

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
EXTENSIÓN LATACUNGA**



CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

“AUTOMATIZACIÓN DE BOMBAS DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO CHILLER-INTERCAMBIADORES Y TANQUES-INTERCAMBIADORES, DE LOS TANQUES NATURALES Y DE COLOR, MEDIANTE EL CONTROL DE CAUDAL, PARA MANTENER ESTABLE LA TEMPERATURA EN EL PROCESO DE ANODIZADO Y COLOREADO DE ALUMINIO EN LA CORPORACIÓN ECUATORIANA DE ALUMINIO S.A. CEDAL”

MONGE GARCÍA GUSTAVO VINICIO

**TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL GRADO DE:**

INGENIERO MECATRÓNICO

Año 2012

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, MONGE GARCÍA GUSTAVO VINICIO

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado “Automatización de bombas del sistema de enfriamiento chiller-intercambiadores y tanques-intercambiadores, de los tanques naturales y de color, mediante el control de caudal, para mantener estable la temperatura en el proceso de anodizado y coloreado de aluminio en la Corporación Ecuatoriana de Aluminio S.A. CEDAL”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

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

Latacunga, Noviembre de 2012

GUSTAVO VINICIO MONGE GARCÍA

C.I 050325171-2

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, MONGE GARCÍA GUSTAVO VINICIO

Autorizamos a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución de la tesis “AUTOMATIZACIÓN DE BOMBAS DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO CHILLER-INTERCAMBIADORES Y TANQUES-INTERCAMBIADORES, DE LOS TANQUES NATURALES Y DE COLOR, MEDIANTE EL CONTROL DE CAUDAL, PARA MANTENER ESTABLE LA TEMPERATURA EN EL PROCESO DE ANODIZADO Y COLOREADO DE ALUMINIO EN LA CORPORACIÓN ECUATORIANA DE ALUMINIO S.A. CEDAL” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Noviembre del 2012.

MONGE GARCÍA GUSTAVO VINICIO
C.I 050325171-2

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICADO

ING. MARIO JIMÉNEZ (DIRECTOR)
ING. FREDDY SALAZAR (CODIRECTOR)

CERTIFICAN:

Que el trabajo titulado "AUTOMATIZACIÓN DE BOMBAS DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO CHILLER-INTERCAMBIADORES Y TANQUES-INTERCAMBIADORES, DE LOS TANQUES NATURALES Y DE COLOR, MEDIANTE EL CONTROL DE CAUDAL, PARA MANTENER ESTABLE LA TEMPERATURA EN EL PROCESO DE ANODIZADO Y COLOREADO DE ALUMINIO EN LA CORPORACIÓN ECUATORIANA DE ALUMINIO S.A. CEDAL" realizado el señor: MONGE GARCÍA GUSTAVO VINICIO ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que coadyuvará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, **SI** recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de UN empastado y UN disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat. Autorizan al señor: MONGE GARCÍA GUSTAVO VINICIO que lo entregue al ING. FAUSTO ACUÑA, en su calidad de Director de Carrera.

Latacunga, Noviembre del 2012.

Ing. Mario Jiménez

DIRECTOR

Ing. Freddy Salazar

CODIRECTOR

CERTIFICACIÓN

Certificamos, que el presente proyecto de grado fue desarrollado en su totalidad por el señor GUSTAVO VINICIO MONGE GARCÍA, previo a la obtención de su título de Ingeniería Mecatrónica.

Latacunga, Noviembre de 2012

Ing. Mario Jiménez

DIRECTOR

Ing. Freddy Salazar.

CODIRECTOR

AGRADECIMIENTO

A la Gerencia, Jefes Departamentales y a todo el personal que labora en la Corporación Ecuatoriana de Aluminios CEDAL S.A. sede Latacunga, por la apertura y colaboración permanente para el desarrollo y buen desempeño del presente proyecto de grado.

Al Departamento de Mantenimiento quienes con su constante apoyo y asesoramiento, permitieron el buen desenvolvimiento del proyecto y la puesta a punto del mismo.

Al Director y Codirector del Proyecto de Grado que a más de ofrecer una guía continua, supieron dar una frase de apoyo en los momentos difíciles.

DEDICATORIA

A mis padres José Monge y Martha García, quienes fueron los impulsores de mi desarrollo profesional, y como persona, teniendo siempre frases de aliento para los malos momentos y una sonrisa para los días felices.

A mis amigos y amigas incondicionales que han sabido estar conmigo en los buenos y en los malos momentos, aquellos que creyeron en mi, en mi capacidad y me talento.

A mi Hermano, Jessica y demás familiares y amigos, quienes han sido mi fuente de inspiración del día a día, haciéndome descubrir cualidades en mí que yo no conocía.

ÍNDICE

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
CERTIFICADO.....	iv
CERTIFICACIÓN.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
DEDICATORIA.....	viii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xvii
RESUMEN.....	xix
PRESENTACIÓN.....	xxi
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 SISTEMA DE ANODIZADO Y COLOREADO DE ALUMINIO	2
1.2.1 PROCESOS PRODUCTIVOS.....	2
1.2.2 ANODIZADO DE PERFILES DE ALUMINIO	5
1.2.3 CICLO TÍPICO DEL PROCESO DE ANODIZADO	7
1.3 SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO DE LOS TANQUES PARA ANODIZADO Y COLOREADO	9
1.3.1 TIPOS DE CONTROL TEMPERATURA.....	9
1.3.2 INTERCAMBIADORES DE CALOR.....	14
1.4 DESCRIPCIÓN DEL CHILLER.....	17
1.4.1 DEFINICIÓN	17
1.4.2 FUNCIONAMIENTO.....	18
1.5 DISPOSITIVOS DE CONTROL ELÉCTRICO.....	21

1.5.1	ARRANCADOR SUAVE.....	21
1.5.2	VARIADOR DE FRECUENCIA	22
1.6	CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES.....	25
1.6.1	DEFINICIÓN	25
1.6.2	ARQUITECTURA MODULAR DEL PLC	26
1.6.3	FUNCIONES DE UN PLC	27
1.6.4	CAMPOS DE APLICACIÓN	28
1.6.5	LIMITACIONES EN EL ENTORNO INDUSTRIAL.....	29
1.7	RSLOGIX Y RSLINX.....	30
1.7.1	RSLOGIX	30
1.7.2	RSLINX	33
1.7.3	SENSORES Y ACTUADORES.....	37
2.	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN	43
2.1	ANÁLISIS DEL SISTEMA ACTUAL.....	43
2.1.1	CICLO DE AGUA	43
2.1.2	SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DEL AGUA DE PROCESO A TRAVÉS DEL CHILLER.....	47
2.1.3	PROCESO DE ANODIZADO	51
2.1.4	PROCESO DE COLOREADO	54
2.2	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN	56
2.2.1	INTRODUCCIÓN	56
2.2.2	ELEMENTOS DE AUTOMATIZACIÓN	57
2.3	DISEÑO DEL HARDWARE	58
2.3.1	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SENSORES Y ACTUADORES	59

2.3.2	SELECCIÓN DE EQUIPOS DE CONTROL Y DE POTENCIA DEL SISTEMA CHILLER-INTERCAMBIADORES Y TANQUE-INTERCAMBIADORES	65
2.3.3	EQUIPOS DE POTENCIA.....	74
2.3.4	AJUSTES Y CALIBRACIÓN	83
2.4	DISEÑO DEL SOFTWARE	86
2.4.1	ENTRADAS Y SALIDAS DEL SISTEMA.....	86
2.4.2	PROGRAMACIÓN SISTEMA DE ENFRIAMIENTO TANQUES-INTERCAMBIADORES	90
2.4.3	SISTEMA DE ENFRIAMIENTO CHILLE-INTERCAMBIADORES	96
2.5	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA	102
2.5.1	MONTAJE DE EQUIPOS DE POTENCIA.....	102
2.5.2	CONEXIONES DE ALIMENTACIÓN Y PUESTA A TIERRA DE LOS EQUIPO	106
2.5.3	DISTRIBUCIÓN DE LAS CONEXIONES ELÉCTRICAS....	110
2.5.4	TABLERO DE CONTROL	113
2.5.5	IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE	119
2.5.6	CONFIGURACIÓN DEL CONTROL PID	126
3.	ANÁLISIS DE PRUEBAS Y RESULTADOS.....	130
3.1	PRUEBAS DE SENSORES Y ACTUADORES.....	130
3.1.1	PRUEBAS DE CONEXIONES ELÉCTRICAS.....	130
3.1.2	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL PLC.....	133
3.1.3	PRUEBAS DE SENSORES	135
3.1.4	PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DE LOS VARIADORES POWER FLEX 40.....	138

3.1.5	PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DEL VARIADOR POWER FLEX 700	139
3.1.6	PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DEL ARRANCADOR... ..	139
3.1.7	PRUEBAS DEL SISTEMA DEL CONTROL AUXILIAR DE TEMPERATURA	140
3.2	PRUEBAS Y CALIBRACIÓN DEL SISTEMA.	141
3.2.1	CONTROL TEMPERATURA CON PID.....	141
3.2.2	ADQUISICIÓN DE DATOS DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.....	142
3.3	ANÁLISIS DE TRANSFERENCIA DE CALOR DE LOS INTERCAMBIADORES.	144
3.3.1	TEMPERATURAS DE ENTRADAS Y SALIDA DE LOS INTERCAMBIADORES	144
3.3.2	PROBLEMAS DE LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR.....	146
3.4	VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS	147
3.4.1	BENEFICIOS OBTENIDOS	147
3.4.2	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS Y VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS.....	151
3.5	ANÁLISIS TÉCNICO/ECONÓMICO.....	152
3.5.1	ELEMENTOS ADQUIRIDOS	152
3.5.2	COTIZACIÓN	152
3.5.3	COSTOS	153
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	157
4.1	CONCLUSIONES.....	157
4.2	RECOMENDACIONES.....	159

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Horno de fundición de Aluminio	3
Figura 1.2 Lingotes de aluminio sin impurezas	3
Figura 1.3 Materia prima para el horno de fundición.....	4
Figura 1.4 Área de matriceria.....	5
Figura 1.5 Prensa #1 de extrusión de aluminio.....	5
Figura 1.6 Recubrimiento de capa anódica (óxido de aluminio) en función del tiempo	7
Figura 1.7 Tanque de lavado de perfiles.....	8
Figura 1.8 Tanque Natural, para proceso de anodizado.....	8
Figura 1.9 Diagrama del control PID.....	10
Figura 1.10 Señal de respuesta del control PID.....	13
Figura 1.11 Intercambiador de calor tipo Placa.....	16
Figura 1.12 Chiller.....	18
Figura 1.13 Flujo grama de funcionamiento del chiller.....	19
Figura 1.14 Flujo grama de funcionamiento de un compresor del chiller .	20
Figura 1.15 Arrancadores Suaves Allen Bradley	21
Figura 1.16 Diagrama de conexiones del arrancador suave.....	22
Figura 1.17 Variadores de frecuencia Allen Bradley	23
Figura 1.18 Diagrama de Funcionamiento de un PLC	26
Figura 1.19 Descripción de componentes de RS Logix 500	31
Figura 1.20 RSLinx Classic Gateway.....	34
Figura 1.21 (RSWho) Ventana principal de RSLinx	36
Figura 1.22 Funcionamiento de un termopar	38
Figura 2.1 Cisterna de adquisición de agua.....	44
Figura 2.2 Tanques Ablandadores.....	45
Figura 2.3 Funcionamiento de filtración de partículas de calcio y magnesio.	46
Figura 2.4 Sistema de Osmosis	47

Figura 2.5 Bomba de 75 y 50 HP	47
Figura 2.6 Sistema de enfriamiento	48
Figura 2.7 Intercambiadores de calor de los tanques naturales	49
Figura 2.8 Chiller.....	50
Figura 2.9 Intercambiador de calor Natural #1	51
Figura 2.11 Intercambiador de calor Natural #1	54
Figura 2.12 Elementos del proceso de electrocoloreado	55
Figura 2.13 Capa porosa de oxido de aluminio.	56
Figura 2.14 Esquema de selección de la CPU.	68
Figura 2.15 Familia de Variadores de Frecuencia Allen Bradley	75
Figura 2.16 Familia de arrancadores suaves de Allen Bradley.....	80
Figura 2.17 Grafico de distribución de pines de conexiones de potencia para el arrancador suave	82
Figura 2.18 Flujograma del segundo bloque.....	92
Figura 2.19 Flujograma del bloque de adquisición de temperatura.	93
Figura 2.20 Flujograma del bloque de control PID.....	94
Figura 2.21 Flujograma de funcionamiento del control auxiliar.....	95
Figura 2.22 Flujo grama de funcionamiento del bloque principal.....	97
Figura 2.23 Diagrama de funcionamiento del tercer bloque	98
Figura 2.24 Diagrama de funcionamiento del cuarto bloque.....	99
Figura 2.25 Diagrama de funcionamiento del tercer bloque	100
Figura 2.26 Diagrama de funcionamiento del quinto bloque.....	101
Figura 2.27 Diagrama de funcionamiento del séptimo bloque	102
Figura 2.28 Distancia entre variadores de frecuencia.....	103
Figura 2.29 Distancia entre Power Flex 40.	104
Figura 2.30 Distribución de los equipos del sistema Chiller-Intercambiadores	105
Figura 2.31 Distribución de los equipos del sistema tanques-intercambiadores	106
Figura 2.32 Breaker principal de las bombas de los intercambiadores..	106
Figura 2.33 Breaker principal de las bombas del Chiller.....	107

