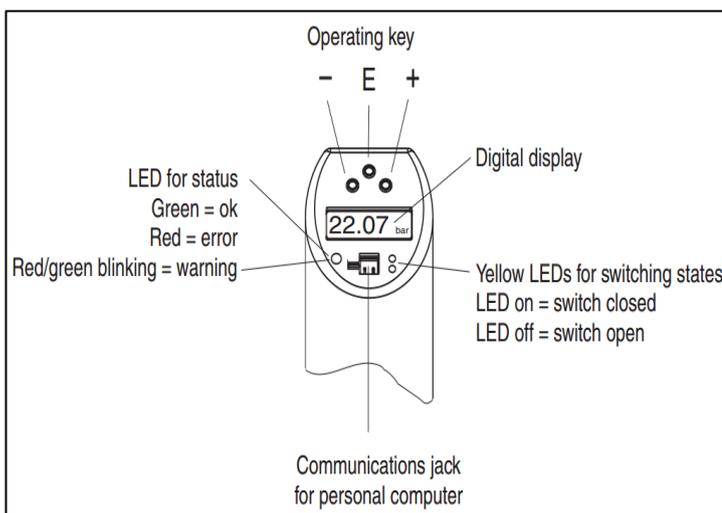


Figura 3. 25: Teclas de navegación del transmisor de presión

El transmisor de presión tiene un menú con 3 grupos de trabajo, los cuales son:

GRUPO A: GRUPOS DE FUNCIONES

GRUPO B: FUNCIONES (Funciones individuales referente a cada grupo de funciones del grupo A)

GRUPO C: CONFIGURACIONES (Valores posibles para cada función-seteos)

De acuerdo al menú de configuración, se selecciona como unidad base psi, se escoge una señal de salida de 4 a 20 mA y otras configuraciones de acuerdo a las necesidades del proceso. Para guardar las configuraciones se presiona la tecla E por 3 segundos.

La programación a seguir del transmisor se adjunta en el anexo **D**.

Luego de programar el transmisor se procedió a realizar pruebas de lazo antes de su instalación final. En la figura 3.26 se puede observar el transmisor ya programado.



Figura 3. 26: Transmisor programado

b. Instalación

El transmisor de presión 836E debe ser instalado por encima del punto de medida, tal como se muestra en la figura 3.27. Se siguen las recomendaciones del manual del transmisor para garantizar la correcta instalación del transmisor y evitar daños en el equipo y principalmente afectaciones al proceso.

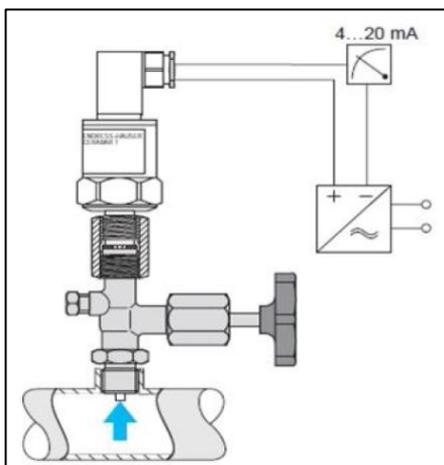


Figura 3. 27: Diagrama de instalación del sensor de presión

Para la instalación del transmisor, como primer paso se procede a perforar la tubería de suministro de agua, esto con el fin de tomar una lectura de presión. Luego de abrir el agujero se procede a armar el transmisor, para esto se utiliza tubería galvanizada, codos cachimbo de media pulgada de diámetro, además de una válvula de purga. La figura 3.28 visualiza el proceso de ensamblaje.



Figura 3. 28: Ensamblaje del transmisor

Finalmente se procede a soldar el ensamble en el agujero abierto en la tubería. Se soldó la acometida del transmisor a una altura considerable con la mesa; esto se lo realiza con el fin de proteger al transmisor de derrames o salpicaduras de aluminio.

La figura 3.29 indica el transmisor instalado en la tubería de agua de enfriamiento del proceso.

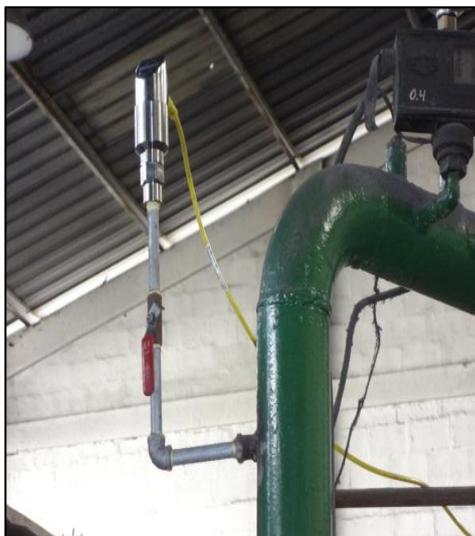


Figura 3. 29: Transmisor instalado

3.1.7. Instalación de la PC Y UPS.

Para instalar la PC, en primer lugar se construye una base para el CPU en ángulo de 1 pulgada para anclar a la pared. En la figura 3.30 se visualiza el CPU ya instalado.

Para instalar la PC se sigue el manual de usuario provista por el proveedor de la computadora, se toman en cuenta espacios entre las PC's existentes en Fundición.



Figura 3. 30: Instalación de la PC y UPS.

Es necesario instalar una UPS para la PC ya que la UPS de Fundación no abastece las computadoras de Oficina. Por tal motivo se selecciona una UPS de 1KVA de acuerdo al anexo E la cuál abastecerá a la PC del SCADA de control de velocidad y la computadora que monitorea el horno de Homogenizado.

3.2. IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE

Luego de haber implementado el hardware, se energiza el tablero y se procede a programar el software, para ello se realizó el siguiente procedimiento:

3.2.1. Asignación de IP's, configuración y programación del PLC

a. Asignación de IP al PLC

Para programar el PLC como primer paso se procede a asignar una dirección IP al plc, para poder establecer comunicación con todos los dispositivos presentes en la red.

El PLC tiene por default una MAC, a través de la cual se configura la IP, el procedimiento a seguir es el siguiente:

- Inicio
- Todos los programas
- Rockwell Software
- BOOTP-DHCP Server

La figura 3.31 detalla el procedimiento para acceder a la MAC del PLC.



Figura 3. 31: Procedimiento para acceder a la MAC del PLC.

A continuación se abre el programa y automáticamente se visualiza el Mac del PLC, a la cual se precede a asignar una dirección IP; el procedimiento es el siguiente:

- Doble clic sobre la MAC
- Asignar IP, en este caso se asignó la dirección 1.1.1.195
- Presionar ok
- Para habilitar la IP seleccionar Enable BOOTP.
- Se puede verificar la IP asignada navegando en las configuraciones avanzadas del PLC a través de los botones provistos en el PLC en la sección EtherNet, dónde se visualizará la IP dada en la pantalla de cristal líquida.

La figura 3.32 indica el procedimiento para asignar la IP al PLC.

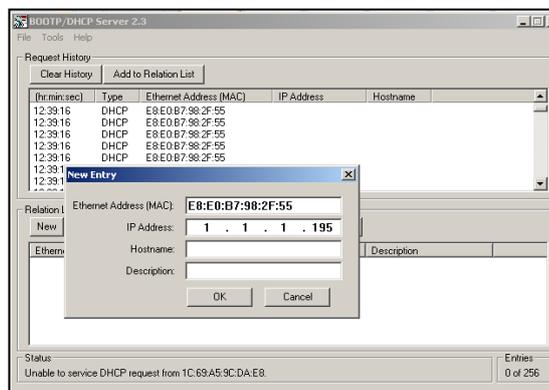


Figura 3. 32: Asignación de IP al PLC

b. Asignación de IP a la PC

Para asignar IP a la tarjeta de red de la PC denominada “PLC” se realiza el siguiente procedimiento:

- Clic derecho en mi sitios de red, seleccionar propiedades
- Se abren las redes presentes, en PLC clic derecho en propiedades
- En protocolo TCP/IP se asigna la IP, que en este caso es 1.1.1.200 y aceptar.

En la figura 3.33 se visualiza la asignación de IP a la tarjeta de red de la computadora denominado “PLC”

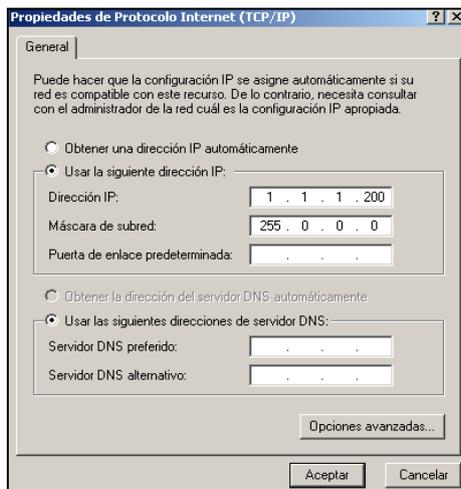


Figura 3. 33: Asignación de IP a la tarjeta de red PLC

Para la tarjeta de red denominada “LAN local” se realiza el mismo procedimiento, salvo la asignación de la IP, para este caso es: 192.168.2.108.

c. Asignación de la IP al panel view plus 400

Por default, el panel view tiene asignado una dirección IP, para este caso en particular es necesario cambiar la IP. Los Panel View Plus de Allen Bradley tienen cargado en su memoria el software Factory Talk View ME Station que permite realizar configuraciones directamente desde este terminal, al empezar una aplicación se ingresa automáticamente al modo de configuración preestablecido que es el que se muestra en la figura 3.34

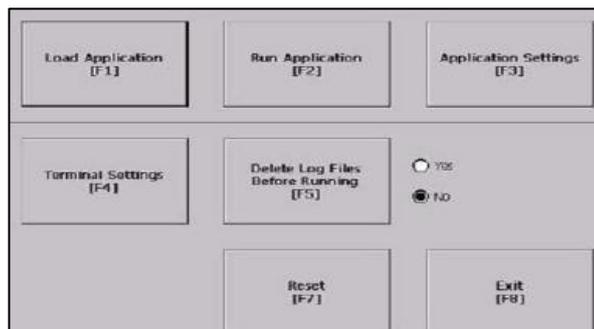


Figura 3. 34: Modo de configuración panel view plus 400

Se cambia la dirección IP del panel view plus desde la pantalla, para cambiar la IP se realiza el siguiente procedimiento:

- Terminal settings

- Network and communications
- RSLinx Enterprise communications
- Device Name
- Panel view Plus, asignar IP: 1.1.1.201

En la figura 3.35 se visualiza el cambio de IP del panel view.

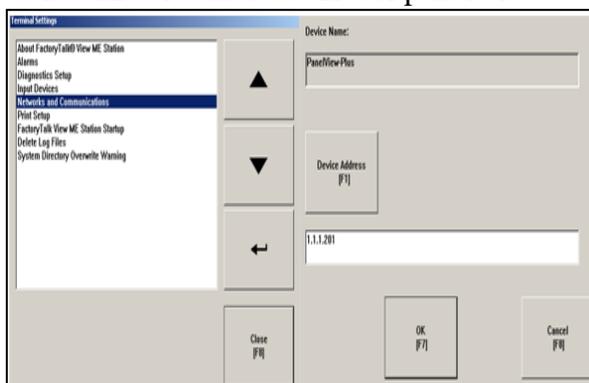


Figura 3. 35: Asignación IP al panel view plus 400

d. Comunicación PLC-PC a través del RSLinx

Para comunicar el plc con la pc, es necesario utilizar un gestor de red que es el RSLinx Classic.

Para configurar el RSLinx, se realiza el siguiente procedimiento:

- Inicio, RSLinx Classic
- Abrir RSLinx, Clic en el icono configure drives  (enchufe), seleccionar Ethernet Devices.

En la figura 3.36 se visualiza la ventana de configuración del gestor de red.

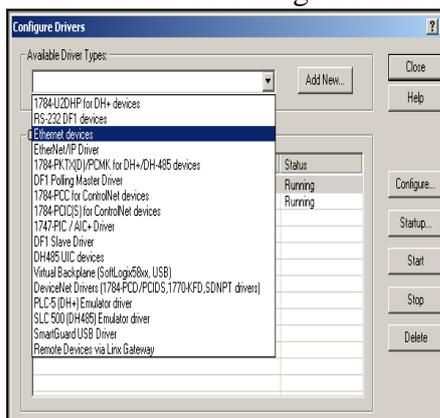


Figura 3. 36: Configuración RSLinx Classic.

- Como siguiente paso se procede a asignar las IP's de los equipos en red para ello se realiza las siguientes configuraciones:
 - Add New.

- asignar las direcciones IP de los equipos.
- aplicar y aceptar.

En la figura 3.37 se indica la asignación de IP's para gestionar la red a través del RSLinx Classic.

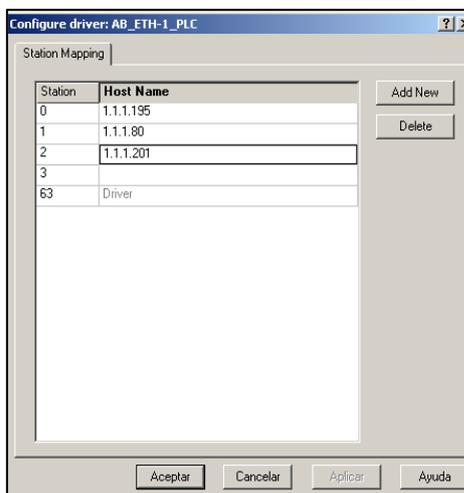


Figura 3. 37: Asignación de IP's en el RSLinx.

- Luego de haber asignado las IP, en el RSLinx doble clic sobre el ícono RSWHo.  En el cual se observa los equipos en red. En la figura 3.38 se visualiza los equipos en red.

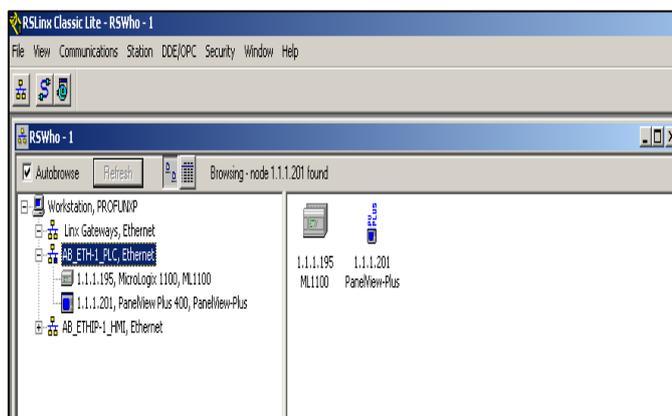


Figura 3. 38: Equipos en red a través del RSLinx Classic.

e. Configuración del PLC Micrologix 1100 Serie B

El PLC se programa con un lenguaje de escalera mediante el uso del software Rlogix500.

- **Configuración de una nueva aplicación**

Se configuró el PLC y los módulos de expansión a utilizarse en la programación

En primer lugar se configurara la aplicación, el procedimiento para configurar la aplicación es la siguiente:

- Abrir RSLogix 500
- New
- Bul 1763 Micrologix 1100 Series B

En la figura 3.39 se indica la configuración de una nueva aplicación.