Figura 2.34 Tablero del sistema Chiller -Intercambiadores.....	108
Figura 2.35 Tablero del sistema tanques-intercambiadores	108
Figura 2.36 Puesta a tierra para el sistema Chiller -Intercambiadores ..	109
Figura 2.37 Puesta a tierra del tablero de los variadores Power Flex 40	109
Figura 2.38 Distribución del cableado sistema tanques-intercambiadores	110
Figura 2.39 Distribución del cableado sistema Chiller -Intercambiadores	111
Figura 2.40 Cableado del variador y arrancado con las bombas de 75HP y 50HP respectivamente.....	112
Figura 2.41 Tablero de control del sistema de anodizado	113
Figura 2.42 Diagrama de tablero de control, sistema Chiller - Intercambiadores.	114
Figura 2.43 Distribución de los pulsadores e indicadores en el tablero .	115
Figura 2.44 Distancia recomendada de instalación del PLC 1100.....	115
Figura 2.45 Distribución de elementos tablero de control Chiller - Intercambiadores	117
Figura 2.46 Conexiones de control	117
Figura 2.47 Bases de tableros del PLC Micrologix 1100	118
Figura 2.48 Tablero del transformador.....	119
Figura 2.49 Asignación del PLC en RSLogix 500	121
Figura 2.50 Configuración del canal de comunicación.....	121
Figura 2.51 Asignación de la IP y la Máscara.....	122
Figura 2.52 Verificación de la comunicación.....	122
Figura 2.53 Asignación de módulos de entradas y salidas	123
Figura 2.54 Configuración del módulo de salidas digitales	124
Figura 2.55 Configuración del módulo de entradas análogas.....	124
Figura 2.56 Configuración del módulo de termocuplas.....	125
Figura 2.57 Descarga del programa al PLC.....	126
Figura 2.58 Señal de control PID	126
Figura 2.59 Bloque de control PID	129

Figura 2.60 Pantalla de calibración del bloque de control PID.....	129
Figura 3.1 Tableros del sistema Chiller -Intercambiadores a) Tablero de potencia y b) Tablero de control.....	130
Figura 3.2 Tablero de los variadores Power Flex 40.....	131
Figura 3.3 Verificación de encendido de PLC	134
Figura 3.4 Verificación de las entradas digitales.....	134
Figura 3.5 Verificación de las entradas análogas	135
Figura 3.6 Verificación de la temperatura de la cisterna del Chiller	136
Figura 3.7 Pruebas del sensor de nivel.....	137
Figura 3.8 Selector de posición para el tipo de funcionamiento de los variadores	138
Figura 3.9 Parámetros de funcionamiento del arrancador	140
Figura 3.10 Funcionamiento de los controladores	141
Figura 3.11 Pantalla de visualización de temperaturas del programa para HMI	143
Figura 3.12 Pantalla de visualización de los procesos de anodizado del programa para HMI.....	143
Figura 3.13 Intercambiador de calor tipo placa.....	144
Figura 3.14 Producción de anodizado	148
Figura 3.15 Grafica de la producción porcentual de anodizado.....	148
Figura 3.16 Tendencias de temperatura de los tanques naturales	149
Figura 3.17 Tendencias de temperatura de los tanques naturales	149
Figura 3.18 Tendencias de temperatura de los tanques naturales	150

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Valores de calibración para sistemas de control PID	13
Tabla 1.2 Elementos de programación de un PLC en lenguaje escalera	32
Tabla 1.3 Tipos de datos para la programación de PLC en lenguaje escalera	33
Tabla 1.4 Nomenclatura de marcas para programación en RSLogix 500	33
Tabla 2.1 Datos de placa de las bombas de 75HP y 50HP	58
Tabla 2.2 Variables de entrada del sistema Chiller -Intercambiadores	59
Tabla 2.3 Variables de entrada del sistema Tanques-Intercambiadores .	59
Tabla 2.4 Variables de entrada para el control auxiliar del sistema Tanques-Intercambiadores	60
Tabla 2.5 Variables de salida del sistema Chiller-Intercambiadores.....	61
Tabla 2.6 Variables de salida del sistema Tanques-Intercambiadores ...	61
Tabla 2.7 Entradas del sistema de control Chiller -Intercambiadores	62
Tabla 2.8 Entradas del sistema de control Tanque-Intercambiadores.....	63
Tabla 2.9 Salidas del sistema de control Chiller -Intercambiadores.....	63
Tabla 2.10 Salidas del sistema de control Tanques-Intercambiadores....	64
Tabla 2.11 Entradas y salidas de los sistemas	65
Tabla 2.12 Configuración de la CPU.....	69
Tabla 2.13 Configuración del CPU.....	70
Tabla 2.14 Módulos de expansión del PLC Micrologix 1100 (Anexo D) ..	71
Tabla 2.15 Consumo energético del sistema.....	71
Tabla 2.16 Elementos para el control del sistema Chiller - Intercambiadores y tanques-intercambiadores	72
Tabla 2.17 Análisis de los requerimientos del sistema	73
Tabla 2.18 Características de los motores.....	76
Tabla 2.19 Modelos de variadores trifásicos (380 a 460 Voltios) Power Flex 40	77
Tabla 2.20 Modelos de variadores Power Flex 700	78
Tabla 2.21 Características del motor de 50HP	80

Tabla 2.22 Modelos de arrancadores suaves SMC Flex	81
Tabla 2.23 Características del Power Flex 700.....	82
Tabla 2.24 Elementos de protección.....	84
Tabla 2.25 Requerimientos generales del sistema	85
Tabla 2.26 Entradas de los sistemas de enfriamiento	86
Tabla 2.27 Salidas de los sistemas de enfriamiento	89
Tabla 2.28 Valores de configuración del sistema.....	126
Tabla 2.29 Calibración de parámetros del PID por el método de Ziegler-Nichols	127
Tabla 2.30 Valores de configuración de los parámetros PID	128
Tabla 2.31 Valores de las constantes de calibración del PID	128
Tabla 3.1 Pruebas de funcionamiento del sistema	132
Tabla 3.2 Valores de las entradas análogas y digitales de los variadores power flex 40.....	133
Tabla 3.3 Valores de medición de la temperatura de los tanques naturales y de color	137
Tabla 3.4 Valores de funcionamiento del variador de frecuencia.....	139
Tabla 3.5 Temperaturas de funcionamiento de los tanques naturales...	145
Tabla 3.6 Temperatura de los tanques naturales.....	145
Tabla 3.7 Elementos del sistema tanques-intercambiadores.....	153
Tabla 3.8 Elementos del sistema Chiller –Intercambiadores	154
Tabla 3.9 Factor de recuperación del proyecto.....	155
Tabla 3.10 Análisis de la afectación del proyecto	156

RESUMEN

En la actualidad la mayoría de industrias buscan la automatización como fuente de desarrollo, logrando generar productos de mayor calidad a un menor costo, es por esta razón que la Corporación Ecuatoriana de aluminios CEDAL S.A, ha decidido invertir en el desarrollo del proyecto de los sistemas de enfriamiento chiller-intercambiadores y tanques-intercambiadores.

La automatización del sistema de enfriamiento chiller-intercambiadores tiene como fin mejorar el control de las temperaturas de los tanques, logrando reducir los reprocesos producidos por daños en los perfiles de aluminio, generados al realizar los proceso de anodizado y coloreado. Adicionalmente la automatización del sistema de enfriamiento tanques-intercambiadores, busca controlar el caudal que circulara por los intercambiadores de calor y el chiller.

El control del sistema de enfriamiento tanques-intercambiadores se lo hace mediante el PLC Allen Bradley SLC 500, el mismo que envía unas señales de referencia de 0 a 10 voltios a unos variadores que regulan la frecuencia de funcionamiento de 5 bombas que hacen recircular la solución acida de los tanques naturales y 1 bomba que se encarga de la recirculación del tanque de color, mediante la variación de caudal generado por las bombas centrífugas se puede controlar la temperatura de trabajo de los tanques naturales y de color.

El control del sistema de enfriamiento chiller-intercambiadores, se lo realiza mediante un PLC Allen Bradley 1100, el mismo que es el encargado de controlar el funcionamiento de una bomba de 50HP y otra de 75HP, accionadas por un arrancador suave y un variador de frecuencia respectivamente. Mediante el uso de termocupla tipo T y un sensor de

nivel, se podrá verificar que el chiller está enfriando el agua sin problemas y que el nivel es el adecuado para que funcionen las bombas.

PRESENTACIÓN

En el presente trabajo se describe todo lo relacionado a la automatización de los sistemas de enfriamiento chiller-intercambiadores y tanques-intercambiadores de la Corporación Ecuatoriana de Aluminios CEDAL Latacunga.

El capítulo I está compuesto por un resumen de los conocimientos teóricos necesarios para realizar la automatización, además constan detalles acerca de equipos y características básicas de la implementación de los mismos.

En el capítulo II se presenta un análisis más detallado de los elementos que conforman el sistema de enfriamiento, y los equipos utilizados para la automatización, además se realiza el diseño del sistema y se detallan los pasos de la implementación.

El capítulo III consta de la evaluación de funcionamiento de los equipos, el análisis de los resultados obtenidos, la presentación de los datos de producción, el funcionamiento del sistema y la comprobación de hipótesis.

El capítulo IV contiene las conclusiones y recomendaciones del proyecto.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 ANTECEDENTES

La Corporación Ecuatoriana de Aluminios S.A., CEDAL; es una compañía ecuatoriana constituida en el año 1974 en la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi, con el fin de producir y comercializar perfiles de aluminio estructurales y arquitectónicos. CEDAL forma parte de Corporación Empresarial S.A. CORPESA.

CEDAL es líder en la producción y comercialización de perfiles de aluminio en el Ecuador, contando con más de 40 distribuidores exclusivos localizados en todo el país, además de mantener una sólida presencia comercial en Colombia desde 1979 a través de su compañía afiliada VITRAL, que posee centros de distribución en las ciudades de Bogotá y Cali.

CEDAL es ampliamente reconocida en el mercado nacional y extranjero por la calidad de sus productos, la confiabilidad e integridad de la empresa y su valiosa contribución al desarrollo de la industria del aluminio y la construcción en el Ecuador.

En el mes de octubre del 2007, CEDAL certifica su sistema de gestión de calidad bajo la norma ISO 9001:2000, certificación que comprende la estandarización de procedimientos en la producción y comercialización de productos de aluminio.

Los procesos de anodizado y coloreado de aluminio son fundamentales en un buen acabado de los perfiles de aluminio, por consecuencia es fundamental que se cuiden todos los parámetros en su funcionamiento, tales como concentración de ácido, corriente, voltaje, temperatura de la solución, grosor de la capa anódica en el perfil, etc.

El control de temperatura en los tanques de anodizado y de color, son esenciales al momento de realizar los procesos de acabados en los perfiles de aluminio, por este motivo se decidió realizar una automatización en el sistema de las bombas de los intercambiadores, buscando con esta el control de la temperatura de todos los tanques de anodizado y coloreado de aluminio.

1.2 SISTEMA DE ANODIZADO Y COLOREADO DE ALUMINIO

En el proceso de anodizado y coloreado de aluminio se encuentran algunas partes fundamentales, las mismas que se procederá a hacer el detalle posteriormente.

1.2.1 PROCESOS PRODUCTIVOS

Entre los principales procesos productivos necesarios para realizar perfiles de aluminio de calidad se encuentran:

Fundición:

El aluminio recuperado del proceso de extrusión y de perfilado rechazado durante el proceso de producción son nuevamente fundidos, manteniendo las características de sus aleaciones para ser re-utilizados en el proceso de producción, como lo podemos observar en la Figura 1.1.



Figura 1.1 Horno de fundición de Aluminio
Fuente: Investigación de campo Empresa CEDAL S.A

Materia prima:

La materia prima (Figura 1.2 y 1.3) para la fabricación de perfiles de aluminio como los lingotes (cilindros de 177,8 mm de diámetro y 508 mm hasta 2794 mm de longitud) de aleación de aluminio 6063, 6061, 6005 que son importados desde los proveedores en Venezuela, Brasil y Argentina.



Figura 1.2 Lingotes de aluminio sin impurezas
Fuente: Investigación de campo Empresa CEDAL S.A



Figura 1.3 Materia prima para el horno de fundición
Fuente: Investigación de campo Empresa CEDAL S.A

Aplicaciones de las aleaciones:

Una aleación es una combinación de dos o más metales formando una mezcla o una solución sólida. En el caso del aluminio se los combina con elementos tales como magnesio, silicio, zinc y cobre, para conferir a la aleación determinadas propiedades físico-mecánicas, tales como la dureza, maleabilidad, formado y resistencia a la corrosión, acorde a las aplicaciones donde el metal será utilizado. Las aleaciones del aluminio están clasificadas por la “Aluminun Associotion” en series acorde a los elementos que contienen.

Matriceria:

La matriz es el molde que da la forma a los perfiles de aluminio durante el proceso de extrusión, mediante la variación de sus cavidades se puede obtener un conjunto de perfiles con formas diferentes. Esta va colocada en la prensa de extrusión.

Para su reutilización las matrices son limpiadas en el área de matriceria, como se muestra en la Figura 1.4.



Figura 1.4 Área de matriceria
Fuente: Investigación de campo Empresa CEDAL S.A

Extrusión:

La extrusión es una deformación plástica en donde un bloque de metal es forzado por compresión a pasar a través de las aberturas de un molde (matriz) que tiene un área seccional menor a la del bloque del metal, como se muestra en la Figura 1.5.



Figura 1.5 Prensa #1 de extrusión de aluminio
Fuente: Investigación de campo Empresa CEDAL S.A

1.2.2 ANODIZADO DE PERFILES DE ALUMINIO

El anodizado es un proceso electroquímico que se utiliza para dar un mejor acabado estético y mejorar las propiedades mecánicas. Este

tratamiento superficial sólo se puede realizar al aluminio, y es de oxidación forzada, por medio del cual el aluminio forma una capa protectora de óxido de aluminio (Al_2O_3) sobre la superficie del aluminio base de un espesor variable a voluntad entre algunas pocas micras de 25 ó 30 micras en el anodizado de protección y hasta 100 micras en el anodizado duro. Según lo estipulado en las normas de calidad NTE INEN 2250:2000.

El proceso consiste en someter al aluminio a una inmersión de ácido (generalmente sulfúrico). Al hacer pasar corriente se libera el oxígeno que se dirige al ánodo que reacciona con el aluminio generando una capa de óxido de aluminio cuyo espesor varía con el tiempo de paso de la corriente. Para cerrar los poros que presenta la superficie del aluminio anodizado se realiza el sellado. De esta manera queda finalizado el procedimiento, teniendo los perfiles una vida útil que es proporcional al espesor de la capa anódica obtenida.

El óxido de aluminio puede alcanzar una gran dureza que varía entre los 7 y 8 de la escala Mho; es muy estable y resistente a los agentes corrosivos ambientales. La capa generada por medio del proceso electroquímico se integra al metal, por lo que no puede ser raspada o pelada.

El aluminio anodizado presenta varias ventajas:

- No necesita mantenimiento.
- Aumenta la protección contra la humedad, polvo, etc...
- Aumenta la dureza superficial contra golpes
- Acabado decorativo, se pueden obtener diferentes colores.
- Resistencia a la abrasión y al desgaste.
- Resistencia a la corrosión.

En la Figura 1.6 se muestra como se incrementa la cubierta de óxido de aluminio conforme aumenta el tiempo de inversión de la carga en el tanque de anodizado, también se puede ver que a los 60 minutos de inmersión se comienza a tener problemas con la pérdida del espesor del material, siendo esto un problema en el recubrimiento de piezas que no puedan variar mucho debido a su tolerancia.¹

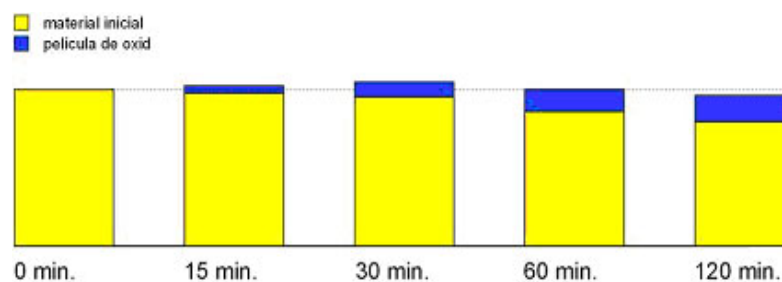


Figura 1.6 Recubrimiento de capa anódica (óxido de aluminio) en función del tiempo

Fuente: Tomado de la dirección XAVIER CONESA;

<http://www.measurecontrol.com/anodizado-del-aluminio/> electrónica (12-01-2012; 15:30)

1.2.3 CICLO TÍPICO DEL PROCESO DE ANODIZADO

Entre los procesos más comunes de los ciclos típicos del proceso de anodizado tenemos:

Enganche.- Permite asegurar un adecuado contacto, entre el ánodo y los perfiles de aluminio, para que exista una buena conducción de la corriente.

Desengrase.- Consiste en aplicar agentes químicos que eliminen de la superficie manchas de aceite, grasas u otros.

¹ <http://www.measurecontrol.com/anodizado-del-aluminio/>

Matizado o Decapado Químico.- Este proceso se realiza en un tanque con soda cáustica (Figura 1.7) como etapa preparatoria de la superficie del aluminio antes de la anodización.



Figura 1.7 Tanque de lavado de perfiles
Fuente: Investigación de campo Empresa Cedal S.A

Anodizado.- Proceso electrolítico de oxidación anódica. Se hace con ácido sulfúrico haciendo pasar una corriente eléctrica directa de aproximadamente 1 a 2 amperios por decímetro cuadrado. En la celda electrolítica (Figura 1.8) el aluminio actúa como ánodo y la corriente como agente de disociación. El cátodo lo constituyen láminas de otro material dentro de la celda.



Figura 1.8 Tanque Natural, para proceso de anodizado
Fuente: Investigación de campo Empresa CEDAL S.A

Sellado.- Después de la anodización, la película anódica se sella en tanques con agua y sales de níquel a bajas temperaturas. De esta forma, dicha película así formada puede llegar a tener un espesor de 5 a 20 micras, según el uso para el que se requiera el material.²

1.3 SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO DE LOS TANQUES PARA ANODIZADO Y COLOREADO

1.3.1 TIPOS DE CONTROL TEMPERATURA

El objetivo principal de la automatización es llegar a tener el control sobre las variables del proceso, para lo cual se utilizan diferentes tipos de control, que varían según la aplicación.

Entre los diferentes tipos de control de temperatura que se puede encontrar están:

- Control ON-OFF.
- Control ON-OFF con histéresis.
- Control PID.
- Control por lógica borrosa.
- Control por redes neuronales.

Siendo el primero uno de los tipos de controles más antiguas, utilizado generalmente en control de temperaturas de hornos, su principal problema llega a ser su poca capacidad para seguir al valor seteado en función del tiempo, mientras que los últimos comprenden a nuevos tipos de control, que poseen memoria de acontecimientos anteriores, para la toma de decisiones presentes (Redes neuronales) y la lógica difusa que

² COELLO, Claudio; *La práctica de la anodización*; Madrid: Centro de desarrollo del aluminio, S. A.

no trabaja con valores absolutos, si no relativos, siendo la toma de decisiones el resultado de un conjunto de patrones que pueden modificar las respuestas del sistema (lógica difusa).³

Los diferentes parámetros de configuración que determinan la salida de los controladores, se llaman modos de regulación, siendo la variación de sus valores fundamental para la correcta calibración de un sistema.⁴

a. Control PID

El control PID es el resultado de la suma de tres tipos de controles, como se observa en la Figura 1.9, entre los que podemos encontrar:

- Control Proporcional
- Control Derivativo
- Control Integral

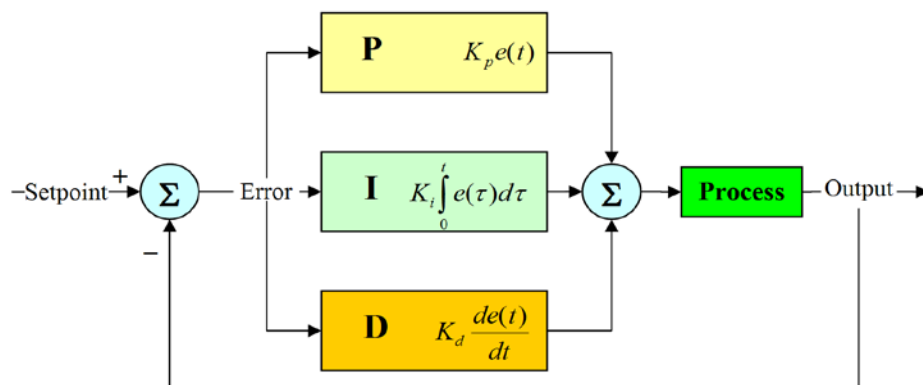


Figura 1.9 Diagrama del control PID

Fuente: Tomado de la dirección electrónica: Anónimo; <http://radhesh.wordpress.com/2008/05/11/pid-controller-simplified/> (12-09-2011; 11:30)

³ CREUS, A. (2006). *Instrumentación Industrial*. México: Alfaomega.

⁴ ROCA, A. (2002). *Control de Procesos (pp. 136)*. México: Alfaomega.

Al combinar la parte proporcional, derivativo e integral en un solo regulador se obtiene el regulador tipo PID. La parte derivativa se usa para mejorar la estabilidad o la velocidad, o ambas, del sistema, mientras que la parte integradora se usa para disminuir el error.⁵

Cada uno de estos controles tiene una función específica dentro del control PID, la parte integral ayuda a reducir el error producido en el sistema, la parte derivativa evita que el control sea afectado por reacciones bruscas y la acción proporcional le da la velocidad de respuesta, mediante la combinación precisa de estas tres variables se puede llegar a obtener un control PID que pueda adaptarse a diferentes necesidades de los sistemas que se van a controlar.

Los controladores PID se utilizan en procesos donde las constantes de tiempo son largas. (Procesos de control de temperatura y control de concentración). Los procesos en los que las constantes de tiempo son pequeñas (control de presión y flujo), son rápidos y susceptibles al ruido.⁶

b. Funcionamiento del control PID

Dentro del funcionamiento del control PID, se necesita como mínimo 3 elementos para poder realizar el control, estos son:

- Sensores.- nos permiten tener una percepción del medio y nos dan un valor proporcional al estado de la variable (termómetro, flotadores, voltímetros, etc.).

⁵ NAVARRO, R. (2004). *Ingeniería de Control Analógica y Digital* (pp. 146). México: Mc CRAW-HILL/INTERAMERICANA.

⁶ CREUS, A. (2007). *Simulación y control de procesos por ordenador*. México: MARCOMBO-Alfaomega.

- Controladores.- estos generan la señal que gobierna al actuador, en ellos se realizan todas las operaciones.
- Actuadores.- son los encargados de modificar el medio, se encuentran en contacto directo con el sistema (bomba centrifugas, válvula, pistones, etc.).

El controlador recibe una señal análoga o digital del sensor, la cual representa el valor en la que se encuentra la variable, la señal puede ser transmitida como voltaje, corriente o frecuencia, cada uno de estos dentro de un rango de variación.

El valor seteado como set point (señal de referencia) en el controlador puede ser configurado tanto dentro de su programación, como puede venir de un dato externo. El error producido viene de la resta entre la señal de referencia y el valor tomado por el sensor, siendo mayor la respuesta del sistema mientras mayor el error.

La señal de error es utilizada por cada uno de los tres componentes del controlador PID. Las tres señales sumadas, componen la señal de salida que el controlador va a utilizar para gobernar al actuador.⁷

c. Calibración de parámetros

Según la modificación de las constantes se obtiene las diferentes salidas del controlador PID, como se puede observar en la Figura 1.10.

⁷ CREUS, A. (1998). *Instrumentación Industrial*. México: Alfaomega.

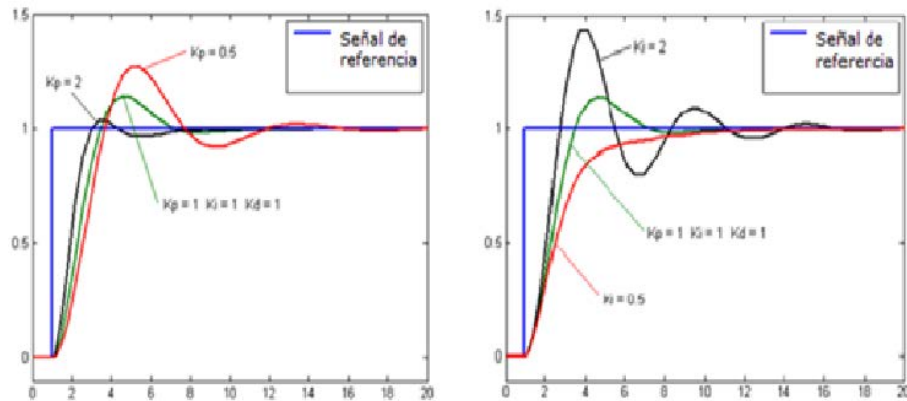


Figura 1.10 Señal de respuesta del control PID

En la Figura 1.10 se observa que efecto causa la variación de las constantes del control PID a la señal de salida del controlador, debido a esto la calibración de las constantes se lo realiza mediante métodos matemáticos, asegurando que los valores obtenidos sean los correctos, sin embargo existen procesos en los que no se tiene las componentes del sistema como para hacer un buen análisis matemático, para estos casos también existen métodos empíricos, para la estabilización de la señal de salida del sistema.

En la Tabla 1.1 esta comprendida de unos valores de referencia para las constantes cuando se aplique el control PID en el control de diferentes variables.