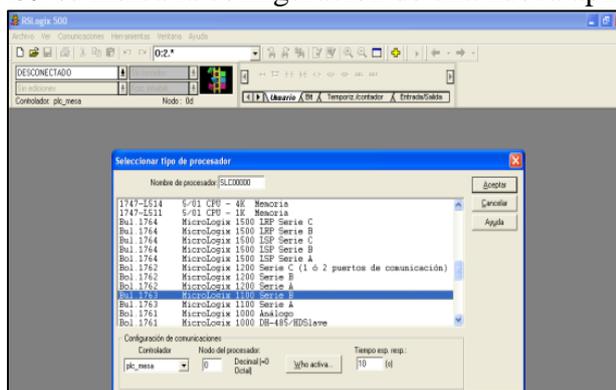


Figura 3. 39: Configuración de una nueva aplicación en RSLogix 500

- **Asignación de IP definitiva al PLC**

Luego de abrir una aplicación, se procede a asignar la IP definitiva al plc, para esto se realiza el siguiente procedimiento:

- Clic en Channel Configuration
- Seleccionar Channel 1.
- Deshabilitar BOOT Enable
- Asignar IP
- Aplicar y aceptar.

En la figura 3.40 se visualiza la asignación definitiva de la IP al plc, también conocido como bloqueo o seguro.

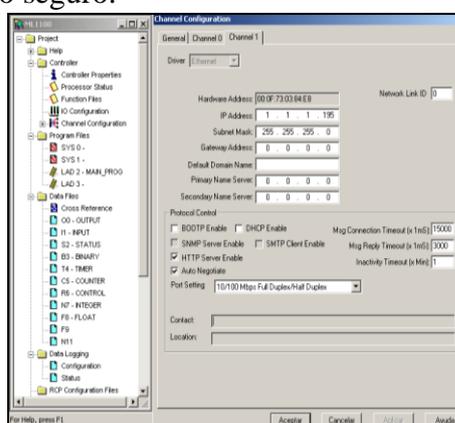


Figura 3. 40: Asignación de IP definitiva la PLC desde el RSLogix 500.

f. Configuración de los módulos de entradas y salidas análogas

Después de haber asignado la dirección IP definitiva al PLC, se procede a añadir los módulos de expansión. Para configurar los módulos de expansión, seleccionar IO Configuration, automáticamente se despliegan en los módulos posibles de expansión. Cabe recalcar que el PLC se puede expandir hasta un máximo de 4 módulos. La fig. 3.41 Visualiza el procedimiento.

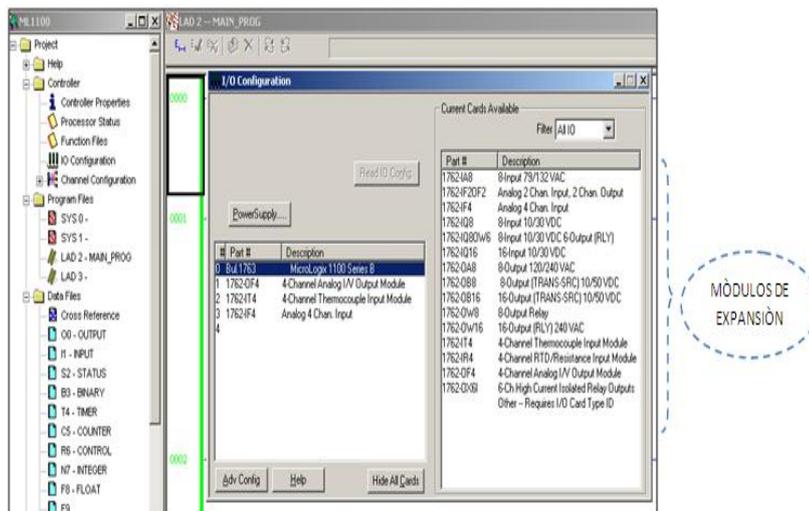


Figura 3. 41: Configuración de módulos de expansión

Se añadieron 3 módulos de expansión necesarios para el control automático de la mesa, los cuáles son:

- Módulo de salidas análogas **1762 OF4**.
- Módulos de entrada de termopar **1762IT4**.
- Módulo de entradas análogas **1762 IF4**.

CONFIGURACIÓN DEL MÓDULO DE SALIDAS ANÁLOGAS.

En el Anexo **F1** se detallan las características del módulo de salidas análogas que corresponde al catálogo **1762OF4**. Las entradas se configuran de la siguiente manera

- Seleccionar el canal a configurar (0-3).
- Seleccionar rango de salidas de voltaje de 0 a +10 Vcc.
- Formato de datos escalado para PID.
- Aplicar y aceptar.

La figura 3.42 indica la configuración del módulo de salidas análogas el cuál permite configurar los 4 canales a voltaje o corriente, depende del proceso y el rango de salida que se necesite.

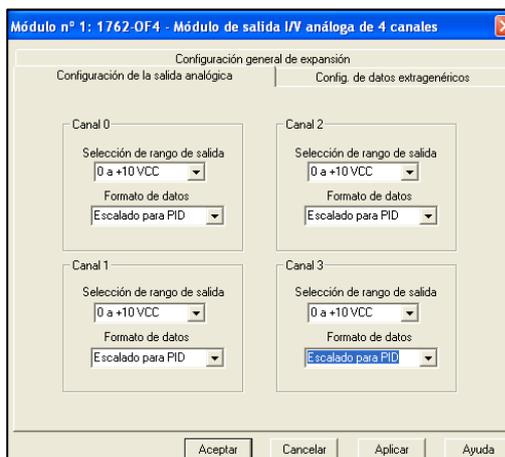


Figura 3. 42: Configuración del módulo de salidas análogas.

CONFIGURACIÓN DEL MÓDULO DE TERMOPARES.

El módulo de expansión de termopar corresponde al **1762IT4**. En el anexo **F2** se describen las características del módulo. Se procede a configurar los 4 canales de la siguiente forma:

- Habilitar canal (0-3)
- Formato de datos: Unid. De ingeniería x10.
- Tipo de entrada: Tipo k (Termocupla).
- Circuito abierto: Cero.
- Unidades °C, aplicar y aceptar.

En la figura 3.43 se visualiza la configuración del módulo de termopares.



Figura 3. 43: Configuración del módulo de termopares.

CONFIGURACIÓN DEL MÓDULO DE ENTRADAS ANÁLOGAS.

Las entradas analógicas se expanden a través del módulo **1762IF4**, el anexo **F3** detalla las características. El módulo se configura de acuerdo al siguiente procedimiento:

- Seleccionar canal (0-3)
- Seleccionar: Filtro: 60Hz, 450 ms actualización.
- Seleccionar: Rango de entrada: 4 a 20 mA.
- Seleccionar: Formato de datos: En bruto/proporcional, aplicar y aceptar.

La figura 3. 44 detalla la configuración del módulo de entradas analógicas

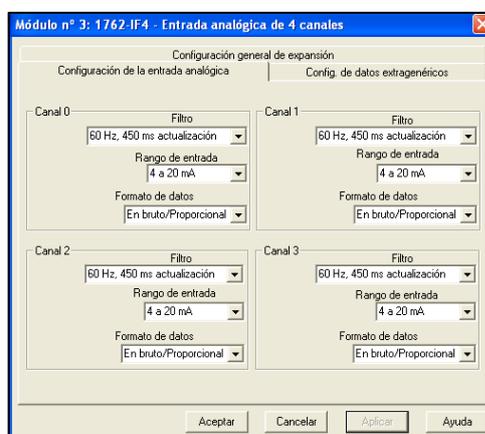


Figura 3. 44: Configuración del módulo de entradas analógicas.

Luego de haber configurado todos los módulos, se procede a programar de acuerdo al diseño realizado en el capítulo II.

La programación del PLC se lo puede revisar en el anexo **H**.

3.2.2. Programación del HMI–panel view plus 400

a. Instalación del software y activación de las licencias

Para programar el SCADA, como primer paso se procede a instalar Factory Talk, programa con el cuál se desarrolla el HMI, EL servidor y habilitador de las licencias se encuentra en Mantenimiento. Por tal motivo luego de instalar el software es necesario conectarse con el servidor para habilitar las licencias.

Como primer paso se procede a ubicarle a la PC en el grupo de trabajo WORKGROUP, para esto se realiza el siguiente procedimiento:

- Inicio

- Mi PC
- Propiedades del sistema
- Nombre del equipo
- Cambiar nombre
 - Se procede a signar el nombre de la PC y del grupo de trabajo.

La figura 3.45 visualiza la asignación de la PC al grupo de trabajo WORKGROUP.

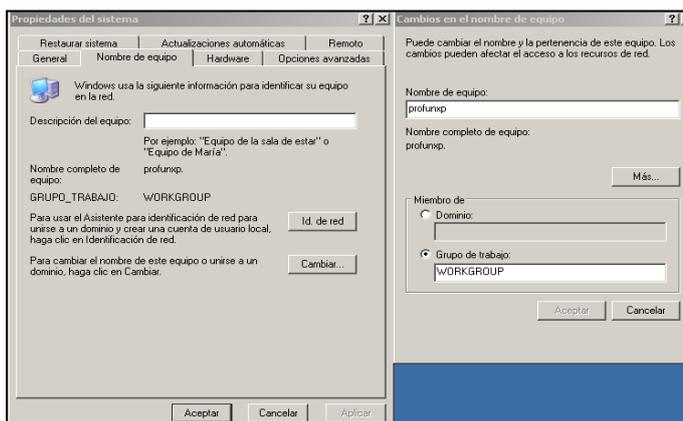


Figura 3. 45: Asignación de la PC al grupo de trabajo WORKGROUP.

Como siguiente paso se procede a activar las licencias. Para ello se realiza lo siguiente:

- Inicio
- Todos los programas
- Rockwell Software
- Factory Talk Activation
- Factory Talk Activation Manager

La figura 3.46 visualiza el procedimiento para acceder al gestor de activación.

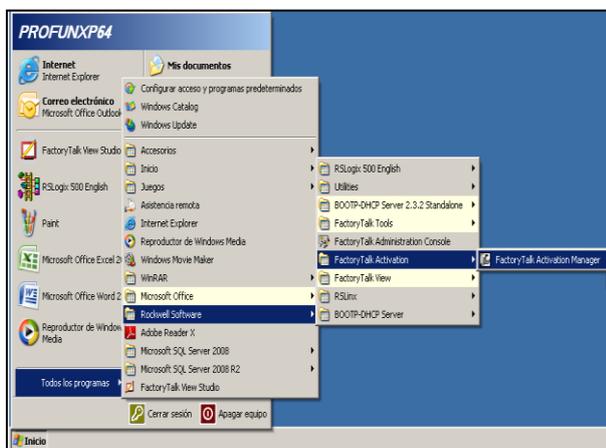


Figura 3. 46: Acceso al gestor de activación de las licencias de Factory Talk

Luego de acceder a la ventana de activación se procede activar los componentes, para ello es necesario añadir un servidor, que en este caso es mantenimiento; en la figura 3.47 se indica el servidor añadido. El procedimiento para configurar es:

- Manage Activation
- Seleccionar Update Activation Search path.
- Add Server
- Seleccionar servidor (Promanxp64)
- Aceptar

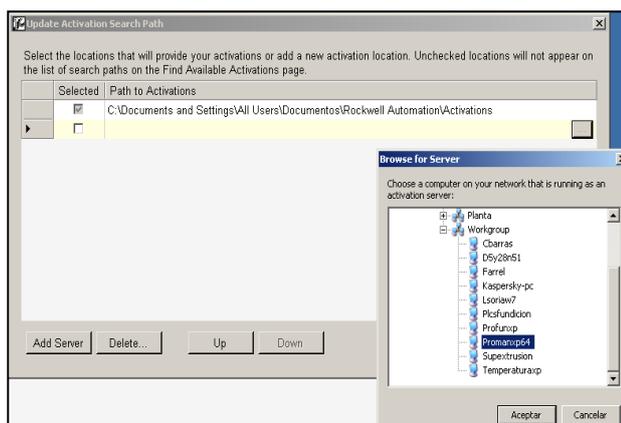


Figura 3. 47: Enlace con el servidor de mantenimiento.

Luego de establecer comunicación con el servidor como último paso seleccionar Refresh Activations, y automáticamente se habilitarán las licencias. En la figura 3.48 se pueden ver las licencias de Factory Talk View Studio activadas.

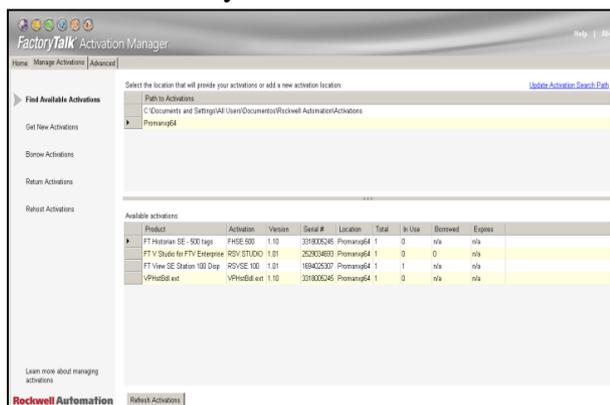


Figura 3. 48: Licencias de Factory Talk View Studio activadas.

b. Creación del HMI

La plataforma FactoryTalk View Studio maneja 3 tipos de aplicaciones, las cuáles son:

- **FactoryTalk Machine Edition.-** Exclusiva para aplicaciones que correrán sobre panel de operador.

- **FactoryTalk Site Edition Local.-** Aplicación que corre sobre PC y se aplica en aplicaciones locales.
- **FactoryTalk Site Edition Network.-** Aplicación que corre sobre PC y se aplica para enlazar varias aplicaciones a través de una red.

Cabe recalcar que se puede migrar de una aplicación a otra sin necesidad de crear una nueva aplicación a través de un gestor cliente.

Para el panel view se crea una aplicación tipo Machine Edition. Las cual ejercerá acciones de control, para la PC se crea un aplicación Site Edition que será de monitoreo y de generación de históricos SCADA.

Es relevante la versión del software, ya que una versión anterior a la 6 tendrá dificultades para correr sobre el panel view seleccionado.

La figura 3. 49 detalla el procedimiento para ejecutar una aplicación machine Edition

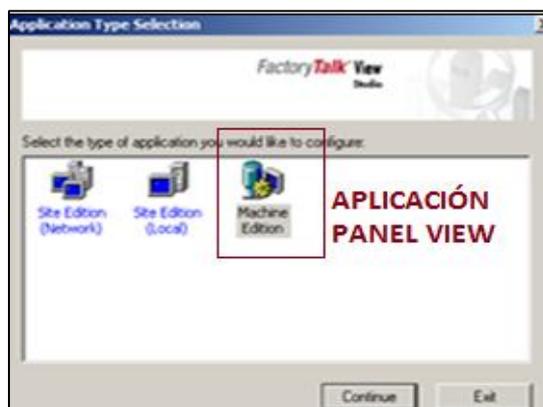


Figura 3. 49: Aplicación machine edition

Luego de haber accedido a la aplicación machine Edition, seleccionar new para crear una nueva aplicación en donde se procede a configura el idioma y las dimensiones de la aplicación de acuerdo a las dimensiones del panel view. La figura 3. 50 Detalla el procedimiento:

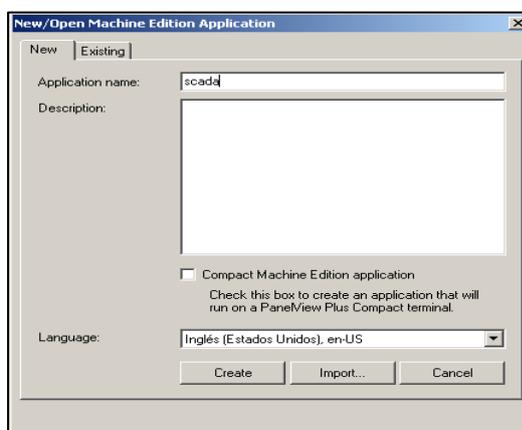


Figura 3. 50: Creación de una aplicación machine edition

Como siguiente paso se procede a configurar la conexión PLC-HMI, para ello se utiliza el RSLinx Enterprise, quien es el gestor de red para la comunicación. El procedimiento para la configuración es el siguiente:

- RSLinx Enterprise
- Abrir Communications Set Up
- Device Shortcut
 - Add
- Se asigna un nombre al PLC (plc1100)
- Design Local
 - Seleccionar IP del PLC
 - Apply

En La figura 3.51 se visualiza la configuración de la comunicación entre el PLC y el HMI.

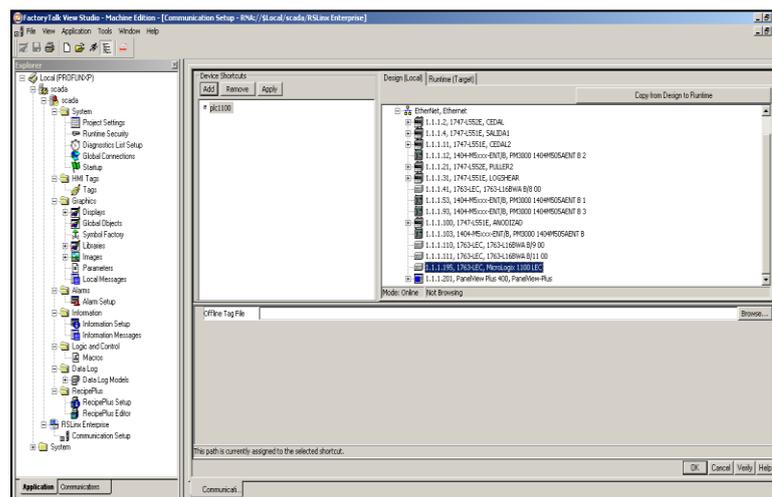


Figura 3. 51: Configuración del RSLinx Enterprise

Después de configurar el RSLinx Enterprise, se procede a configurar el Runtime. Para ello se sigue el siguiente procedimiento:

- Runtime (Target)
 - Ethernet
 - Add Device selection
 - Ethernet SLC Devices
 - 1763-LEC, Micrologix 1100 LEC
 - Asignar IP (1.1.1.195)
 - Aceptar

La figura 3.52 Visualiza el procedimiento para la configuración del Runtime

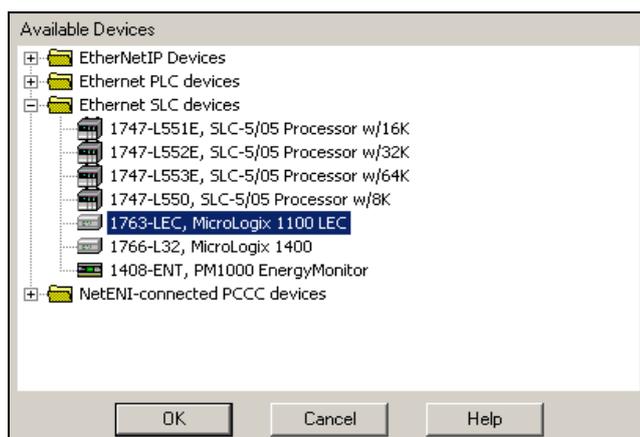


Figura 3. 52: Configuración del runtime

Como último paso, luego de haber configurado el Design (Local) y el Runtime (Target), se procede a seleccionar VERIFY y OK en la parte inferior de la pantalla de configuración.

c. Creación de pantallas del HMI

Para crear las pantallas como primer paso se realiza las configuraciones del proyecto, para realizar esto se debe acceder al ventana Project settings.

Se configura en primer lugar el formato de visualización de las pantallas en el panel view, para este caso se selecciona control box, Minimize button, y se deja en la posición (0,0) la ubicación de la pantalla. Es decir la aplicación se visualizara desde el origen de coordenadas esto para evitar que las pantallas se desplacen y no se pueda visualizar en su totalidad la aplicación.

La figura 3.53 visualiza la configuración.

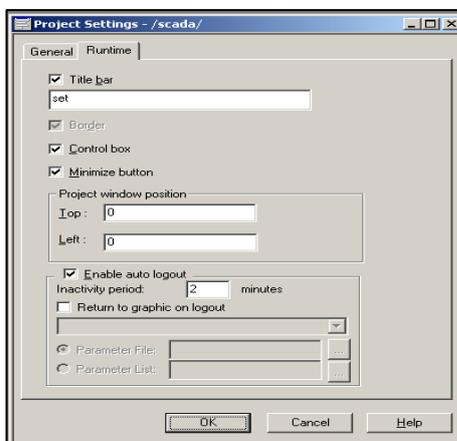


Figura 3. 53: Configuraciones del proyecto

Para la aplicación Machine Edition se utilizaron los siguientes elementos:

BOTONES

- Go to Display Button
- Login Button
- Logout Button
- Momentary Push Button

GRÁFICOS

- Gauge
- Bar Graph
- Trend Object

En la figura 3. 54 se visualiza el entorno de programación de FactoryTalk machine Edition

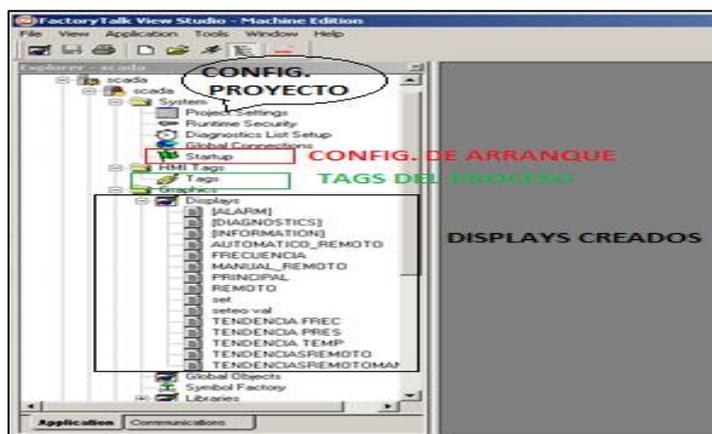


Figura 3. 54: Entorno de programación de FactoryTalk Machine Edition

Todos los objetos, displays, gráficos, etc., constan de 3 partes principales, las cuales son:

General: Aquí se elige apariencia del elemento, texto, colores, valores.

Common: En esta pestaña se escoge el tamaño del elemento y se puede observar el nombre de identificación del mismo.

Connections: Desde aquí se enlaza al elemento con un tag del PLC. La tag es una etiqueta que se le asigna desde el software de creación del HMI a la variable del PLC.

A continuación se describen las pantallas creadas en la aplicación Machine Edition, la cuál será de control en sitio.

- **Pantalla Principal o Portada del HMI**

La figura 3.55 se visualiza la portada del HMI, desde la cuál se accede al modo de trabajo y a condiciones iniciales. Cabe recalcar que para acceder a condiciones iniciales, el operador debe acceder a con un usuario y un password previamente configurado. El usuario es:

Login: admin

Password: XXXX

El password fue entregado a los supervisores de turno, quienes son los únicos que tienen acceso a condiciones iniciales.

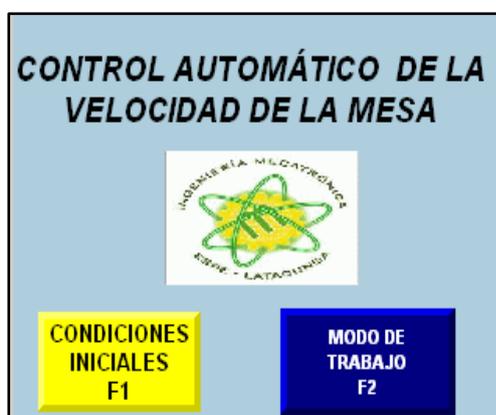


Figura 3. 55: Pantalla principal del HMI

- **Pantalla de habilitación del HMI**

La pantalla de habilitación es la más importante, ya que es quien habilita el modo en el que se va a trabajar, ya sea manual o automático. La figura visualiza la ventana de habilitación. El acceso está enlazado a través de la tag manual o automático, ya descritas en el diseño. En la figura 3.56 se visualiza la pantalla de habilitación



Figura 3. 56: Pantalla principal del HMI

- **Pantalla acceso a manual o automático del HMI**

La ventana manual o automático es la que visualiza el proceso ya sea en modo manual o automático.

En esta ventana se visualiza el control del proceso y están enlazadas las Tags temperatura, presión, frecuencia. La figura 3. 57 detalla la pantalla de trabajo en modo manual o automático.

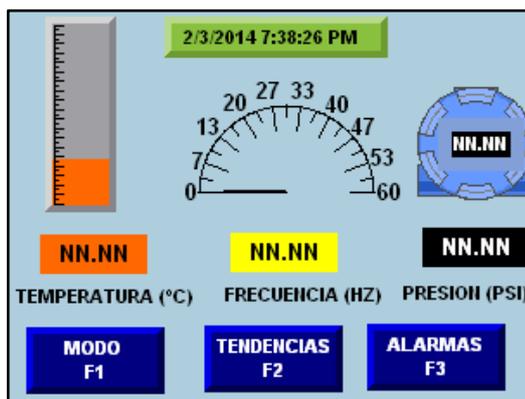


Figura 3. 57: Pantalla manual o automático del HMI

- **Pantalla Acceso a Tendencias del HMI**

El display de acceso a tendencias se enlaza desde control manual o automático, se obtiene las tendencias de las Tags: Temperatura, Frecuencia y presión. La figura 3.58 Indica el acceso a cada tendencia.

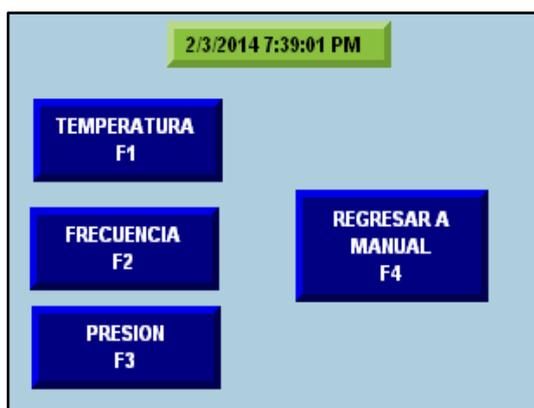


Figura 3. 58: Pantalla acceso a tendencias del HMI

- **Pantalla Tendencias del HMI**

En la figura 3. 59 se visualiza el display de tendencias, al cual se accede desde la ventana acceso a tendencias, pudiendo ver las variables analógicas en función del tiempo.

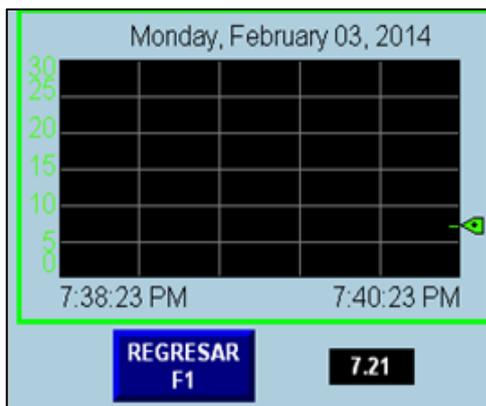


Figura 3. 59: Pantalla de tendencias del HMI

d. Programación de alarmas

Una de las configuraciones más importantes son las alarmas, por tal motivo se procede a configurar las alarmas de acuerdo al diseño establecido en el capítulo II. Para configurar las alarmas se realiza el siguiente procedimiento:

- Abrir alarm set up configuration
- Añadir arrancador (trigger)
- Seleccionar tag
- Programar valor de alarma
- Aceptar

En la figura 3. 60 Se detalla la programación de alarmas, en la cuál se configuran alarmas por alta y alarmas por baja.

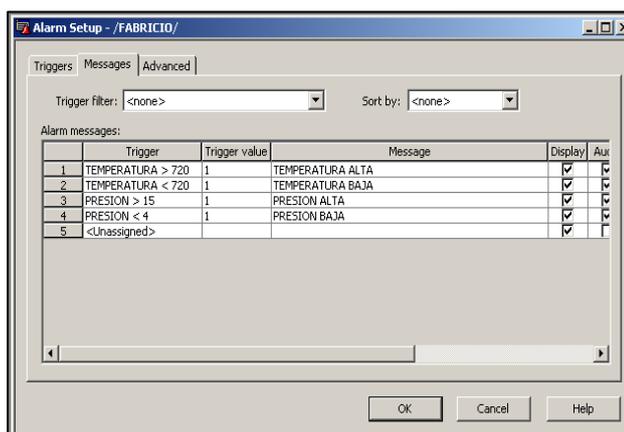


Figura 3. 60: Programación de alarmas

Configuración del Start Up

Para correr la aplicación se debe configurar un display de arranque. En la figura 3. 61 se visualiza la configuración de arranque.

En el start up se configura los parámetros que se desea que corran cuando inicia la aplicación. Para este caso en particular se configura:

- Alarmas
- Mensajes de información
- Ventana inicial (display inicial con que corre al aplicación)

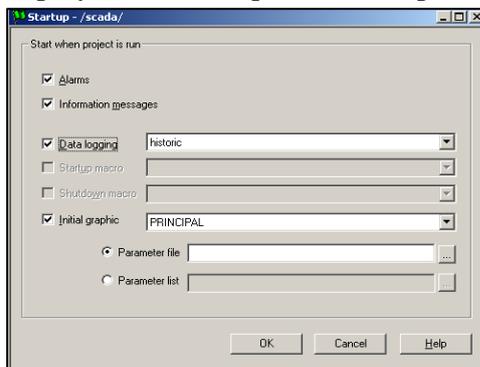


Figura 3. 61: Configuración del Start Up

e. Descarga de la aplicación al panel view plus 400

Luego de haber realizado la programación, se procede a descargar la aplicación al panel view, para ello se realiza el siguiente procedimiento:

- Crear RunTime y guardar en una dirección específica
- Acceder a Transfer Utility
- Buscar RunTime en la dirección guardada
- En la parte inferior seleccionar el panel view en el cual se va a descargar la aplicación.
- Seleccionar Download.

En la figura 3.62 se visualiza la configuración de la descarga de la aplicación hacia el panel view.