Tabla 1.1 Valores de calibración para sistemas de control PID

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

FUENTE: Instrumentación Industrial Antonio Creus

1.3.2 INTERCAMBIADORES DE CALOR

a. Definición

Un intercambiador de calor es un dispositivo diseñado para transferir calor entre dos medios, que estén separados por una barrera o que se encuentren en contacto. Son parte esencial de los dispositivos de refrigeración, acondicionamiento de aire, producción de energía y procesamiento químico.

b. Clasificación

Dentro de los intercambiadores de calor se encuentra una gran variedad, entre los principales tenemos:

- Intercambiadores de contacto directo: son aquellos dispositivos en los que los fluidos sufren una mezcla física completa.
- Intercambiadores de contacto indirecto

Entre los intercambiadores de contacto indirecto se tiene:

- Alternativos: ambos fluidos recorren un mismo espacio de forma alternada, la mezcla entre los fluidos es despreciable.
- De superficie: son equipos en los que la transferencia de calor se realiza a través de una superficie, cilíndrica o plana, sin permitir el contacto directo.

La clasificación más usual de este grupo de intercambiadores, se realiza en base a la dirección relativa de los flujos de ambos fluidos, los

intercambiadores de flujo paralelo (intercambio líquido - líquido) y los intercambiadores de flujo cruzado (intercambio líquido - gas).

Dentro del subgrupo de intercambiadores de flujos paralelos, se emplean entre otros, los denominados “de placas”, “de tubo”, también llamados “de doble tubo”, de “inmersión”, “multitubulares” o de “carcasa y tubos”.⁸

c. Intercambiadores de tipo placa

Llamados también intercambiadores compactos. Pueden ser de diferentes tipos:

- Intercambiadores de tipo placa y armazón (plate-and-frame) similares a un filtro prensa (Figura 1.11).
- Intercambiadores de aleta de placa con soldadura (plate fin).

Ambos admiten una gran variedad de materiales de construcción, tiene una elevada área de intercambio en una disposición muy compacta. Por la construcción están limitados a presiones pequeñas.⁹

⁸ http://es.wikipedia.org/wiki/Intercambiador_de_calor

⁹ <http://www.hidroterm.com.ve/documentacion/intercambiadoresdecalor.pdf>

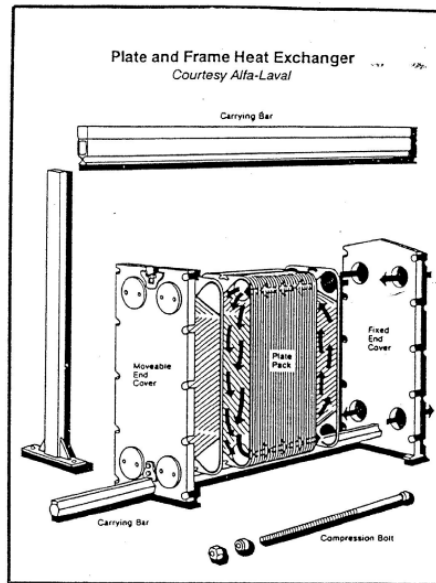


Figura 1.11 Intercambiador de calor tipo Placa

Fuente: Tomado de la dirección electrónica: Anónimo;

<http://www.hidroterm.com.ve/documentacion/intercambiadoresdecalor.pdf> (24-11-2011; 11:30)

d. Aplicaciones de los intercambiadores de calor

Los intercambiadores de calor se encuentran en muchos sistemas químicos o mecánicos. Algunas de las aplicaciones más comunes se encuentran en sistemas de calentamiento, ventilación, acondicionamiento de espacios, radiadores en máquinas de combustión interna, calderas, condensadores y pre-calentadores o enfriamiento de fluidos, entre otras como:

- Torres de Enfriamiento secas.
- Calentadores de Agua y otros fluidos, mediante vapor.
- Enfriadores de Aceite.
- Enfriadores de agua salada.

El ejemplo más familiar de un intercambiador de calor es un radiador de automóvil. El líquido refrigerante fluye por el motor y toma el calor expedido y lo lleva hasta el radiador. El líquido refrigerante fluye entonces por tubos que utilizan aire fresco del ambiente para reducir la temperatura del líquido refrigerante. ¹⁰

1.4 DESCRIPCIÓN DEL CHILLER

1.4.1 DEFINICIÓN

El chiller, indicado en la Figura 1.12, es un equipo de alta eficiencia empleado como pieza fundamental en los sistemas de enfriamiento de hoteles, bodegas de almacenamiento de productos y varios procesos industriales, entre otros.

Existen diferentes modelos de chiller y estos varían según su capacidad y la aplicación. Dentro de la programación de los parámetros de funcionamiento se puede configurar algunos como:

- La temperatura de salida del líquido.
- El tipo de refrigerante utilizado.
- Los parámetro de funcionamiento de las válvulas y demás implementos, etc.

¹⁰ <http://www.cie.unam.mx/~ojs/pub/HeatExchanger/Intercambiadores.pdf>



Figura 1.12 Chiller

Fuente: Tomado de la dirección electrónica: Anónimo;

<http://www.usedchillerstore.com/chillerlistings~action~detail~intlD~285.asp> (12-12-2011; 09:20)

1.4.2 FUNCIONAMIENTO

El chiller utilizado en Corporación Ecuatoriana de Aluminios CEDAL.S.A consta de 3 sistemas de enfriamiento, cada uno de ellos independiente de los otros, los mismos que varían su estado o frecuencia de funcionamiento según la temperatura del líquido de proceso (Agua de procesos), como se muestra en el Figura 1.13 y Figura 1.14.

La función principal del chiller es controlar la temperatura de salida del líquido. La temperatura puede ser seteada dentro del programa, siendo 6 °C el valor mínimo para Agua y pudiendo ser menor en caso de que se vaya a enfriar otro tipo de sustancia con un punto de congelación inferior.

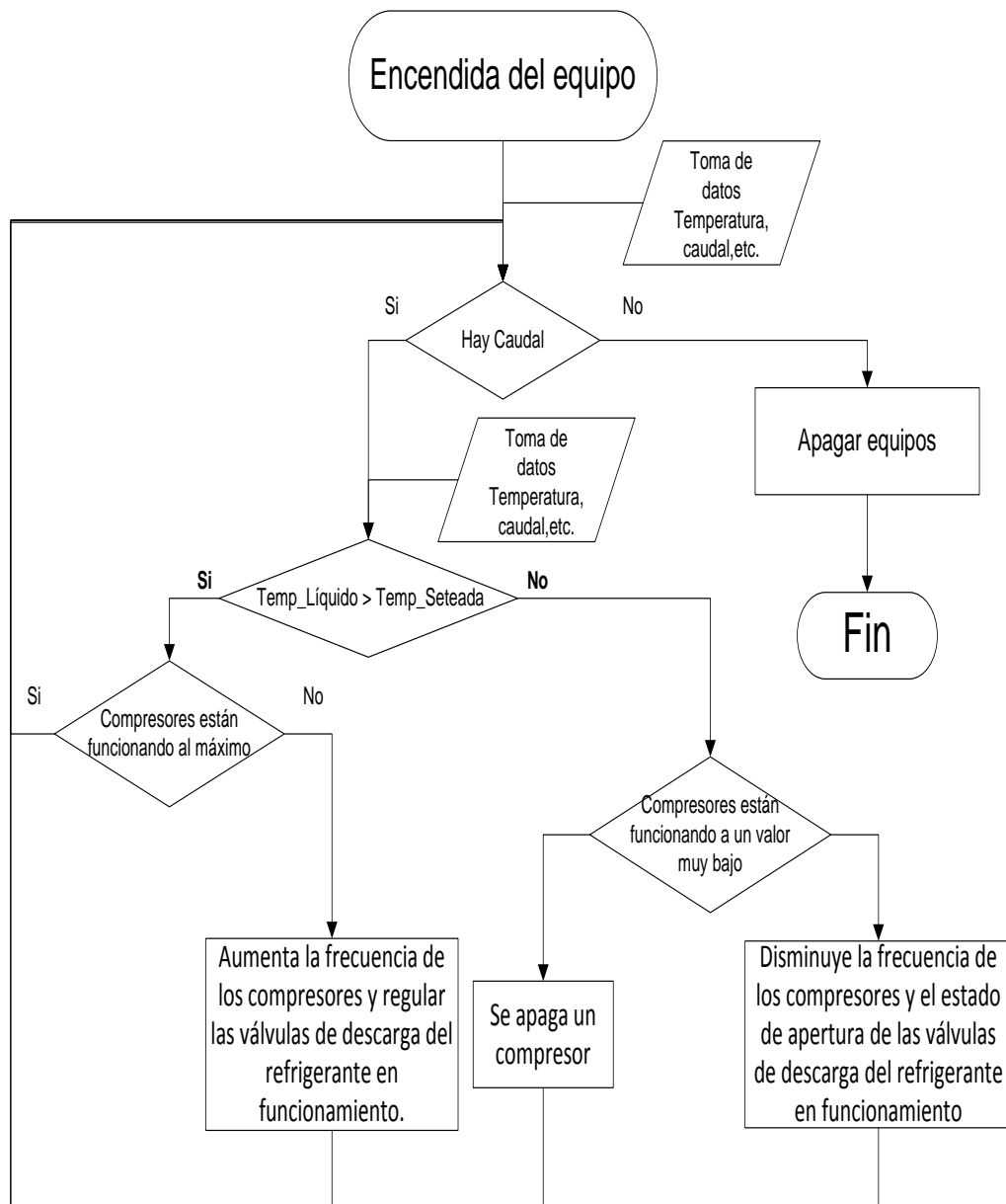


Figura 1.13 Flujo grama de funcionamiento del chiller

Fuente: Directa

Elaborado por: Investigador

En la figura 1.13 se puede visualizar un flujograma que resume el funcionamiento del chiller, y como se comporta en condiciones normales de trabajo.

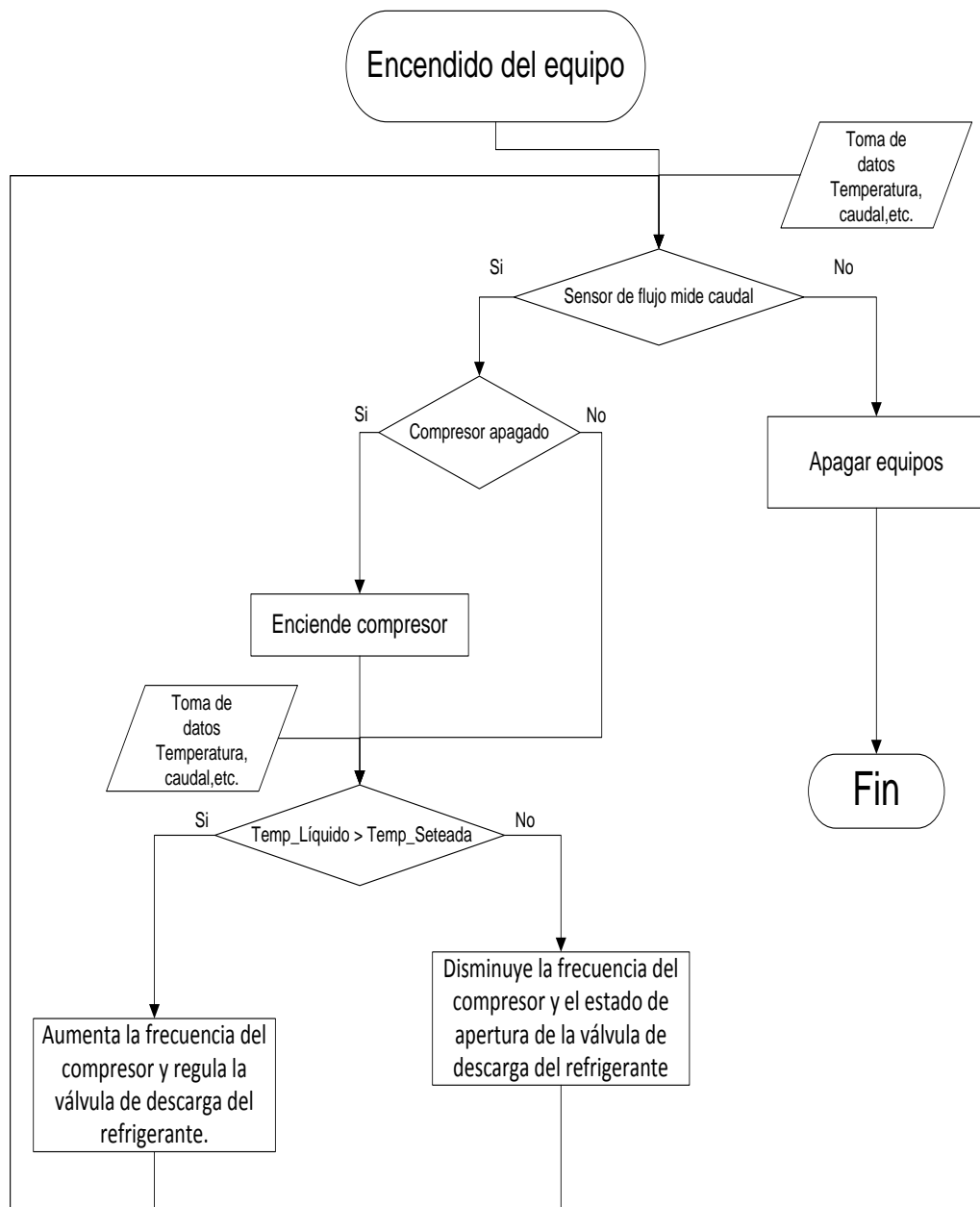


Figura 1.14 Flujo grama de funcionamiento de un compresor del chiller

Fuente: Directa

Elaborado por: Investigador

La Figura 1.14 comprende de un resumen del funcionamiento de los compresores del chiller, en condiciones normales de trabajo.