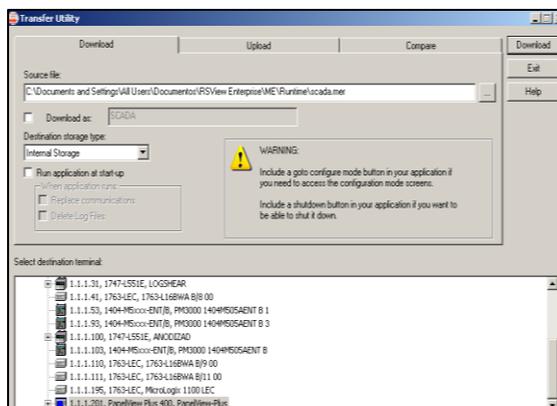


Figura 3. 62: Descarga de la aplicación al panel view plus 400.

Previo a las pruebas respectivas que se detallan en el capítulo IV, como último paso se corre la aplicación desde el panel view plus 400 para el control de velocidad de la mesa. En la figura 3.63 se visualiza la aplicación en ejecución.



Figura 3. 63: HMI en ejecución.

3.2.3. Programación del SCADA – PC Fundición

Para el SCADA se creó una aplicación Site Edition local, la cuál contiene la misma programación que el hmi en sitio. La aplicación que se ejecutará sobre la PC de fundición es de monitoreo con la diferencia que la aplicación de la PC generará históricos, convirtiéndose así en un SCADA. En la figura 3.64 se visualiza la aplicación a utilizarse.

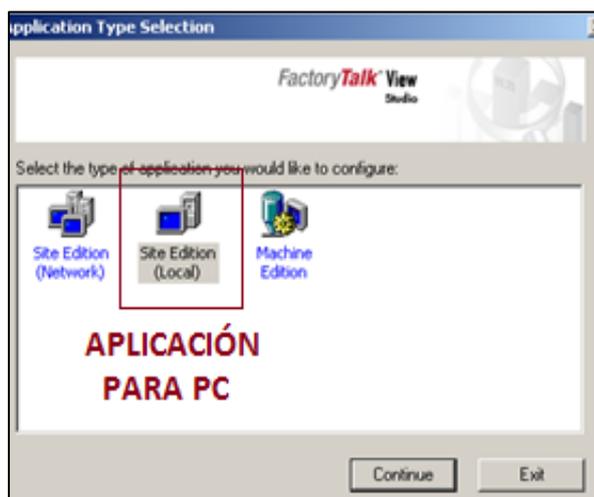


Figura 3. 64: Creación de un aplicación Site Edition Local

Como se mencionó anteriormente se puede migrar de una aplicación a otra a través de un gestor cliente, pero para este caso en particular no se utilizó ya que en esta aplicación se procedió a añadir nuevos componentes que no afectan el

desenvolvimiento del proceso; en base a esto se crea una nueva aplicación. El procedimiento a seguir es similar al anterior por lo que se mencionarán solo las nuevas configuraciones.

a. Programación de las pantallas

Para la aplicación sobre la PC se añaden nuevos componentes, ya que las dimensiones de la pantalla lo permiten. Se enlazan las mismas Tags que las que se utilizó el HMI.

Se crean las siguientes pantallas:

- Ventana principal
- Acceso a modo de trabajo
- Manual o automático
- Tendencias.

A continuación se detalla la programación y la adición de nuevos componentes a las pantallas del SCADA

• Pantalla principal del SCADA

La pantalla principal o portada define los datos informativos y acceso a modo de trabajo. La figura 3.65 visualiza la ventana de presentación.



Figura 3. 65: Pantalla de presentación del SCADA

• Pantalla de Acceso a modo de trabajo del SCADA

La ventana de habilitación espera la señal que da el operador en el panel view para poder habilitarse. La fig. 3.66 detalla el proceso.



Figura 3. 66: Pantalla de acceso a modo de trabajo del SCADA

- **Pantalla Manual o Automático del SCADA**

La ventana de trabajo manual o automático monitorea en tiempo real el proceso.

Cabe recalcar que en la pantalla de trabajo manual o automático se añadió la tag correspondiente a velocidad y luces indicativas del modo de trabajo. Cuando esté en modo manual se encenderá una luz roja y cuando esté en modo automático se encenderá una luz verde. Además se añadió a la programación mensajes indicativos y de diagnóstico sobre el proceso.

La fig. 3. 67 visualiza la pantalla de trabajo.

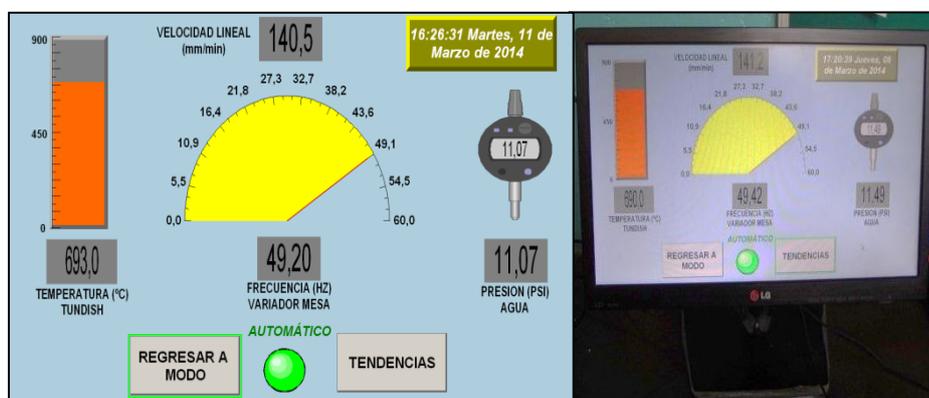


Figura 3. 67: Pantalla de trabajo manual o automático del SCADA

- **Pantalla de tendencias del SCADA**

Se programa una sola ventana de tendencias, en la cuál se monitorean las 3 Tags principales del proceso. Una ventaja adicional es que se puede configurar el Trend desde la misma ventana del proceso sin necesidad de cerrar la aplicación. La figura 3.68 visualiza las tendencias del SCADA.

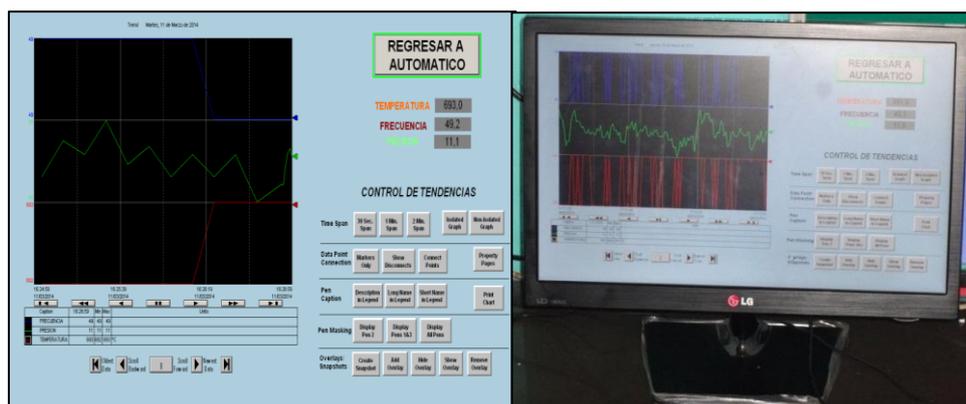


Figura 3. 68: Tendencias del SCADA

b. Generación de históricos del proceso.

Para generar históricos se utilizó la aplicación Data Log Models, propia de FactoryTalk Site Edition.

En la figura 3. 69 se detalla la aplicación.

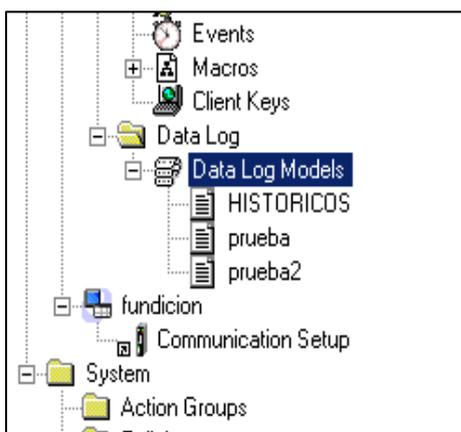


Figura 3. 69: Configuración del Data Log Models.

Se crearon históricos de las siguientes Tags:

- PRESIÓN
- FRECUENCIA
- TEMPERATURA
- VELOCIDAD
- STAR
- STOP
- MANUAL
- AUTOMÁTICO

El procedimiento para configurar los históricos es el siguiente:

- Abrir configuraciones de data Log
- En Setup, seleccionar la ubicación para guardar históricos asignar nombre. En esta aplicación se genera con el nombre HISTÓRICOS como lo visualiza la figura 3.70.

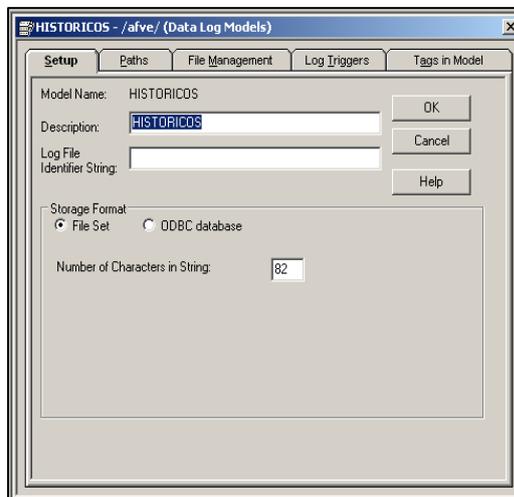


Figura 3. 70: Asignación de nombre a los históricos a generarse

- A continuación, en la pestaña Path seleccionar la ubicación para guardar históricos generados, en este caso se selecciona: MI PC/DISCO LOCAL F/ HISTÓRICOS_ FUNDICIÓN. En la figura 3.71 se detalla la configuración.

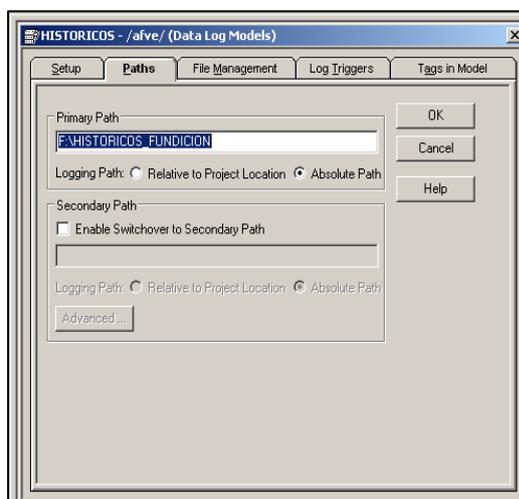


Figura 3. 71: Destino de generación de históricos.

- En la pestaña File Management, seleccionar la hora de generación de nuevo archivo de histórico del proceso. En este caso en particular se seleccionó a las 00:00 de cada día.

La figura 3.72 detalla la configuración.



Figura 3. 72: Configuración de la generación diaria de históricos.

- En la pestaña Log Triggers, seleccionar tiempo de escaneo (10 seg).
- En la ventana Tags in Model, se procede a seleccionar las Tags a asignarse como históricos. En la figura 3.73 se parecía la asignación de las Tags como históricos.

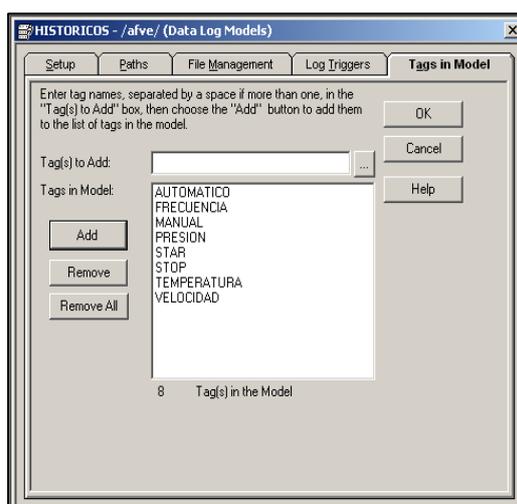


Figura 3. 73: Asignación de tags para generación históricos.

Como se mencionó anteriormente se asignaron 8 históricos. Tomando como relación el tiempo de escaneo de 10 segundos, en total a las 00:00 de cada día se generarán un total de **69120 históricos**.

- Finalmente se procede a presionar Ok para guardar.

c. Macro de arranque de históricos

Para arrancar el proceso de generación de históricos es imprescindible configurar una macro de arranque.

En la figura 3.74 se observa la creación de una nueva macro.

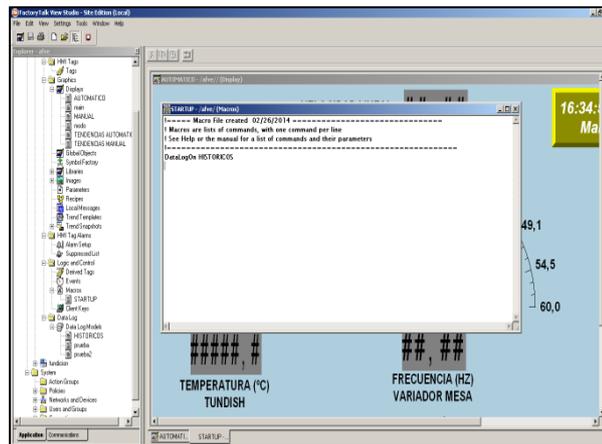


Figura 3. 74: Macro de arranque de históricos

Para crear la macro se realiza el siguiente procedimiento:

- Clic derecho sobre macro, seleccionar new
- Se programa el arranque de la generación de históricos, es decir :”DataLogOn HISTORICOS”
- Guardar.

Se guardó la macro con el nombre “SATARTUP”

d. Configuración de cliente

Se debe configurar el cliente de arranque. Para esto se realiza el siguiente procedimiento:

- Ejecutar el Launch FactoryTalk View SE Client (Ícono rojo).
- Seleccionar New.

En la figura 3. 75 se indica la creación de un nuevo RunTime.

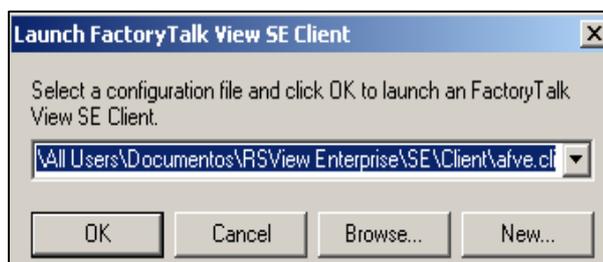


Figura 3. 75: Creación de un nuevo cliente

- Se procede a seleccionar el tipo de aplicación. Para este caso se selecciona local y siguiente. La figura 3.76 indica la configuración.

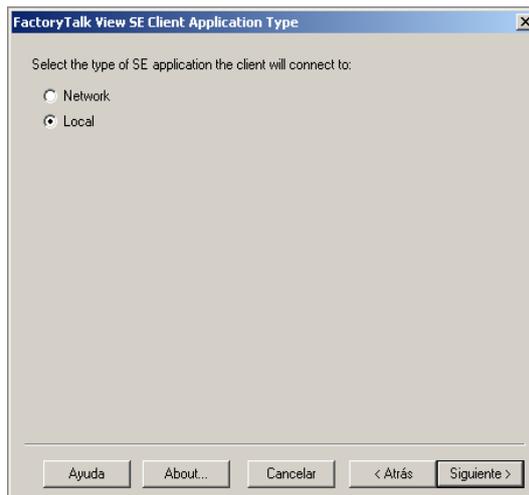


Figura 3. 76: Configuración del tipo de aplicación

- A continuación se selecciona la aplicación a ejecutarse. Se procede a guardar la aplicación con el nombre afve, por tal motivo se selecciona esa aplicación y el idioma en español. Se selecciona siguiente para continuar con la configuración.

La figura 3.77 Visualiza el procedimiento.



Figura 3. 77: Selección de la aplicación para ejecutar como cliente

- Acto seguido se configura el display inicial con el que arranca la aplicación y lo fundamental para los históricos la macro de arranque (STARTUP) y se habilita para que se ejecuten los históricos junto con la aplicación. Seleccionar siguiente para continuar con la aplicación. En la figura 3.78 se indica la configuración realizada.

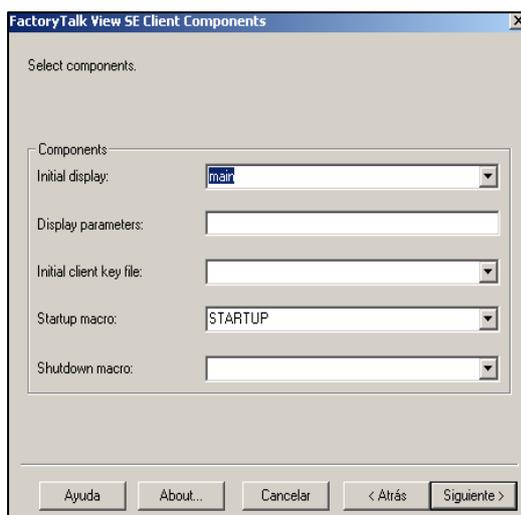


Figura 3. 78: Selección de macros de arranque

- Luego se procede con la configuración de la visualización de las pantallas programadas. En la figura 3.79 Se detalla la configuración. Cabe recalcar que se seleccionó Maximize Windows para visualizar la aplicación en toda la pantalla de la PC. Seleccionar siguiente.

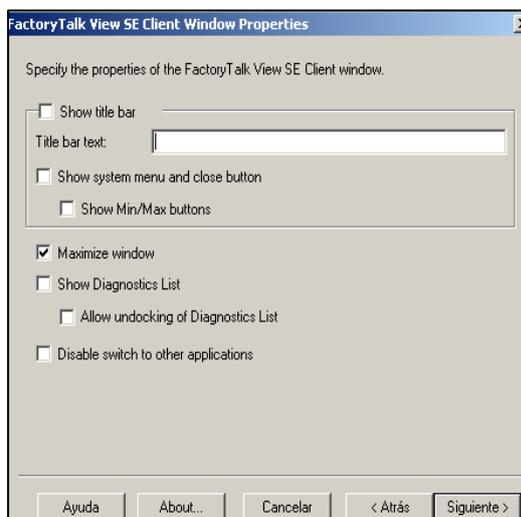


Figura 3. 79: Configuración de las dimensiones de la aplicación.

- Como siguiente paso se deshabilita la opción “Enable auto logout”, esto con el fin de que la aplicación nunca se cierre por si sola. Seleccionar siguiente La figura 3. 80 indica la configuración de las dimensiones de la aplicación que correrá sobre la PC de fundición.

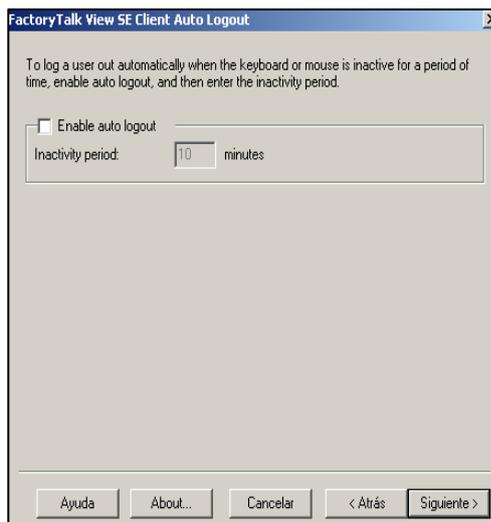


Figura 3. 80: Inhabilitación de auto logout

- Finalmente seleccionar “Save Configuration and open FactoryTalk View SE Client now” y finalizar para correr la aplicación y a la vez generar históricos. La figura 3.81 visualiza la configuración final.

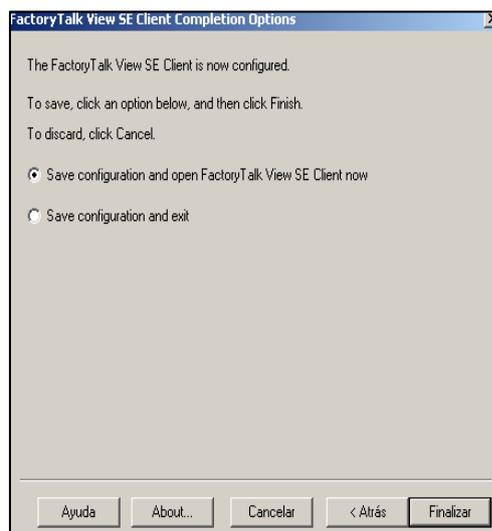


Figura 3. 81: Configuración final del cliente

e. Procesamiento de históricos

Por cada histórico se crean 3 tipos de archivos los cuales son:

- .float
- .tag
- .string

Los 3 archivos generados son tipo “DATA”. El archivo con extensión .float es el que almacena todos los datos generados y es el archivo que se debe recuperar para el

procesamiento de los históricos. Mientras que el archivo con extensión .tag detalla las Tags generadas como históricos (nombre de la variable).

En la figura 3.82 Se puede visualizar los archivos generados, los mismos que se guardan periódicamente en la dirección configurada.

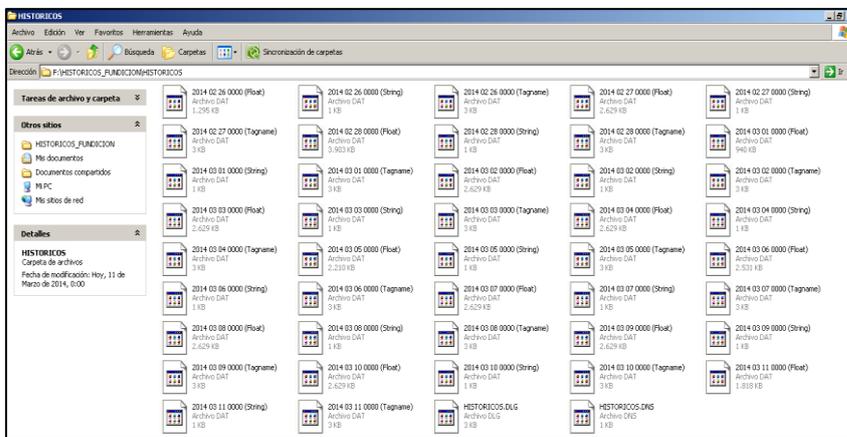


Figura 3. 82: Históricos generados

Para procesar la información se utiliza la aplicación RsView Enterprise File Viewer. El procedimiento para recuperar la información es:

- Ejecutar RsView Enterprise File Viewer
- Seleccionar File y open
- Buscar la dirección donde se guardan los históricos (MI PC/DISCO LOCAL F/ HISTÓRICOS_ FUNDICIÓN)
- Seleccionar el archivo .float
- Aceptar

En La figura 3.83 se visualiza la recuperación de los históricos generados.

Date	Time	Millis	Tagname	Value	Status	Marker	Internal
05/02/2014	00:00:00	46	FRECUENCIA	... 47.67157745	0	-1	
05/02/2014	00:00:00	46	PRESION	... 14.6300098	0	-1	
05/02/2014	00:00:00	46	STOP	... 1.0000000	0	-1	
05/02/2014	00:00:00	46	TEMPERATURA	... 691.0000000	0	-1	
05/02/2014	00:00:00	46	VELOCIDAD	... 136.2049929	0	-1	
05/02/2014	00:00:00	46	AUTOMATICO	... 1.0000000	0	-1	
05/02/2014	00:00:00	46	MANAJA	... 1.0000000	0	-1	
05/02/2014	00:00:07	953	FRECUENCIA	... 47.67157745	0	0	
05/02/2014	00:00:07	953	PRESION	... 14.6300098	0	1	
05/02/2014	00:00:07	953	STOP	... 0.0000000	0	2	
05/02/2014	00:00:07	953	TEMPERATURA	... 1.0000000	0	3	
05/02/2014	00:00:07	953	VELOCIDAD	... 136.2049929	0	4	
05/02/2014	00:00:07	953	AUTOMATICO	... 0.0000000	0	5	
05/02/2014	00:00:07	953	MANAJA	... 1.0000000	0	6	
05/02/2014	00:00:07	953	FRECUENCIA	... 47.67157745	0	7	
05/02/2014	00:00:17	960	PRESION	... 14.66146851	0	8	
05/02/2014	00:00:17	960	STOP	... 0.0000000	0	9	
05/02/2014	00:00:17	960	TEMPERATURA	... 1.0000000	0	10	
05/02/2014	00:00:17	960	VELOCIDAD	... 136.2049929	0	11	
05/02/2014	00:00:17	960	AUTOMATICO	... 0.0000000	0	12	
05/02/2014	00:00:17	960	MANAJA	... 1.0000000	0	13	
05/02/2014	00:00:27	964	FRECUENCIA	... 47.67157745	0	14	
05/02/2014	00:00:27	964	PRESION	... 14.69665214	0	15	
05/02/2014	00:00:27	964	STOP	... 1.0000000	0	16	
05/02/2014	00:00:27	964	TEMPERATURA	... 691.0000000	0	17	
05/02/2014	00:00:27	964	VELOCIDAD	... 136.2049929	0	18	
05/02/2014	00:00:27	964	AUTOMATICO	... 0.0000000	0	19	
05/02/2014	00:00:27	964	MANAJA	... 1.0000000	0	20	
05/02/2014	00:00:27	964	FRECUENCIA	... 47.67157745	0	21	
05/02/2014	00:00:27	964	PRESION	... 14.2049148	0	22	
05/02/2014	00:00:38	0	FRECUENCIA	... 47.67157745	0	23	
05/02/2014	00:00:38	0	PRESION	... 14.2049148	0	24	
05/02/2014	00:00:38	0	STOP	... 0.0000000	0	25	
05/02/2014	00:00:38	0	TEMPERATURA	... 1.0000000	0	26	
05/02/2014	00:00:38	0	VELOCIDAD	... 136.2049929	0	27	
05/02/2014	00:00:38	0	AUTOMATICO	... 1.0000000	0	28	
05/02/2014	00:00:38	0	MANAJA	... 1.0000000	0	29	
05/02/2014	00:00:48	31	FRECUENCIA	... 47.67157745	0	30	
05/02/2014	00:00:48	31	PRESION	... 14.60220698	0	31	
05/02/2014	00:00:48	31	STOP	... 1.0000000	0	32	
05/02/2014	00:00:48	31	TEMPERATURA	... 691.0000000	0	33	
05/02/2014	00:00:48	31	VELOCIDAD	... 136.2049929	0	34	
05/02/2014	00:00:48	31	AUTOMATICO	... 1.0000000	0	35	
05/02/2014	00:00:48	31	MANAJA	... 1.0000000	0	36	
05/02/2014	00:00:48	31	FRECUENCIA	... 47.67157745	0	37	

Figura 3. 83: Históricos Recuperados

En la figura 3.83 se puede visualizar los históricos generados, una ventaja del software es que permite importar a un archivo de Excel (.csv), desde este archivo generado los supervisores de fundición pueden filtrar la información de acuerdo a sus requerimientos.

La figura 3. 84 detalla un archivo procesado en Excel en el cual se puede visualizar los históricos del proceso.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
FECHA	HORA	HORAS	TURNO	supervisor	Tiempo de E	Historico	Valor	Valor Real						
02/26/2014	10:35:37	10	Segundo Turno	William Real	187	FRECUENCIA	4,934,725,952	49.35						
02/26/2014	10:35:37	10	Segundo Turno	William Real	187	PRESION	1,123,943,138	11.24						
02/26/2014	10:35:37	10	Segundo Turno	William Real	187	STAR	0.00000000	-						
02/26/2014	10:35:37	10	Segundo Turno	William Real	187	STOP	100,000,000	1.00						
02/26/2014	10:35:37	10	Segundo Turno	William Real	187	TEMPERATURA	69,100,000,000	691.00						
02/26/2014	10:35:37	10	Segundo Turno	William Real	187	VELOCIDAD	14,099,217,224	140.99						
02/26/2014	10:35:47	10	Segundo Turno	William Real	156	FRECUENCIA	4,934,725,952	49.35						
02/26/2014	10:35:47	10	Segundo Turno	William Real	156	PRESION	1,125,998,402	11.26						
02/26/2014	10:35:47	10	Segundo Turno	William Real	156	STAR	0.00000000	-						
02/26/2014	10:35:47	10	Segundo Turno	William Real	156	STOP	100,000,000	1.00						
02/26/2014	10:35:47	10	Segundo Turno	William Real	156	TEMPERATURA	69,100,000,000	691.00						
02/26/2014	10:35:47	10	Segundo Turno	William Real	156	VELOCIDAD	14,099,217,224	140.99						
02/26/2014	10:35:57	10	Segundo Turno	William Real	187	FRECUENCIA	4,934,725,952	49.35						
02/26/2014	10:35:57	10	Segundo Turno	William Real	187	PRESION	1,123,502,731	11.24						
02/26/2014	10:35:57	10	Segundo Turno	William Real	187	STAR	0.00000000	-						
02/26/2014	10:35:57	10	Segundo Turno	William Real	187	STOP	100,000,000	1.00						
02/26/2014	10:35:57	10	Segundo Turno	William Real	187	TEMPERATURA	69,100,000,000	691.00						
02/26/2014	10:35:57	10	Segundo Turno	William Real	187	VELOCIDAD	14,099,217,224	140.99						
02/26/2014	10:36:07	10	Segundo Turno	William Real	203	FRECUENCIA	4,934,725,952	49.35						
02/26/2014	10:36:07	10	Segundo Turno	William Real	203	PRESION	1,127,906,855	11.28						
02/26/2014	10:36:07	10	Segundo Turno	William Real	203	STAR	0.00000000	-						
02/26/2014	10:36:07	10	Segundo Turno	William Real	203	STOP	100,000,000	1.00						
02/26/2014	10:36:07	10	Segundo Turno	William Real	203	TEMPERATURA	69,100,000,000	691.00						
02/26/2014	10:36:07	10	Segundo Turno	William Real	203	VELOCIDAD	14,099,217,224	140.99						

Figura 3. 84: Historicos Procesados

CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1. PRUEBAS DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS

4.1.1. Pruebas de instalaciones eléctricas de potencia

Antes de energizar el tablero como primer paso se procedió a medir continuidad en el tablero. Luego de cerciorarse que las conexiones son correctas se procede a accionar el Breaker principal que abastece de 440Vac al tablero.

- En el tablero de alto voltaje, se mide en el Breaker principal la alimentación suministrada por la UPS. La figura 4.1 visualiza el proceso.