1.5 DISPOSITIVOS DE CONTROL ELÉCTRICO

1.5.1 ARRANCADOR SUAVE

Son dispositivos diseñados con la finalidad de reducir los picos de corrientes generados en el arranque de equipos de gran capacidad, se aplican generalmente en el arranque de motores de alta potencia previniendo que se generen desfases de tensión.



Figura 1.15 Arrancadores Suaves Allen Bradley

Fuente: Tomado de la dirección electrónica: Anónimo;

http://www.rockwellautomation.es/applications/gs/EMEA/GSES.nsf/pages/ic_bull150_2 (30-12-2011; 10:20)

Los arrancadores realizan la reducción de corriente en el arranque mediante el control de dos líneas de la entrada trifásica, esto es un solución efectiva pero causa problemas debido a que una línea esta conectada de manera directa al motor, actualmente se encuentran muchos modelos que nos ofrecen soluciones diferentes, desde los mas económicos que no poseen un by-pass integrado, hasta los costosos y fiables que aparte de poseer un by-pass proporcionan un control de las tres líneas de alimentación del motor trifásico.

El SMC-Flex (Figura 1.15) proporciona rendimiento, flexibilidad y la comunicación en un diseño modular compacto para el control de un motor estándar de inducción de jaula de ardilla o un motor estrella-triángulo.

El by-pass se cierra automáticamente cuando el motor alcanza su velocidad nominal, resultando un componente más fácil de ejecutar y con una reducción de tamaño de la caja necesaria para el montaje, en la Figura 1.16 se observa los componentes internos del arrancador suave SMC-Flex.

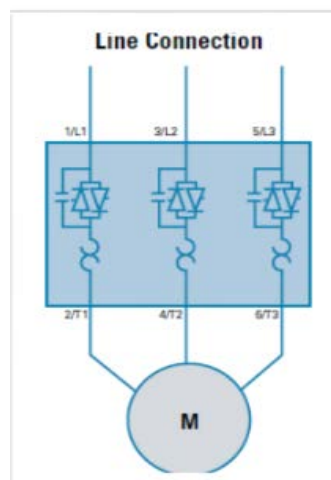


Figura 1.16 Diagrama de conexiones del arrancador suave
Fuente: Tomada del catálogo SMC-Flex™ Selection Guide

1.5.2 VARIADOR DE FRECUENCIA

Una gran parte de los equipos utilizados en la industria moderna funcionan a velocidades variables, como por ejemplo los trenes laminadores, los mecanismos de elevación, las máquinas-herramientas, etc. En los mismos se requiere un control preciso de la velocidad para lograr una adecuada productividad, una buena terminación del producto elaborado o garantizar la seguridad de personas y bienes.

Los variadores de frecuencia (Figura 1.17) varían la velocidad de un motor de inducción trifásica, la variación de velocidad se la puede realizar de

dos formas, variando los polos o cambiando la frecuencia de trabajo del motor.



Figura 1.17 Variadores de frecuencia Allen Bradley

Fuente: Tomado de la dirección electrónica: Anónimo;
<http://www.tecnoing.com/promociones.aspx?promId=varAB> (13-01-2012; 11:20)

Los variadores de frecuencia modifican la frecuencia de la alimentación que va al motor de inducción trifásica. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que el cambio de frecuencia debe estar acompañado por un cambio de voltaje aplicado al motor para no saturar el flujo magnético.

Se utilizan estos equipos cuando las necesidades de la aplicación sean:

- Dominio de par y la velocidad
- Regulación sin golpes mecánicos
- Movimientos complejos
- Mecánica delicada

a. Elementos

Un variador de frecuencia está compuesto por dos placas electrónicas:

- Placa de Control

- Placa de Potencia

Estas placas están separadas ya que manejan diferentes tipos de potencia, por lo que utilizan protecciones separadas, pudiendo ser remplazadas de forma individual y sus conexiones se las realiza de manera independiente.

La placa de potencia se alimenta de la red eléctrica y entrega potencia al motor. Contiene elementos tales como los IGBT, tiristores, entre otras. Incluye las borneras de conexión de la fuente y hacia el motor, y puede incluir las borneras de conexión para controles adicionales.

La placa de control incluye todos los elementos necesarios para el control de la frecuencia y la tensión, contiene switches para setear parámetros y se comunica con el panel frontal.

b. Ventajas e inconvenientes

Entre las principales ventajas e inconvenientes de la utilización de un variador de frecuencia para el control de motores asíncronos tenemos.

Ventajas:

- El variador de velocidad no tiene elementos móviles, ni contactos.
- La conexión del cableado es muy sencilla.
- Permite arranques suaves, progresivos y sin saltos.
- Controla la aceleración y el frenado progresivo.
- Limita la corriente de arranque.

- Se obtiene un mayor rendimiento del motor.

Inconvenientes:

- Es un sistema caro, pero rentable a largo plazo.
- Requiere estudio de las especificaciones del fabricante.
- Requiere un tiempo para realizar la programación.¹¹

1.6 CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES

1.6.1 DEFINICIÓN

Un PLC o también denominado autómeta programable (AP), es un aparato electrónico diseñado para ambientes industriales (hostil), utiliza una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones, las cuales implementan funciones específicas tales como lógicas, secuenciales, temporización, conteo y aritméticas, con el fin de controlar mediante entradas y salidas, digitales y analógicas diversos tipos de máquinas o procesos, convirtiéndose en una herramienta muy útil en la hora de realizar automatizaciones. Resumiendo el controlador lógico programable es toda máquina electrónica, diseñada para controlar en tiempo real procesos secuenciales.

En la figura 1.18 se puede observar el diagrama típico de funcionamiento de un autómeta programable.¹²

¹¹ <http://www.kbernet.com/palaa/docu/variadores.pdf>

¹² <http://html.rincondelvago.com/pcl.html>

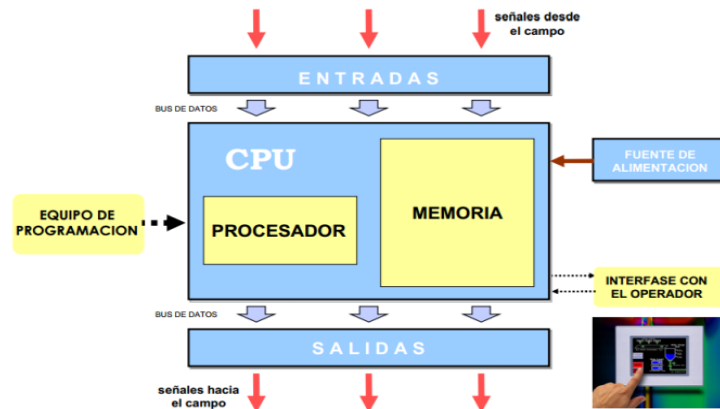


Figura 1.18 Diagrama de Funcionamiento de un PLC

Fuente: Tomado de la dirección electrónica: Universidad Nacional de Quilmes;
<http://iaci.unq.edu.ar/materias/laboratorio1/archivos/Clases/Controladores%20L%C3%B3gicos%20Programables%20Conceptos%20B%C3%A1sicos.pdf> (17-05-2012; 12:15)

1.6.2 ARQUITECTURA MODULAR DEL PLC

El autómata programable o PLC se organiza alrededor de la unidad central y la comunicación con los módulos se establece mediante un bus interno.

La configuración física de un autómata se puede presentar en tres formas principales:

- Autómatas compactos.
- Autómatas semimodulares.
- Autómatas modulares.

Autómatas Compactos

Son autómatas de gama baja. Incorporan en una unidad central los módulos de entradas y salidas. Su potencia de procesamiento suele ser muy limitada, siendo utilizados en automatizaciones sencillas.

Autómatas Semimodulares

Son PLC de gama media. Dado que están limitados en su posibilidad de ampliación, su potencia de procesamiento es un poco superior a los PLC compactos de gama baja.

Autómatas Modulares

Son los Autómatas programables de gama alta, están constituidos con elementos modulares que permiten una gran flexibilidad en su comunicación.

Esta organización modular permite una gran flexibilidad de configuración para las necesidades del usuario, así como un diagnóstico y mantenimiento fácil. Si algún módulo falla, puede ser rápidamente sustituido. En cambio, en un autómata compacto si uno de los módulos falla, tiene que ser remplazado todo el autómata.

Las posibilidades que ofrecen los autómatas programables tienen una gran envergadura en todos los campos de la automatización, ya que evolucionan día a día.¹³

1.6.3 FUNCIONES DE UN PLC

Entre las funciones que cumple un PLC se encuentran:

- Detección.- De las variables de los sistemas ya sean análogas o digitales.

¹³ Ramón, P. M (2002). *Ingeniería de automatización industrial* (pp. 19-22). México: Alfaomega.

- Mando.- Comanda mediante las salidas a los actuadores del proceso.
- Dialogo Hombre Máquina.- Permite la visualización y almacenamiento de variables del proceso mediante SCADA.
- Mantener un diálogo con los operadores de producción, obedeciendo sus consignas e informarles del estado del proceso.- Permite la visualización y control de los procesos mediante HMI.
- Programación.- Generación de programas de una manera rápida y fácil.
- Para introducir, elaborar y cambiar el programa de aplicación del autómeta.- Tanto con el proceso parado como con el proceso en funcionamiento.

1.6.4 CAMPOS DE APLICACIÓN

El PLC por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución del hardware y software amplía constantemente este campo para poder satisfacer las necesidades que se detectan en el espectro de sus posibilidades reales.

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.

Sus reducidas dimensiones, la extremada facilidad de su montaje, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, la modificación o alteración de los mismos, etc., hace que su eficacia se aprecie fundamentalmente en procesos en que se producen necesidades tales como:

- Espacio reducido.
- Procesos de producción periódicamente cambiantes.
- Procesos secuenciales.
- Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso.
- Maniobra de instalaciones:¹⁴

1.6.5 LIMITACIONES EN EL ENTORNO INDUSTRIAL

Los PLC son máquinas eléctricas diseñadas para trabajar en un entorno industrial hostil, sin embargo se ven afectados por factores mecánicos, físicos y químicos.

Entre los factores que afectan al buen funcionamiento del PLC tenemos:

a. Ambiente Físico y Mecánico

Son los que se presentan según el medio en el cual se los instale, entre los principales factores podemos encontrar:

- Vibraciones y Choques (afectan a contactos y soldaduras).
- Humedad > 80% (Produce condensaciones, acelera la corrosión).

Solución: (Aislamiento y estabilización térmica y de humedad).

¹⁴ Ramón, P. M (2002). *Ingeniería de automatización industrial (pp. 11-15)*. México: Alfaomega.

b. Polución Química

Son las sustancias suspensas en el ambiente, las cuales mediante su precipitación pueden dañar gravemente a los equipos, entre las principales sustancias peligrosas podemos encontrar:

- Gases corrosivos.
- Vapores de Hidrocarburos.
- Minerales – corrosiones en circuitos, potenciales, cortocircuitos.

Solución: Aislamiento en cajas estancas y barnizado de circuitos impresos.

c. Perturbaciones Eléctricas

F.e.m generadas por temperaturas, reacciones químicas, interferencias electromagnéticas – lecturas erróneas en entradas y evaluación aleatoria de la lógica de control.

Solución = Protección electromagnética, mediante la implementación de filtros.¹⁵

1.7 RSLOGIX Y RSLINX

1.7.1 RSLOGIX

RSLogix 500 es el software destinado a la creación de los programas para los PLC's de Allen Bradley, en lenguaje de esquema de contactos o también llamado lógico de escalera (*Ladder*).

¹⁵ <http://isa.uniovi.es/docencia/iea/teoria/plc.pdf>

Existen diferentes partes dentro de la aplicación, las más importantes son: el editor Ladder, el panel de resultados (donde se genera la lista de errores por medio del verificador de proyectos) y el árbol de proyectos mediante el cual se manejan todas las posibilidades existentes.

a. Componentes de la ventana de RSlogix

El programa Rslgix presente varios elementos que facilitan su configuración y su uso. Cuando se trabaja en Rslgix se puede visualizar los diferentes elementos (Figura 1.19).