Figura 4. 1: Medición de la alimentación en el breaker de la UPS

Como se puede visualizar en la imagen el voltaje suministrado es de 400.7 Vac. Esto se debe a que en la planta de fundición todos los equipos son de origen europeo, y por esta razón trabajan bajo los estándares eléctricos europeos.

- Después de medir en el breaker principal, se procede a medir a la entrada y salida del transformador. En la figura 4.2 se puede visualizar el proceso.

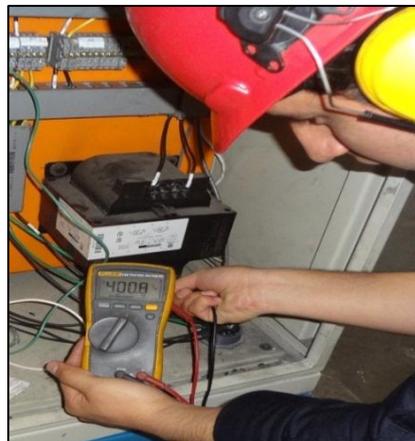


Figura 4. 2: Medición de la alimentación en la entra del transformador

Como se muestra en la figura 4.2 el voltaje suministrado al tablero principal es el mismo que el del tablero de alto voltaje ≈ 400.8 Vac.

- A continuación se procede a revisar la salida del transformador, la relación de transformación es de 3 a 1. La figura 4.3 detalla la medición.



Figura 4. 3: Medición de la alimentación en la salida del transformador

Se obtiene un voltaje de línea ≈ 102.1 Vac. El voltaje está dentro de los límites permisibles para que trabajen los equipos.

- A continuación se mide el voltaje en el breaker principal del tablero de control. LA figura 4.4 indica la medición.



Figura 4. 4: Medición del voltaje de línea en el breaker principal del tablero de control

Luego de verificar que llega el mismo voltaje de línea al breaker principal del tablero de control, se procede a energizar todo el tablero.

- Finalmente se revisa que el voltaje de línea abastezca a los equipos que trabajan con Vac. Los cuáles son:

- PLC
- Fuente de 24 Vdc. 5A.
- Switch Ethernet
- Tomacorriente de 110 Vac.

En la figura 4.5 se indican los equipos que trabajan con 110Vac.



Figura 4. 5: Equipos con alimentación a 120 Vac

4.1.2. Pruebas de las instalaciones eléctricas de control

Luego de haber energizado el tablero de control se procede a revisar las conexiones de control, para esto se realiza lo siguiente:

- Como primer paso se revisa el voltaje de la fuente de 24 Vdc. La figura 4.6 indica el procedimiento.



Figura 4. 6: Comprobación del voltaje en la fuente de 24 Vdc

En la figura anterior se puede visualizar el voltaje de la fuente el cuál es ≈ 23.91 Vdc. Que está en los rangos óptimos de trabajo.

Cabe recalcar que la fuente tiene un potenciómetro de regulación con el cuál se puede regular el voltaje deseado dentro de los rangos de trabajo con un 100% de precisión.

- Como siguiente paso se procede a medir voltajes en los módulos de expansión del plc para revisar las señales análogas.

En primer lugar se revisa la señal del potenciómetro. El potenciómetro eta conectado a una entra análoga de 0 a 10Vdc. Se mide el voltaje en la entrada análoga dispuesta en el plc.

La figura 4.7 detalla el procedimiento.



Figura 4. 7: Medición del voltaje en la entrada análoga del PLC

La figura 4.7 visualiza el voltaje medido en la entrada análoga del plc la cual tiene una resolución de 0 a 1023.

- Como siguiente paso se procede a medir la señal análoga de salida. La figura 4.8 indica el proceso.



Figura 4. 8: Medición del voltaje en la salida análoga

- Simultáneamente se mide el voltaje que llega al variador. La figura 4.9 visualiza la medición.



Figura 4. 9: Medición del voltaje en la entrada del variador

Como se puede visualizar en la figura 4.9 el voltaje de entrada al variador es ≈ 8.31 Vdc. Corroborando que llega el mismo voltaje que el de la salida análoga y sin existir caídas de tensión a pesar de la distancia entre el tablero de control de la mesa y el tablero dónde se instaló el variador.

- Después de medir las señales correspondientes a la velocidad de la mesa, se procede con la lectura de la termocupla del Tundish cuyas unidades de control están en mV. La figura 4.10 detalla la medición de temperatura en relación con el voltaje.



Figura 4. 10: Medición del voltaje que llega de la termocupla.

- Finalmente se procede con la medición de la entrada análoga de presión, la cuál tiene un rango de 4 a 20mA.

La figura 4.11 detalla la lectura de presión en relación a la corriente.



Figura 4. 11: Medición de la señal de corriente del transmisor de presión

4.2. PRUEBAS DE COMUNICACIÓN

Luego de verificar las conexiones eléctricas se procede a verificar la comunicación de los equipos en red de acuerdo al diseño de la tabla 2.28 la cuál detalla las direcciones IP de los equipos.

Con un comando ping a través de CMD se procede a determinar la conexión entre equipos.

- En primer lugar se verifica la comunicación con la tarjeta de red LAN (PC Fundición cuya dirección IP es 192.168.2.108). La figura 4.12 visualiza la comunicación.

```

C:\WINDOWS\system32\CMD.exe
Microsoft Windows XP [Versión 5.1.2600]
(C) Copyright 1985-2001 Microsoft Corp.

C:\Documents and Settings\PROFUNXP64>PING 192.168.2.108
Haciendo ping a 192.168.2.108 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.2.108: bytes=32 tiempo<in TTL=128

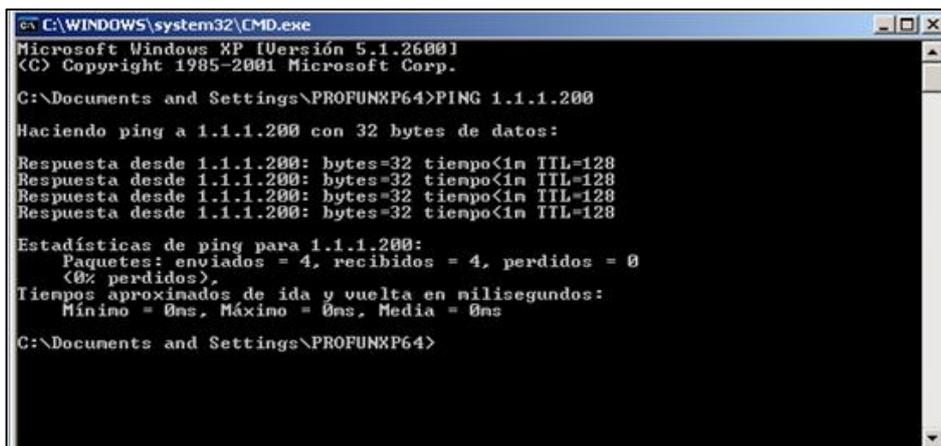
Estadísticas de ping para 192.168.2.108:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 0ms, Máximo = 0ms, Media = 0ms

C:\Documents and Settings\PROFUNXP64>

```

Figura 4. 12: prueba de comunicación con la tarjeta de red LAN

- A continuación se procede con la verificación de la comunicación con la tarjeta de red PLC (PC Fundición) cuya dirección IP es 1.1.1.200. La figura 4.13 visualiza la comunicación, donde claramente se puede apreciar que todo el paquete de datos enviados es recibido sin perderse la información y peor aún la comunicación.



```
C:\WINDOWS\system32\CMD.exe
Microsoft Windows XP [Versión 5.1.2600]
(C) Copyright 1985-2001 Microsoft Corp.

C:\Documents and Settings\PROFUNXP64>PING 1.1.1.200

Haciendo ping a 1.1.1.200 con 32 bytes de datos:

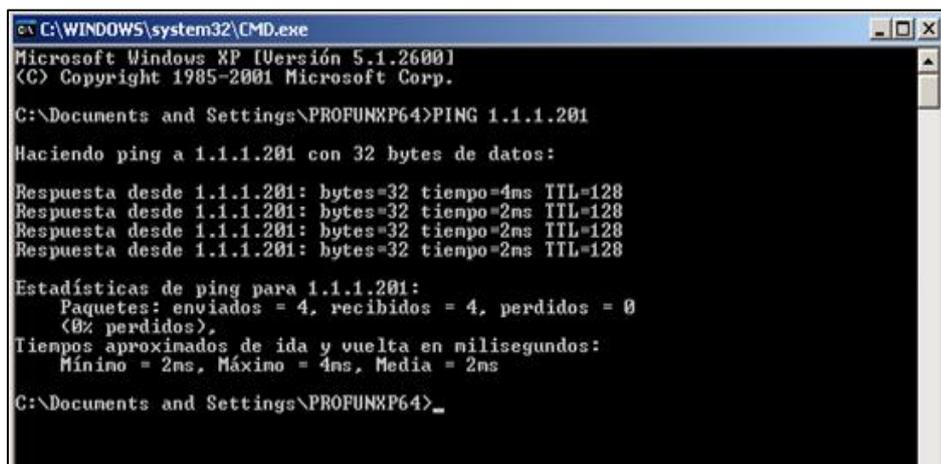
Respuesta desde 1.1.1.200: bytes=32 tiempo<1m TTL=128

Estadísticas de ping para 1.1.1.200:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 0ms, Máximo = 0ms, Media = 0ms

C:\Documents and Settings\PROFUNXP64>
```

Figura 4. 13: Prueba de comunicación con la tarjeta de red PLC

- Acto seguido se procede a verificar la comunicación con el panel view plus 400 con dirección IP 1.1.1.201. La figura 4.14 detalla la comunicación.



```
C:\WINDOWS\system32\CMD.exe
Microsoft Windows XP [Versión 5.1.2600]
(C) Copyright 1985-2001 Microsoft Corp.

C:\Documents and Settings\PROFUNXP64>PING 1.1.1.201

Haciendo ping a 1.1.1.201 con 32 bytes de datos:

Respuesta desde 1.1.1.201: bytes=32 tiempo=4ms TTL=128
Respuesta desde 1.1.1.201: bytes=32 tiempo=2ms TTL=128
Respuesta desde 1.1.1.201: bytes=32 tiempo=2ms TTL=128
Respuesta desde 1.1.1.201: bytes=32 tiempo=2ms TTL=128

Estadísticas de ping para 1.1.1.201:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 2ms, Máximo = 4ms, Media = 2ms

C:\Documents and Settings\PROFUNXP64>_
```

Figura 4. 14: Prueba de comunicación con la tarjeta de red PLC

- Finalmente se procede a probar la comunicación con el PLC con IP 1.1.1.195. En la figura 4.15 se visualiza la prueba de comunicación, donde se comprueba de la misma manera que no se pierde ningún dato enviado desde el PLC.

```

C:\WINDOWS\system32\CMD.exe
Microsoft Windows XP [Versión 5.1.2600]
(C) Copyright 1985-2001 Microsoft Corp.

C:\Documents and Settings\PROFUNXP64>PING 1.1.1.195

Haciendo ping a 1.1.1.195 con 32 bytes de datos:

Respuesta desde 1.1.1.195: bytes=32 tiempo=1ms TTL=128

Estadísticas de ping para 1.1.1.195:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (<0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 1ms, Máximo = 1ms, Media = 1ms

C:\Documents and Settings\PROFUNXP64>

```

Figura 4. 15: Prueba de comunicación con el PLC.

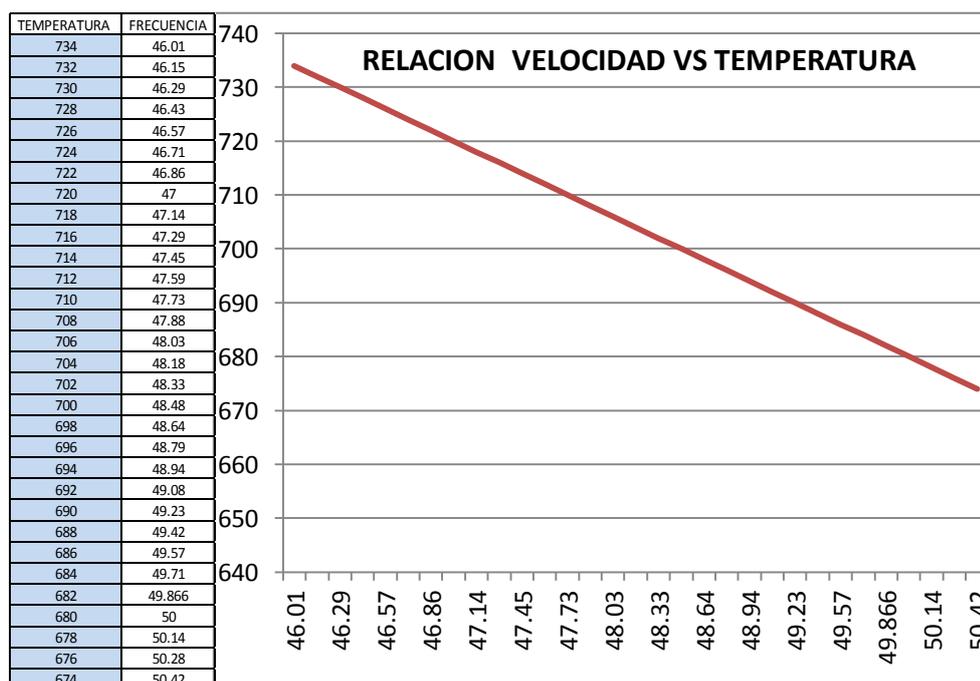
4.3. RESULTADOS DEL CONTROL

4.3.1. Linealidad del control

En base a los históricos generados se procede a segmentar los datos obtenidos para posteriormente graficarlos.

- En primera instancia, para analizar el control automático se toma el promedio del grupo de datos obtenidos en las pruebas, llegando a obtener los datos mostrados en la tabla 4.1.

Tabla 4. 1: Resultado promedio de velocidad (frecuencia) vs temperatura



En base a los resultados obtenidos en la tabla anterior, entre los límites de control se tiene una precisión de 0.07 HZ/°C.

Es decir por cada grado centígrado que varíe la temperatura se tiene una variación de 0.07 HZ, que representa un control preciso del sistema.

4.3.2. Históricos generados

Luego de analizar la precisión de la linealidad, de un grupo segmentado se procede a analizar en conjunto los 69120 históricos generados en un día.

Para esto se toma los datos ya procesados en Excel que se genera diariamente en Fundición; donde se filtró por histórico, hora, turno y valor. A continuación el análisis:

Se toma al azar una día, para este caso en particular se analiza el archivo con fecha 26/02/2014. El análisis se realizara por turno de trabajo y se analizará dos históricos (temperatura y frecuencia) de toda la base generada.

- **PRIMER TURNO (23:00-07:00)**
 - **TEMPERATURA**

En la figura 4,16 se visualiza los históricos de temperatura correspondientes al primer turno. En ellos se puede visualizar que la temperatura en el tundish se mantiene en los rangos de control, por lo tanto la frecuencia se mantendrá en la misma tendencia

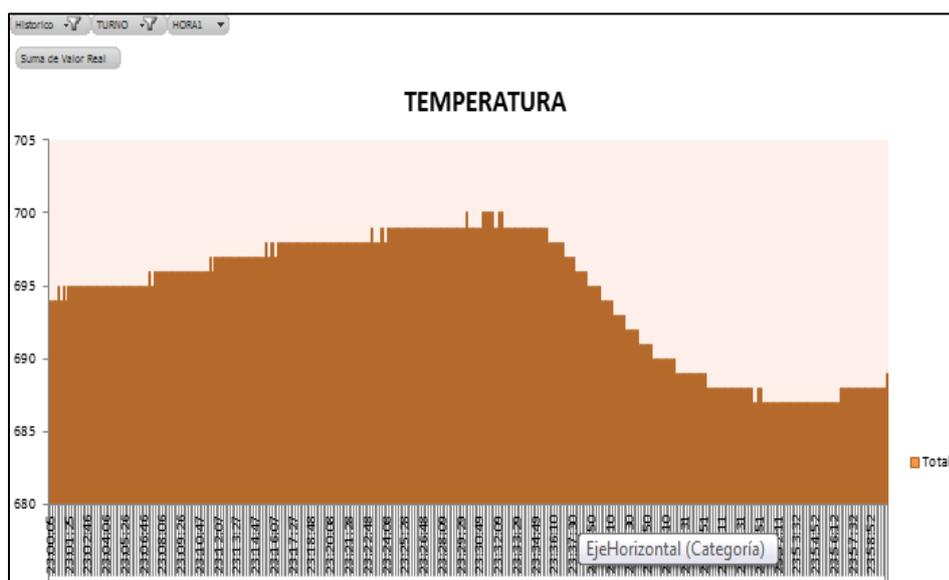


Figura 4. 16: Históricos de temperatura, primer

○ **FRECUENCIA**

A continuación se procede a analizar la frecuencia. La figura 4.17 detalla el gráfico de los históricos totales de frecuencia. En los datos obtenidos de los históricos se puede observar que el control actúa inversamente proporcional a la temperatura elevando la frecuencia cuando la temperatura baja de acuerdo a la lógica de control.

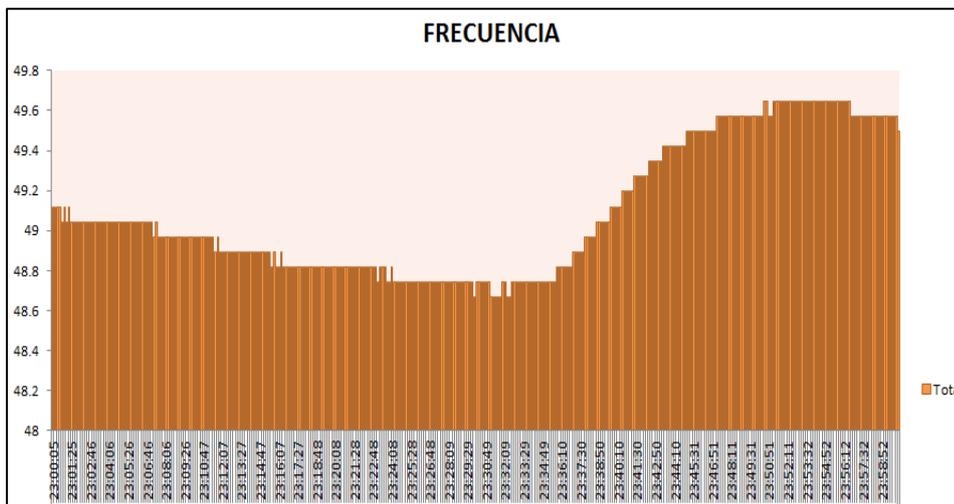


Figura 4. 17: Históricos de frecuencia, primer turno.

● **SEGUNDO TURNO (07:00-15:00)**

○ **TEMPERATURA**

De igual manera se procede a filtrar el historial de temperatura del segundo turno. En la figura 4.18 se visualiza la temperatura.

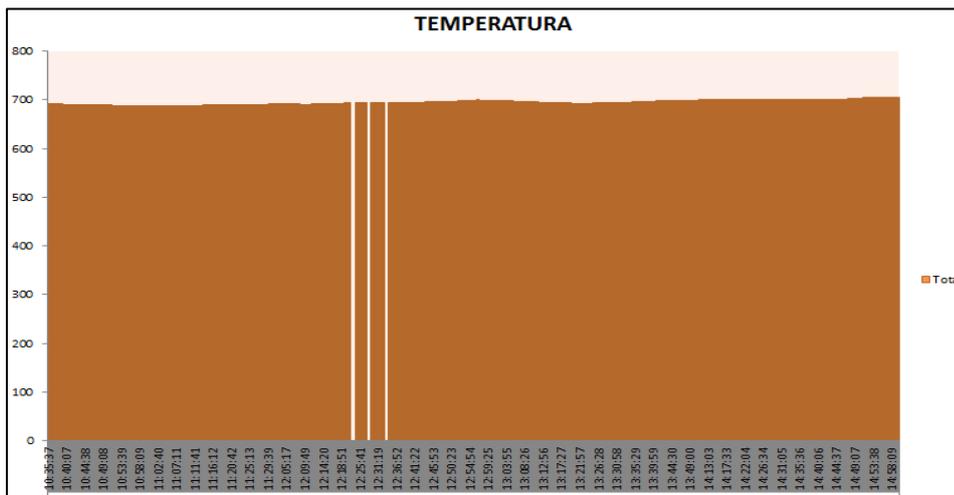


Figura 4. 18: Históricos de temperatura, segundo turno.

En el gráfico anterior se visualiza toda la escala de temperatura desde (0 a 800) °C y de igual manera se mantiene la temperatura dentro de los rangos de control.

○ **FRECUENCIA**

En la figura 4.19 se detalla el historial de la frecuencia controlándose automáticamente en función de la temperatura. El control reacciona de acuerdo a la variación de la temperatura.

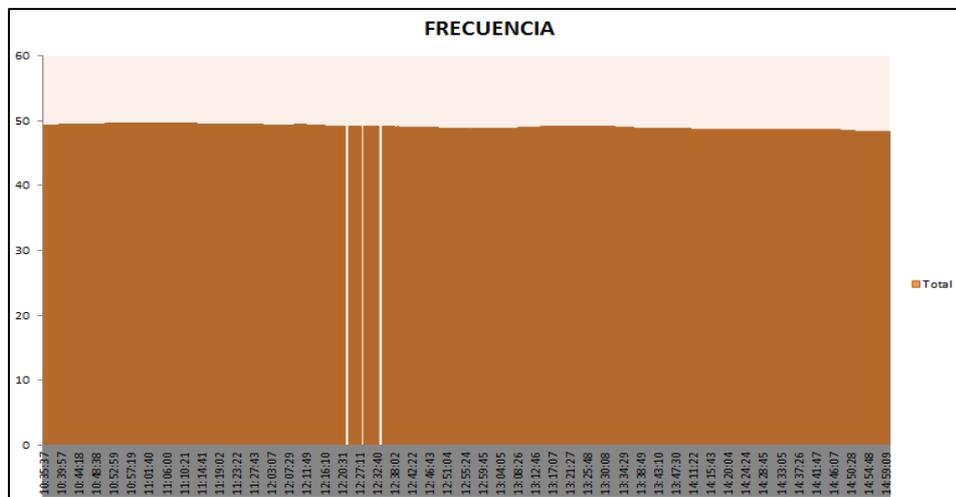


Figura 4. 19: Históricos de frecuencia, segundo turno.

● **TERCER TURNO (15:00-23:00)**

○ **TEMPERATURA**

En la figura 4.20 se visualiza el historial de la temperatura en el Tundish.

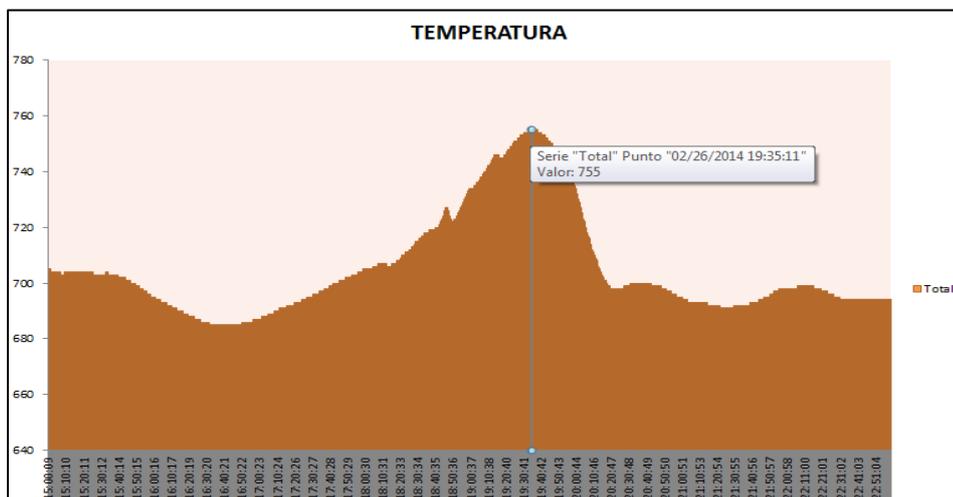


Figura 4. 20: Históricos de temperatura, tercer turno.

Finalmente se procede a analizar los datos generados por el tercer turno. Los operadores no controlan la temperatura en el Tundish elevándose hasta un máximo de 755°C. Esta temperatura es crítica ya que corre riesgo de derramamiento por temperatura elevada en la colada

- **FRECUENCIA**

- La figura 4.21, detalla la frecuencia en el tercer turno.

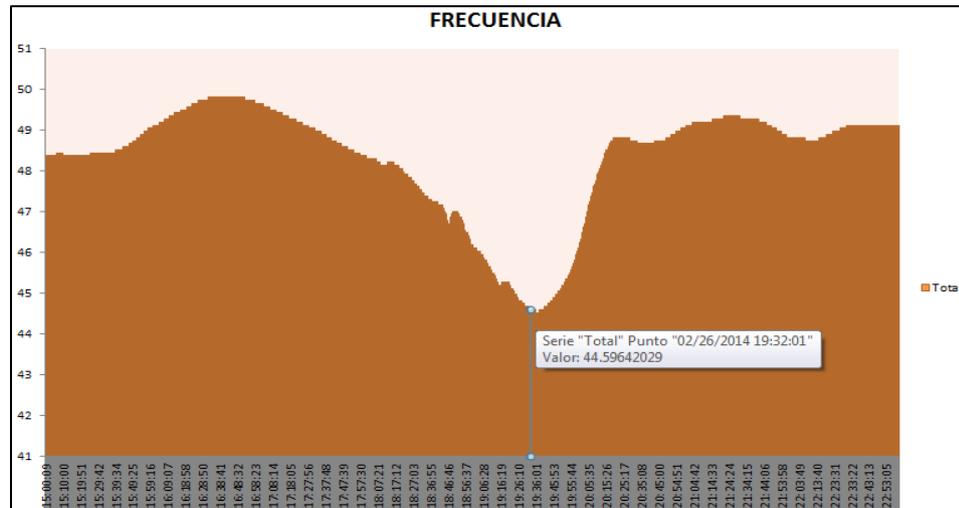


Figura 4. 21: Históricos de frecuencia, tercer turno.

Como se puede visualizar en la figura anterior el control automático responde correctamente, así la temperatura haya salido de los límites de control; como se puede ver a una temperatura de 755°C la frecuencia se reguló en 44.59 Hz manteniéndose así relación inversa entre temperatura y frecuencia, validando el control automático.

4.4. ANÁLISIS ENERGÉTICO DEL SISTEMA AUTOMATIZADO

Luego de la automatización, se procedió a realizar el análisis energético del sistema automatizado. Se tomaron los mismos datos de materiales utilizados en el módulo 1; con la salvedad que en este análisis ya se incluyó los datos obtenidos con el sistema automatizado.

A continuación se describe el procedimiento realizado para el análisis energético de la mesa de conformación de lingotes de aluminio. En el anexo J se detalla el informe completo del sistema automatizado.

- Se ingresan los datos de la región a ser analizada, incluyendo la relación variable de velocidad.

La figura 4.22 visualiza los datos de temperatura ingresados en unidades (°K), desde un valor mínimo de 373°K hasta un máximo de 993°K que son los rangos admisibles para el control.

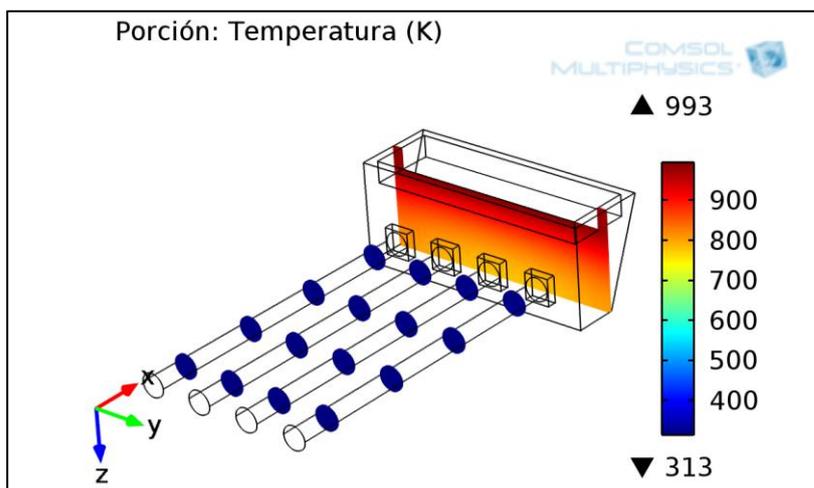


Figura 4. 22: Región de temperatura del sistema automatizado.

El análisis arrojó los siguientes resultados:

- Claramente se puede visualizar en la fig. 4.23 las isosuperficies generadas. Los resultados visualizan la transferencia de calor controlada desde el Tundish hacia los moldes y lingotes. Existe transferencia uniforme y se verifica la linealidad entre velocidad y temperatura con la relación de inversibilidad en el control.

Cabe recalcar que la ubicación de los moldes al arranque de producción es de vital importancia, ya que si se coloca erróneamente (mal armados), los lingotes saldrán desfasados y principalmente los grafitos se romperán, involucrando daño en la superficie del lingote y por ende paro en la producción para un nuevo arranque.

El armado de moldes es de exclusiva responsabilidad de los operadores de fundición.

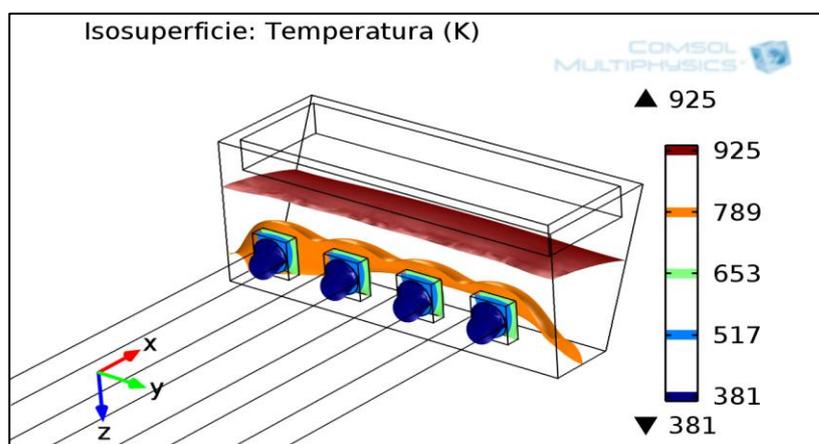


Figura 4. 23: Iso-superficies del sistema automatizado.