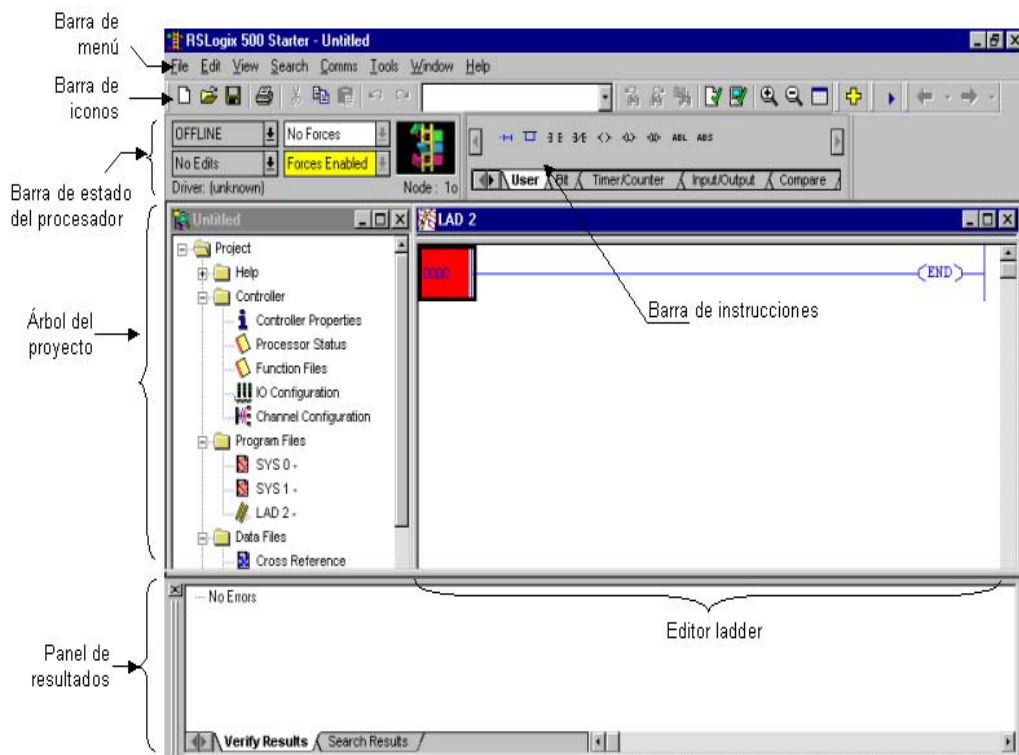


Figura 1.19 Descripción de componentes de RS Logix 500

Fuente: Directa






Elaborado por: Investigador

b. Elementos de la programación

La barra de instrucciones ofrece elementos necesarios para la programación (se puede encontrar timer, comparadores, controladores PID, entre otras), gracias a todos estos RSLogix se convierte en una plataforma sólida en lo que se refiere a generación de programas.

Los elementos más comunes al momento de programar son los mencionados en las Tablas 1.2, 1.3 y 1.4.¹⁶

Tabla 1.2 Elementos de programación de un PLC en lenguaje escalera

Instrucción	Nombre	Descripción
	XIC Contacto Abierto	Funciona con una entrada o con un bit del programa, este permanece normalmente abierto hasta que cambie de estado la entra o el bit.
	XIO Contacto Cerrado	Funciona con una entrada o con un bit del programa, este permanece normalmente cerrado hasta que cambie de estado la entra o el bit.
	OTE Bobina	Esta se designa con un bit del sistema o una salida digital del controlador, esta cambia de estado cuando cumple con las condiciones del programador.
	OTL Bobina con Enclavamiento	Funciona como la OTE, su diferencia radica en que una vez activada necesita que lo desactiven con una OTU.
	OTU Bobina para des enclavamiento	Sirve para desactivar la OTL.

Fuente: Allen Bradley; Manual de programación RSLogix 500

Elaborado por: Investigador

¹⁶ <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/2674/1/36068-1.pdf>

Tabla 1.3 Tipos de datos para la programación de PLC en lenguaje escalera

Tipo de dato	Descripción
T4 Temporizador	Acumulador de tiempo y presenta el valor del estado en bits.
C5 Contador	Genera un acumulador y presenta el valor del estado en bits.
R6 Control	Histórico largo, posición o estado de bits específicos, la instrucción requiere de un registro y una secuencia.
N7 Entero	Tipo de dato utilizado para guardar un valor numérico o bit de información.

Fuente: Allen Bradley; Manual de programación RSLogix 500

Elaborado por: Investigador

Tabla 1.4 Nomenclatura de marcas para programación en RSLogix 500

Tipo	Descripción
O0	Marca de salida de los terminales del controlador.
I1	Marca de entrada de los terminales del controlador
S2	Marcar de control de operación de función, control y operación de programación.
B3	Relé lógico interno

Fuente: Allen Bradley; Manual de programación RSLogix 500

Elaborado por: Investigador

1.7.2 RSLINX

RSLinx es un sistema operativo de red (*Network Operating System*) que se encarga de regular las comunicaciones entre los diferentes dispositivos de la red. Proporciona el acceso de los controladores Allen-Bradley a una gran variedad de aplicaciones de Rockwell Software, tales como RSLogix 500.

En el mercado podemos encontrar distintas versiones como Gateway (Figura 1.20), Lite, entre otras, estas nos ofrecen diferentes características.

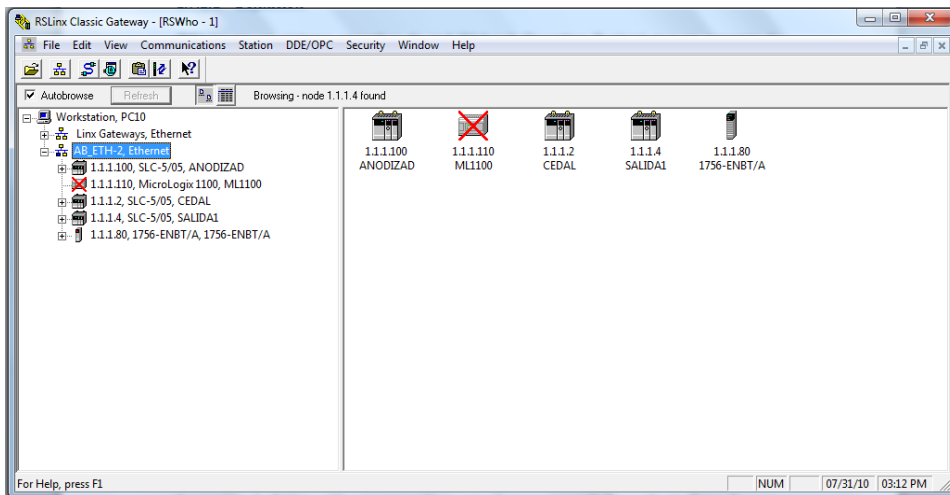


Figura 1.20 RSLinx Classic Gateway
Fuente: Investigación de campo Empresa CEDAL S.A

a. Tipos de RSLinx Classic

RSLinx Classic está disponible en cinco versiones. En función de la versión que ejecute, es posible que algunas funciones estén o no operativas.

La versión de RSLinx Classic que está ejecutando aparece en la barra de título en la parte superior de la ventana principal. Si se inicia una versión de RSLinx Classic sin los archivos de activación, se ejecuta como RSLinx Classic Lite.

RSLinx Classic Lite

RSLinx Classic Lite ofrece las funciones mínimas necesarias para que sea compatible con RSLogix y RSNetWorx. Esta versión no está disponible

comercialmente sino que viene junto con productos que requieren solamente un acceso directo a los controladores de red de RSLinx Classic. Esta versión no admite OPC, DDE, ni la interfaz de programación de aplicaciones C (API) publicada de RSLinx Classic.

RSLinx Classic Single Node

RSLinx Classic Single Node incluye las funciones necesarias para ofrecer servicios de comunicación para todos los productos de Rockwell. Es compatible con las interfaces OPC y DDE, con un único dispositivo. No es compatible con las aplicaciones desarrolladas para la interfaz de programación de aplicaciones C (API) de RSLinx Classic ni con controladores directos de aplicaciones HMI.

RSLinx Classic OEM

RSLinx Classic OEM incluye las funciones necesarias para ofrecer servicios de comunicación para todos los productos de Rockwell Software. Admite clientes OPC y DDE para tantos dispositivos como desee. También admite las aplicaciones desarrolladas para la Interfaz de aplicaciones C (API) de RSLinx.

RSLinx Classic Gateway

RSLinx Classic Gateway conecta a los clientes en redes TCP/IP haciendo que las comunicaciones basadas en RSLinx Classic lleguen a cada rincón de la empresa. Los productos de configuración y programación como RSLogix y RSNetWorx utilizan RSLinx Classic Lite o superior con un controlador de dispositivos remotos vía Linx Gateway configurado para comunicarse con RSLinx Classic Gateway. Las aplicaciones VB/VBA y HMI remotas, entre las que se incluye Microsoft Office, pueden utilizar

conectividad OPC remota para comunicarse con RSLinx Classic Gateway a fin de recopilar datos. Esto permite que varios equipos distribuidos recopilen datos aunque no tengan instalado RSLinx Classic.

RSLinx Classic para FactoryTalk View

Si se ha instalado RSLinx Classic Lite (sin activación) en un equipo que tiene FactoryTalk View SE/ME, el equipo utilizará la licencia de FactoryTalk View para iniciar como RSLinx Classic para FactoryTalk View.

b. Descripción de RSWho

RSWho es la ventana principal de RSLinx Classic que muestra las redes y dispositivo en un estilo similar al de Windows Explorer. En RSWho se puede acceder a una variedad de herramientas de configuración y supervisión.

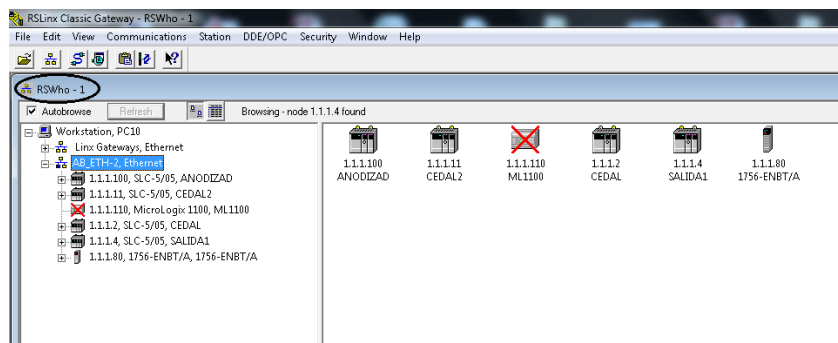


Figura 1.21 (RSWho) Ventana principal de RSLinx

Fuente: Investigación de campo Empresa CEDAL S.A

El panel izquierdo de RSWho, mostrado en la Figura 1.21, es el control de árbol, que muestra las redes y dispositivos. El panel derecho es el control de lista, que muestra todos los miembros de una recopilación.

c. Conectividad (OPC)

Es un estándar de comunicación basado en la tecnología OLE de Microsoft que ha sido desarrollado y optimizado por OPC Foundation, un grupo de compañías industriales y fabricantes al que pertenece Rockwell Automation. El objetivo de esta agrupación es proporcionar un mecanismo de intercambio industrial estándar entre los dispositivos de la planta y las aplicaciones cliente. RSLinx Classic es un servidor compatible con OPC que cuenta con las interfaces necesarias para que una aplicación cliente OPC pueda acceder a los mismos datos que otros servidores compatibles con OPC.

d. Intercambio dinámico de datos (DDE)

El intercambio dinámico de datos (DDE) es un protocolo de comunicación estándar entre aplicaciones incorporado en los sistemas operativos de Microsoft Windows y compatible con muchas aplicaciones que se ejecutan en Windows. DDE extrae datos de una aplicación y los transfiere a otra. Esto permite que los programas de Windows compatibles con DDE intercambien datos entre ellos.

Una aplicación cliente puede intercambiar datos con una aplicación servidor especificando una aplicación, un tema y un ítem. DDE funciona como una conversación entre dos personas. Las personas representan las diferentes aplicaciones que se ejecutan en Windows y los datos que comparten en aquello de lo que hablan.

1.7.3 SENSORES Y ACTUADORES

Existen una gran cantidad de sensores que cumplen la función de medición de temperatura, los cuales trabajan en rangos de temperatura

diferentes y ofrecen características que les hace aplicables en diferentes procesos. Entre los sensores más aplicables en la industria tenemos las termocuplas.

a. Termopar

El termopar (Figura 1.22) se basa en el efecto descubierto Seebeck en 1821, de la circulación de corriente de un circuito cerrado formado por dos metales diferentes cuyas uniones (unión de medida o caliente y unión de referencia o fría) se mantienen a distintas temperaturas.

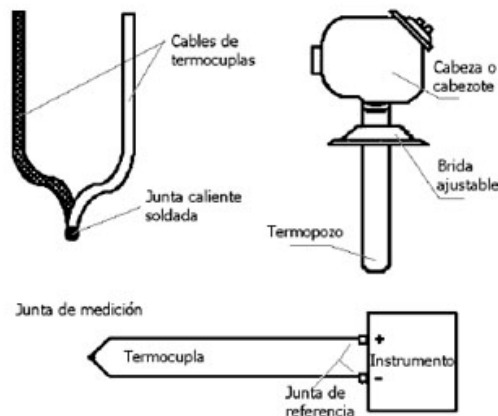


Figura 1.22 Funcionamiento de un termopar

Fuente: CREUS, A. (2006). *Instrumentación Industrial*. México: Alfaomega.

Esta circulación de corriente obedece a dos efectos termoeléctricos combinados, el efecto Peltier (año 1834) que provoca la liberación o adsorción de calor de dos metales distintos cuando una corriente circula a través de la unión y el efecto Thomson (año 1854) que consiste en la liberación o absorción de calor cuando una corriente circula a través de un metal homogéneo en el que existe un gradiente de temperaturas.¹⁷

¹⁷ CREUS, A (2006). *Instrumentación Industrial* (pp. 246). México: Alfaomega.

En Instrumentación industrial, los termopares son ampliamente usados como sensores de temperatura. Son económicos, intercambiables, tienen conectores estándar y son capaces de medir un amplio rango de temperaturas. Su principal limitación es la exactitud ya que los errores del sistema inferiores a un grado Celsius son difíciles de obtener.

b. Funcionamiento de una Termocupla

El funcionamiento de una termocupla se basa en que un termoelemento (termopar) genera una tensión eléctrica proporcionada a la temperatura a la cual es expuesta de punta (unión) del termopar.

La tensión eléctrica depende además de la temperatura, del tipo de termocupla y es aproximadamente de 0 a 55 mV. Esta señal se transmite mediante un cable compensador a un equipo indicador o procesador, el rango de temperatura de las termocuplas varía según el tipo de termocupla siendo diferente las aplicaciones para cada una de estas.

c. Tipos de termopares

Se pueden encontrar diferentes tipos de termocuplas, entre las principales tenemos:

- Tipo K (Cromo (Ni-Cr) Chromel / Aluminio (aleación de Ni -Al) Alumel): con una amplia variedad de aplicaciones, está disponible a un bajo costo y en una variedad de sondas. Tienen un rango de temperatura de -200°C a $+1.372^{\circ}\text{C}$ y una sensibilidad $41\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ aprox. Posee buena resistencia a la oxidación.

- Tipo E (Cromo / Constantán (aleación de Cu-Ni)): No son magnéticos y gracias a su sensibilidad, son ideales para el uso en bajas temperaturas, en el ámbito criogénico. Tienen una sensibilidad de $68 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ y un rango de -270 a $1000 \text{ }^\circ\text{C}$
- Tipo J (Hierro / Constantán): debido a su limitado rango, el tipo J es menos popular que el K. Son ideales para usar en viejos equipos que no aceptan el uso de termopares más modernos. El tipo J no puede usarse a temperaturas superiores a 760°C ya que una abrupta transformación magnética causa un desajuste permanente. Tienen un rango de -40°C a $+750^\circ \text{C}$ y una sensibilidad de $\sim 52 \mu\text{V}/^\circ \text{C}$. Es afectado por la corrosión.
- Tipo T (Cobre / Constantán): ideales para mediciones entre -200 y $260 \text{ }^\circ\text{C}$. Resisten atmósferas húmedas, reductoras y oxidantes y son aplicables en criogenia. El tipo termopares de T tiene una sensibilidad de cerca de $43 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$.
- Tipo N (Nicrosil (Ni-Cr-Si / Nisil (Ni-Si)): es adecuado para mediciones de alta temperatura gracias a su elevada estabilidad y resistencia a la oxidación de altas temperaturas, poseen un rango de -200 a 1350 y no necesita del platino utilizado en los tipos B, R y S que son más caros.¹⁸

d. Precauciones y consideraciones al usar termopares

La mayor parte de los problemas de medición y errores con los termopares se deben a la falta de conocimientos del funcionamiento de los termopares, entre los principales problemas que se dan en la implementación de los termopares constan:

¹⁸ http://www.sapiensman.com/medicion_de_temperatura/termocuplas.htm

e. Problemas de conexión

La mayoría de los errores de medición son causados por uniones no intencionales del termopar. Se debe tener en cuenta que cualquier contacto entre dos metales distintos creará una unión. Si lo que se desea es aumentar la longitud de las guías, se debe usar el tipo correcto del cable de extensión.

Así por ejemplo, el tipo K corresponde al termopar K. Al usar otro tipo se introducirá una unión termopar. Cualquiera que sea el conector empleado debe estar hecho del material termopar correcto y su polaridad la adecuada. Lo más correcto es emplear conectores comerciales del mismo tipo que el termopar para evitar problemas.

Resistencia de la guía

Para minimizar la desviación térmica y mejorar los tiempos de respuesta, los termopares están integrados con delgados cables. Esto puede causar que los termopares tengan una alta resistencia, la cual puede hacer que sea sensible al ruido y también puede causar errores debidos a la resistencia del instrumento de medición. Una unión termopar típica expuesta con 0,25 mm. Tendrá una resistencia de cerca de 15 ohmios por metro. Si se necesitan termopares con delgadas guías o largos cables, conviene mantener las guías cortas y entonces usar el cable de extensión, el cual es más grueso, (lo que significa una menor resistencia) ubicado entre el termopar y el instrumento de medición.

Des-calibración

La des-calibración es el proceso de alterar accidentalmente la conformación del cable del termopar. La causa más común es la difusión

de partículas atmosféricas en el metal a los extremos de la temperatura de operación. Otras causas son las impurezas y los químicos del aislante difundiéndose en el cable del termopar. Si se opera a elevadas temperaturas, se deben revisar las especificaciones del aislante de la sonda.

Ruido

La salida de un termopar es una pequeña señal, así que es susceptible de error por ruido eléctrico. La mayoría de los instrumentos de medición rechazan cualquier modo de ruido (señales que están en el mismo cable o en ambos) así que el ruido puede ser minimizado al retorcer los cables para asegurarse que ambos recogen la misma señal de ruido. Si se opera en un ambiente extremadamente ruidoso, es necesario considerar usar un cable de extensión protegido. Si se sospecha de la recepción de ruido, primero se deben a pagar todos los equipos sospechosos y comprobar si las lecturas cambian.¹⁹

¹⁹ <http://es.wikipedia.org/wiki/Termopar>

CAPÍTULO II

2. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

2.1 ANÁLISIS DEL SISTEMA ACTUAL

2.1.1 CICLO DE AGUA

En el proceso de tratamiento de agua de CEDAL S.A. el ciclo del agua consta de dos partes, la primera que corresponde a la adquisición y almacenamiento de agua en la cisterna principal y la segunda referida al tratamiento previo que se da al agua para que sea apta para ser usada en sus diferentes aplicaciones.

a. Sistema de adquisición y almacenamiento

La adquisición del agua se realiza a través de bombas centrifugas verticales, que son encargadas de mantener constantemente el nivel de agua de las cisternas.

En la Figura 2.1 se puede observar la cisterna de almacenamiento principal de agua.

El agua se toma de un pozo subterráneo, por lo que tiene alto contenido de minerales e impurezas.



Figura 2.1 Cisterna de adquisición de agua
Fuente: Investigación de campo Empresa CEDAL

b. Tratamiento del agua

El agua que se utiliza es considerada como agua de procesos, por lo que tienen que cumplir con algunos parámetros de dureza, nivel de contaminación y partículas en suspensión.

Los parámetros a controlarse en el agua, para que pueda ser usada con normalidad son:

- Dureza
- PPM
- PH
- Temperatura, y
- Otras

Para el sistema de enfriamiento CHILLER-INTERCAMBIADORES, la empresa consta con dos equipos encargados de tratar el agua, para que tenga las características necesarias para ser utilizada.

Los sistemas para tratamiento del agua son:

- El sistema de Ablandadores
- El sistema de Osmosis

Sistema de Ablandadores

Cumplen la función de reducir componentes del agua como el Calcio y Magnesio (Figura 2.3), que son los responsables de la dureza del agua, lo que produce que sustancias como el jabón y otras, no se disuelvan correctamente, siendo esto el motivo de que se taponen las tuberías que transportan el líquido.

El ablandador de agua, es un depósito de minerales que está lleno con granos de "poliestireno", llamados también resina o zeolita. Los granos están cargados eléctricamente negativos.

CEDAL S.A, posee 5 tanques ablandadores (Figura 2.2), los cuales cumplen el proceso de eliminar la presencia del Calcio y el Magnesio del agua.



Figura 2.2 Tanques Ablandadores
Fuente: Investigación de campo Empresa CEDAL

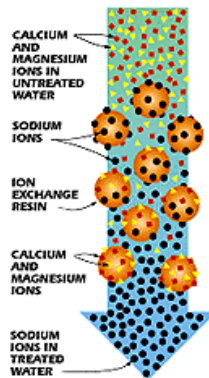


Figura 2.3 Funcionamiento de filtración de partículas de calcio y magnesio.

Fuente: Gráfica tomada de la dirección electrónica;

<http://www.hidrosoluciones.com.ar/ablandadores.php/> (15-05-2012; 12:30)

Sistema de Osmosis

El sistema de osmosis (Figura 2.4), utiliza un principio conocido como osmosis inversa, esto trata de que cuando dos sustancias se juntan se mezclan hasta llegar a formar otra sustancia con una concentración diferente. Al colocar una membrana osmótica entre estas dos sustancias el líquido de la sustancia de mayor concentración pasara a través de la membrana osmótica hasta que llegue un punto en que la presión de la sustancia de entrada sea igual a la presión osmótica, por lo que el paso de agua se restringe. El proceso de osmosis inversa, trata de aumentar la presión en el lado de la sustancia con mayor cantidad de sólidos, obligando a que el agua pase por la membrana (filtros de osmosis), logrando de esta manera limpiar el agua de las partículas que están suspendidas en ella.

Realizado estos procesos, el agua está en condiciones de ser utilizada en los diferentes procesos de la industria. El agua ablandada y filtrado por sistema de osmosis y los ablandadores se distribuye en las diferentes cisternas, la cisterna del chiller almacena el agua que va a ser usada por el sistema de enfriamiento CHILLER -INTERCAMBIADORES.



Figura 2.4 Sistema de Osmosis

Fuente: Investigación de campo Empresa CEDAL

2.1.2 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DEL AGUA DE PROCESO A TRAVÉS DEL CHILLER

Existen dos bombas centrífugas en la parte del Chiller (Figura 2.5), la primera es de 75 Hp (bomba principal), y la otra es la bomba de 50 Hp (bomba secundaria), estas son las encargadas de generar el caudal que cruza por los intercambiadores de los tanques naturales y de color, siguiendo su trayectoria hacia el chiller, terminando en la cisterna, por lo que el proceso cumple un ciclo cerrado.

El control de temperatura del líquido (Realizado por el Chiller), y el caudal de recirculación (que tiene relación con la frecuencia de funcionamiento de la bomba) son parámetros de vital importancia para el buen control del sistema.



Figura 2.5 Bomba de 75 y 50 HP

Fuente: Empresa CEDAL

El ciclo del sistema de enfriamiento CHILLER-INTERCAMBIADORES consta de diferentes etapas, entre ellas se puede encontrar:

- Generación de caudal por la bomba de 75Hp, o la bomba de 50Hp.
- Circulación del agua de procesos a través de los intercambiadores de calor.
- Circulación del agua de procesos a través del Chiller.
- Regreso del agua ablandada a la cisterna.

En la Figura 2.6 se muestra el diagrama completo del sistema de enfriamiento.

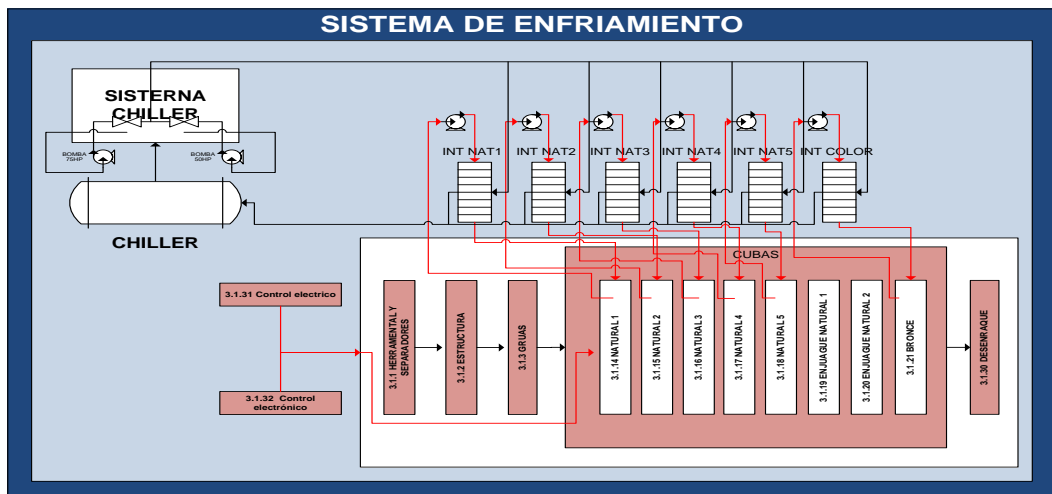


Figura 2.6 Sistema de enfriamiento

Fuente: Empresa CEDAL

Generación de caudal por las bombas.- Las bombas actualmente generan un caudal constante, ya que no constan con los equipos para la variación de su frecuencia, además estos equipos son de gran potencia, por lo que su arranque directo ocasiona desfases en las líneas de tensión.