- Como siguiente paso se procede con el análisis de la relación volumen temperatura máx vs min es controlada, y como se puede visualizar en la figura 4.24 la transferencia es uniforme la temperatura en el Tundish es $993,3^\circ\text{K} \approx 720^\circ\text{C}$ y en el lingote $313,15^\circ\text{K} \approx 40^\circ\text{C}$ que es la temperatura final que sale el lingote ya solidificado.

La figura 4.24 detalla la relación volumen máx Vs min.

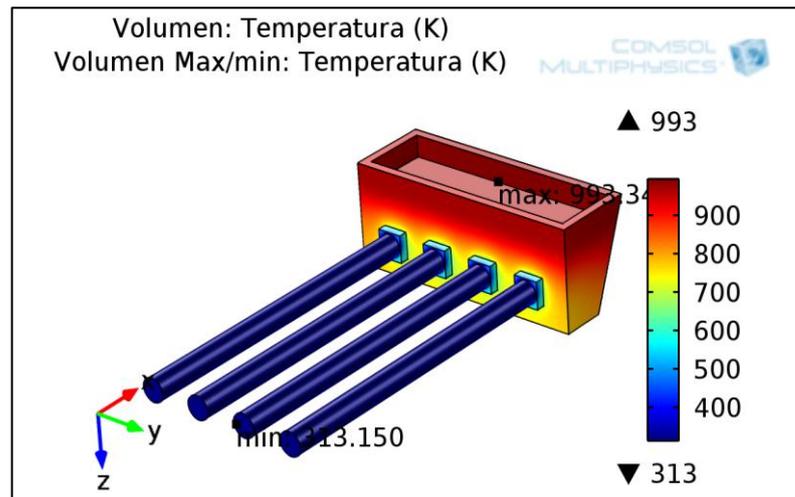


Figura 4. 24: Relación volumen máx vs volumen min del sistema automatizado.

En conclusión la automatización reguló la transferencia de calor desde el Tundish hacia el lingote conformado y principalmente eliminó el problema de estrella en el centro como se puede verificar con el análisis energético realizado.

4.5. RESULTADOS DE PRODUCCIÓN

El análisis se realiza en los meses de octubre a diciembre, dónde la mesa trabajo en manual octubre y noviembre y en automático desde diciembre en adelante. No se toman los datos del mes de enero ya que la planta tiene varias paras por mantenimiento debido al mal funcionamiento de equipos ajenos a la automatización.

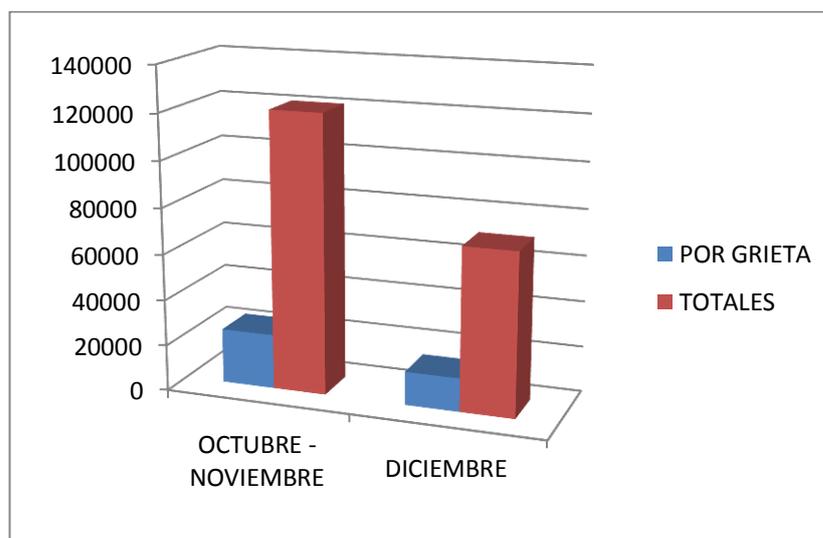
Se analiza los datos de rechazo por grietas (acabado superficial, estrella en el centro, etc.)

En base a los datos de producción proporcionados en la tabla 4.2 por el personal de fundición se tiene lo siguiente:

Tabla 4. 2: Rechazos por grietas en el periodo Octubre- Diciembre 2013

RECHAZOS			
MES	POR GRIETA	TOTALES	MODO DE TRABAJO
OCTUBRE - NOVIEMBRE	23863.215	121,036	MANUAL
DICIEMBRE	14,616	70,773	AUTOMÁTICO

Se procesa la información de la tabla 4.25, y a través de un gráfico de barras se obtiene la información detallada en la gráfica 4.22 de las cuales se obtuvo el análisis económico y la interpretación de resultados.

**Figura 4. 25: Rechazos por grietas en el periodo Octubre- diciembre 2013**

4.5.1. Análisis económico

- INVERSION TOTAL DEL PROYECTO: **8400,62 USD**
- Comparación Octubre- Diciembre

De acuerdo a la gráfica 4, y en comparación con los meses de octubre-noviembre con diciembre hubo una disminución de 9247.215 kg de rechazo.

- La tonelada de aluminio tiene un valor aproximado de 200 USD.²³

$$200 * 9.247 \text{ (toneladas)} = 1849,4 \text{ USD MENSUALES DE RECUPERACIÓN}$$

- Finalmente se divide la inversión total del proyecto para el valor de recuperación mensual teniendo:

²³ Fuente: Asistente Fundición.

$$8400,62/1849,4= 4,54$$

En conclusión la inversión se recupera en 4,54 meses de producción

- Además el proyecto se ejecutó con la mitad del presupuesto cotizado por la empresa DATALIGHTS quienes pretendían realizar la automatización.
COTIZACIÓN: PR-07-0506V3-12 DATALIGHTS: 16,592.50

4.6. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS.

La hipótesis planteada en el anteproyecto es:

¿Utilizando un SCADA será posible automatizar el control de velocidad de la mesa de formación de lingotes de aluminio?

Luego de la puesta a punto de la automatización e implementación del SCADA, se verifica el cumplimiento de la hipótesis. Ya que se logró automatizar el control de la velocidad de la mesa logrando una precisión de 0.07HZ/°C de control y ahorrando 1849.4 USD mensuales.

Además la generación de históricos del proceso a través del SCADA permite llevar un control exhaustivo de las tendencias del proceso, brindando a los supervisores las herramientas necesarias para tomar acciones preventivas y correctivas sobre el proceso en general.

En consecuencia, la hipótesis es validada.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se diseñó e implementó un sistema automático para el control de velocidad de la mesa de conformación de lingotes de aluminio, logrando estabilizar la frecuencia y reduciendo el rechazo de producción generada en el proceso de fundición de aluminio.
- Con la puesta a punto de la automatización del control de la velocidad de la mesa; se eliminó el problema de estrella en el centro en los lingotes de aluminio, conllevando al ahorro en el tiempo de producción por lingotes refundidos y principalmente eliminando pérdidas económicas causadas por rechazos debido a grietas.
- El control automático de velocidad garantiza la correcta formación de lingotes de aluminio, incluyendo rangos de temperatura fuera de las seteadas ya que se alcanzó $0.07 \text{ Hz}/^\circ\text{C}$ de precisión en el control.
- El análisis energético permitió corroborar los datos del control automático, ya que como se visualiza en los resultados luego de la automatización la transferencia de calor es uniforme.
- La implementación de una red ethernet con cable utp categoría 6A, mejoró la comunicación entre los dispositivos en red; y principalmente garantizó la recopilación de históricos del proceso sin perder comunicación en ningún instante.
- La automatización de la mesa de conformación de lingotes de aluminio mejoró las condiciones de trabajo de los operadores, dándoles la oportunidad de interactuar en tiempo real con el proceso.

- Con la implementación de la automatización no se aumenta la producción total; se mantiene en un promedio de 92 lingotes por turno pero con la diferencia que ningún lingote es rechazado por grietas.
- EL SCADA creado para la automatización genera 69120 históricos por día, con lo cuál permitirá llevar un control diario de las variables de producción, conllevando la optimización de tiempo de producción y permitiendo realizar proyecciones para mejorar el proceso de fundición.
- La inversión del proyecto se recupera en 4.54 meses, considerándose este un tiempo admisible de recuperación. De este tiempo en adelante todos los recursos generados por la automatización del proyecto son ganancias para la empresa y para los trabajadores reflejados en utilidades.

5.2.RECOMENDACIONES

- Mantener la temperatura en el tundish en los rangos de control, es decir 680°C y 720°C. Para esto los operadores deben encender y apagar oportunamente los quemadores del horno de fundición y así evitar picos demasiado altos o bajos en la temperatura de la colada de aluminio.
- Utilizar el cabezal de doble bornera cerámica en la termocupla; con el fin de evitar posibles lecturas erróneas por conexión, además es recomendable revisar la termocupla antes de cada arranque, ya que es la señal principal para el control.
- Mantener las claves de acceso a configuraciones del proceso a nivel de supervisores, esto con el objeto de evitar que personal no autorizado realice cambios en los seteos del control que puedan afectar el normal desenvolvimiento de la automatización realizada.
- Realizar mantenimiento preventivo al tablero de control para prolongar la vida útil de los equipos utilizados en la automatización, además es recomendable cambiar trimestralmente los pulsantes y selectores del tablero principalmente por la humedad existente en el área de trabajo.
- Actualizar el Checklist de arranque y el reporte de producción diaria de acuerdo a las sugerencias dadas al personal de fundición y mantenimiento.
- Estandarizar los HMI's existentes en CEDAL y en lo posible migrar a la plataforma FactoryTalk View Studio, esto permitirá elevar la robustez y aplicaciones de control y principalmente implementar monitoreo a grandes distancias a través del servidor propio del software.
- Optimizar el funcionamiento del área de Fundición con automatizaciones futuras, dando a la oportunidad a que se ejecuten tesis que lograrán elevar la producción de la planta y principalmente mejorar las condiciones de trabajo de los operadores.

BIBLIOGRAFÍA:

- **CROSS, F.** (1999). Fundamentos de Transferencia de Calor (4a. ed. edición). Mexico: Editorial Continental.
- **KUO, B. C.** (s.f.). Sistemas de control Automático.(1ra edición) México: Prentice Hall Inc.
- **NAVARRO RINA**, Ingeniería de control analógica y digital. McGraw Hill.
- **PINEDA S. MANUEL, PÉREZ C. JUAN**, Automatización de maniobras industriales mediante autómatas programables. Alfaomega.
- **FRAILE MORA, JESUS.** (2008). Máquinas eléctricas (6ª Edición). McGraw-Hill / interamericana de España, s.a.

NETGRAFÍA:

- **CEDAL S.A.** Corporación ecuatoriana de aluminio. Latacunga-Ecuador. Consultado el 15 de febrero del 2013 en: <http://www.cedal.com.ec>
- **Rodríguez Galbarro, H.** Ingemecánica: Propiedades mecánico-químicas del aluminio ARAHAL (Sevilla) – España. Consultado el 19 de febrero del 2013 en: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn110.html>
- **Luiferoc.Blogspot:** Procesos de fundición aluminio. Consultado el 19 de febrero del 2013 en: <http://luisferoc.blogspot.com/2009/03/proceso-de-fundicion-del-aluminio.html>
- **Cross, F.** Transferencia de calor. Consultado el 6 de abril del 2013 en: http://es.wikipedia.org/wiki/Transferencia_de_calor
- **Addlink Software Científico, S.L.** (2013): COMSOL Multiphysics 4.4. España. Consultado el 13 de Abril del 2013 en: <http://www.addlink.es/productos/software/comsol-multiphysics-detail>
- **Universidad Nacional de Córdoba:** Controlador lógico programable-PLC. Córdoba-Argentina. Consultado el 16 de Abril del 2013 de: http://www.efn.uncor.edu/departamentos/electro/cat/eye_archivos/apuntes/a_practico/CAP%209%20Pco.pdf
- **Repositorio digital EPN:** Introducción a la Selección De PLC's. Quito Ecuador. Consultado el 16 de abril del 2013 en: bibdigital.epn.edu.ec

- **ARIAN S.A.** (2013): Que son y cómo funcionan las termocuplas. Santiago de Chile. Consultado el 19 de abril del 2013 en:
<http://www.arian.cl/downloads/nt-002.pdf>
- **Pastrano, M.** (2011).Control de procesos. Nicaragua. Consultado el 21 de abril en:
http://pastranamoreno.files.wordpress.com/2011/03/control_procesos-valvulas.pdf
- **URIARTE, J.** IES Sta. María De Alarcos (2010-2011): Sistemas automáticos y de control. Consultado el 21 de Abril del 2013 en:
<http://ieshuelin.com/huelinwp/download/Tecnologia/Tecnologia%20industria%201/3-SISTEMAS-DE-CONTROL-AUTOMATICO.pdf>
- **Mendiburu, H.** (2012): Sistemas de control. Consultado el 4 de mayo del 2013 en: <http://www.galeon.com/hamd/pdf/1libro1.pdf>
- **UNIVERSIDAD DE OVIEDO.** Ingeniería electrónica y automática. Comunicaciones industriales. España. Consultado el 8 de junio del 2013en:
<http://isa.uniovi.es/docencia/iea/teoria/comunicacionesindustrialesdocumento.pdf>
- **Rockwell Automation.** (2014): Página principal. USA. Consultado el 23 de julio del 2013 en:
<http://www.rockwellautomation.com/rockwellsoftware/performance/view/viewstudio.html>
- **Rockwell Automation:** Servicio de soporte técnico de rockwell automation. Consulado el 11 de abril del 2013 en:
<http://www.roydisa.es/wp-content/uploads/2013/01/MICROLOGIX1100.pdf>

ANEXOS

ANEXO A: CASA DE LA CALIDAD.

ANEXO B: VARIADOR EATON 1HP DATA SHEET.

ANEXO C: PLANOS ELÉCTRICOS.

ANEXO D: TRANSMISOR DE PRESIÓN PROGRAMACIÓN.

ANEXO E: DATA SHEET UPS.

ANEXO F: PLC MICROLOGIX 1100 Y MÓDULOS DE EXPANSIÓN.

ANEXO F1: MÓDULO DE SALIDAS ANÁLOGAS 1762OF4.

ANEXO F2: MÓDULO DE ENTRADAS DE TERMOCUPLAS 1762IT4.

ANEXO F3: MÓDULO DE ENTRADAS ANÁLOGAS 1762IF4.

ANEXO G: CATÁLOGO DE SELECCIÓN PANEL VIEW.

ANEXO H: PROGRAMACIÓN DEL PLC.

ANEXO I: ANÁLISIS ENERGÉTICO ANTES DE LA AUTOMATIACIÓN.

ANEXO J: ANÁLISIS ENERGÉTICO DESPUÉS DE LA AUTOMATIZACIÓN.

ANEXO K: MANUAL DE USUARIO.

ANEXO L: IMÁGENES INDUCCIÓN A PERSONAL DE FUNDICIÓN Y
PRESENTACIÓN A DIRECTIVOS.

ANEXO M: CARTA DE CONFORMIDAD.