Circulación por los intercambiadores.- En esta etapa se produce la transferencia de calor, por un lado circula el agua de la cisterna (lado frio), y por el otro cruza el agua de los tanques naturales y de color (lado caliente), la transferencia de calor que existe entre estas dos sustancias, por medio del intercambiador, es la que permitirá el control de la temperatura de los tanques. En la Figura 2.7 se puede observar los intercambiadores de los tanques naturales y de color.



Figura 2.7 Intercambiadores de calor de los tanques naturales

Fuente: Investigación de campo Empresa CEDAL

Circulación por el Chiller.- El agua de la cisterna después de pasar por los intercambiadores, se reúne en una tubería, que va hacia el Chiller (equipo de enfriamiento), bajando la temperatura del líquido hasta el seteado en el programa del dispositivo.

Regreso a la cisterna.- una vez enfriada el agua, esta retorna hacia la cisterna, completando el ciclo de circulación de agua.

a. El Chiller



Figura 2.8 Chiller

Fuente: Investigación de campo Empresa CEDAL

El Chiller (Figura 2.8) es un equipo utilizado en sistemas de enfriamiento, generalmente se lo encuentra en hoteles o en procesos dentro de la industria, es un equipo robusto diseñado para dar el máximo rendimiento con el mínimo consumo.

Su finalidad es el enfriamiento del agua o la sustancia que circule dentro de su sistema, hasta la temperatura seteada dentro de los parámetros de su configuración.

El enfriamiento se realiza por intercambio de calor a través de unas cámaras, por ellas atraviesan un conjunto de tuberías, por donde circula el refrigerante, mientras que la cámara es inundada del líquido a enfriarse de esta manera se genera el intercambio de calor, y por ende el enfriamiento del agua.

Los compresores de tornillo suben la presión del refrigerante, luego este cruza por la parte superior del Chiller donde se condensa obteniendo líquido a alta presión, el líquido a alta presión va a la válvula de expansión que es la encargada de estrangular el paso de refrigerante, por diferencial de presión producido, el refrigerante llega a tener temperaturas bajas, enfriando a su vez la tubería y esta al agua que se encuentra inundando la cámara.

b. Intercambiadores de Calor

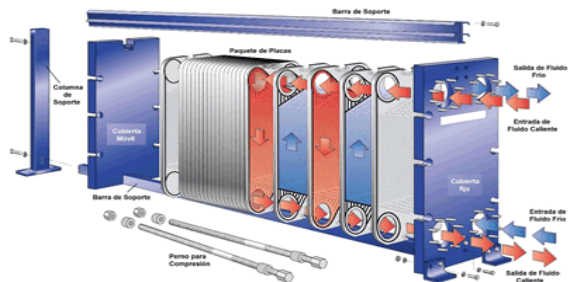
Aquí es donde existe la transferencia de calor entre las sustancias de los tanques naturales y de color, y el agua fría enviada por las bombas del sistema de enfriamiento CHILLER-INTERCAMBIADORES, los intercambiadores utilizados son de placas (Figura 2.9), su funcionamiento es similar al del radiador de un carro.

Están formados por un conjunto de placas, mientras que por una placa circula agua fría, por la placa siguiente cruza la solución acida de los tanques de anodizado y coloreado de aluminio.

Este proceso lo realiza sin que haya mezcla de las dos sustancias (en condiciones óptimas tanto de las placas como de los empaques) permitiendo enfriar las sustancias sin que exista contaminación en ninguna de las partes del sistemas de enfriamiento.



a)



b)

Figura 2: Intercambiador de Calor de Placas.

Figura 2.9 Intercambiador de calor Natural #1

Fuente: Investigación de campo Empresa CEDAL

2.1.3 PROCESO DE ANODIZADO

El sistema de anodizado (Figura 2.10) consta de los siguientes elementos:

- La cuba (Tanque)

- El Ánodo
- El Cátodo
- Solución (Acido sulfúrico al 15%)

Las cubas (Figura 2.11) contienen la solución de ácido sulfúrico al 15%, necesario para que se realice el proceso. El ánodo esta comprendido por los perfiles de aluminio y la barra principal del mismo material, mientras que los cátodos se encuentran en las partes laterales del tanque, siendo necesario que el área del cátodo sea aproximadamente igual o hasta la mitad del área del ánodo.

El proceso de anodizado, es un proceso de oxidación forzada, que forma una capa protectora de oxido de aluminio en los perfiles, mediante la aplicación de este proceso electrolítico se consigue mejorar las características de resistencia del material al medio ambiente, además debido a la porosidad del oxido de aluminio, permite con la aplicación de un proceso de electrocoloreado, o mediante el uso de pigmentos naturales o artificiales, dar diferentes tonos de acabado a los perfiles.

La empresa CEDAL posee cinco tanques naturales para realizar el proceso de anodizado de los perfiles de aluminio. La corriente utilizada para el proceso es de 10000 Amperios a 24 voltios DC, mediante la circulación de esta corriente se liberan partículas de oxígeno de la solución, las mismas que al reaccionar con las paredes de los perfiles de aluminio generan la capa de óxido de aluminio.

a) Problemas ocasionados por temperaturas fuera de rango

La generación de una buena capa de oxido de aluminio es fundamental para que los perfiles posean una buena calidad, generalmente se presentan dos tipos de problemas de la capa anódica y estos se dan por

temperaturas superiores e inferiores a las establecidas en el rango admisible.

Cuando se presentan temperaturas superiores a las admisibles, se obtiene una capa anódica muy débil, debido a que en temperaturas como 28°C, 29°C y mas, las porosidades se vuelven muy grandes ocasionando que las paredes de la capa anódica sean frágiles y se destruyan fácilmente, este fenómeno se puede evidenciar al momento de pasar la mano por un perfil que presente esta característica, sintiéndose un acabado superficial áspero y la presencia de desprendimiento de polvos.

Las temperaturas bajas como 19 °C, 18 °C, y menos ocasionan el problema inverso (mencionado en el párrafo anterior), dando como resultado la generación de una capa anódica, la cual posee porosidades pequeñas, lo que ocasiona problemas al momento de realizar el coloreado del aluminio, presentando perfiles con dobles tonalidades o que simplemente poseen colores opacos.

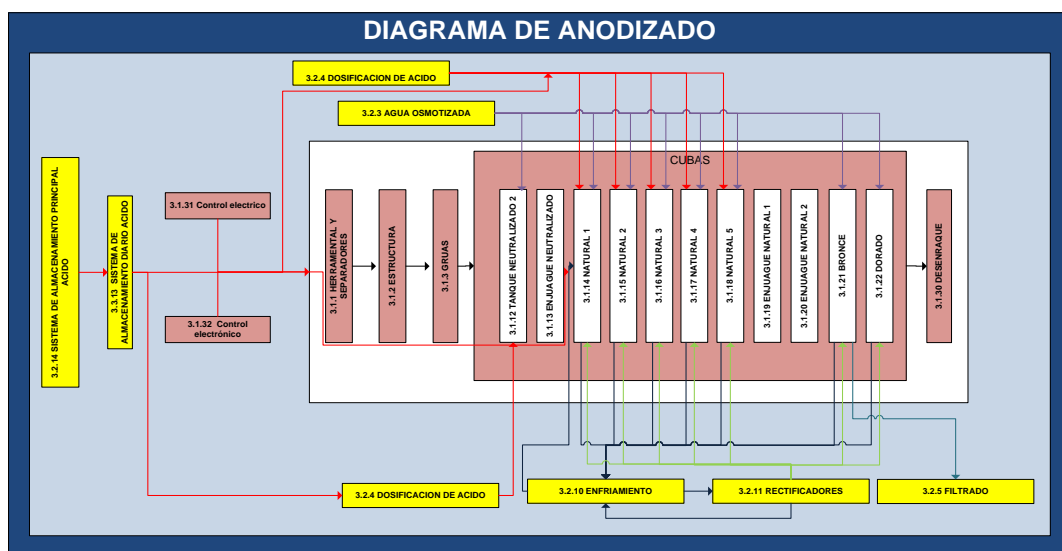


Figura 2.10 Diagrama del proceso de anodizado y coloreado

Fuente: Investigación de campo Empresa CEDAL

En la Figura 2.10 se muestra el diagrama general de anodizado, que comprenden desde el enganche los perfiles hasta el desenganche de los mismos.

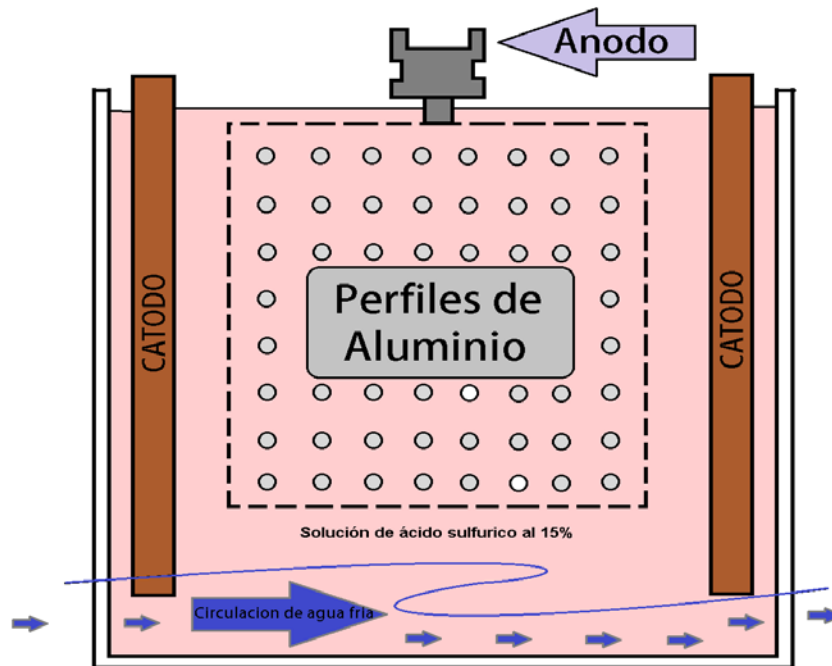


Figura 2.11 Intercambiador de calor Natural #1

Fuente: Investigador

La Figura 2.11 representa los elementos fundamentales, necesarios para realizar el proceso de anodizado.

2.1.4 PROCESO DE COLOREADO

El proceso de coloreado tiene como fin dar un acabado más estético a los perfiles, mejorando su presentación y aumentando su aplicación en la construcción de acabados arquitectónicos.

El color de los perfiles depende de algunos factores, en los que se mencionan los siguientes:

- Grosor de la capa anódica (mayor a 10 micras).

- Tiempo de inmersión de la carga.

CEDAL también posee dos tanques de color, uno de color bronce y otro de color dorado, siendo utilizados para dar diferentes acabados a los perfiles.

El proceso aplicado en el tanque de color es de electrocoloreado (Figura 2.12), trata de inmersión de los perfiles de aluminio en el cuba, que contiene una solución con colorantes que pueden ser orgánicos o inorgánicos, para luego mediante la ayuda de circulación de corriente permitir que se vayan depositando pequeñas partículas en los poros de la capa de oxido de aluminio, variando el color debido a la mayor o menor concentración de estas partículas.

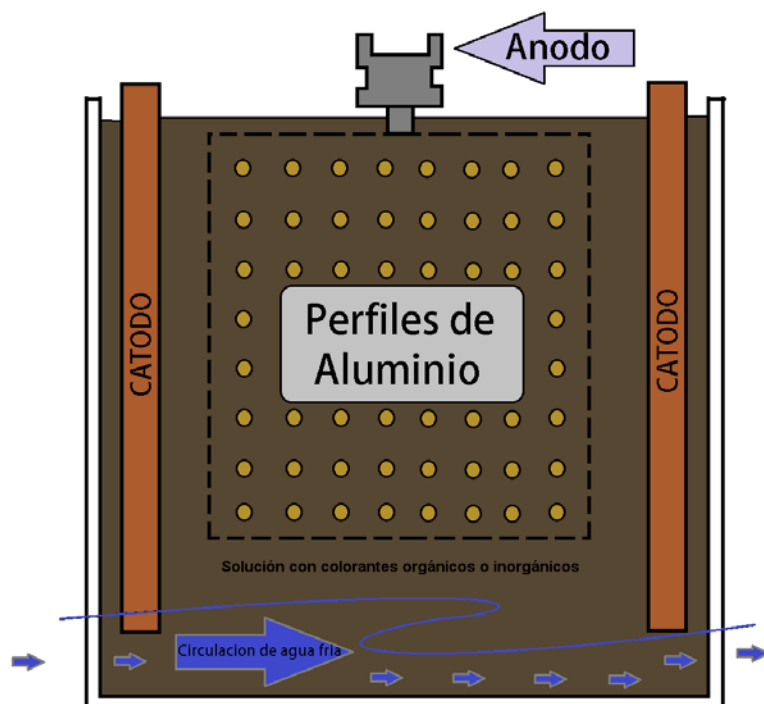


Figura 2.12 Elementos del proceso de electrocoloreado

Fuente: Investigador

Luego del proceso de coloreado de aluminio, los perfiles pasan por el tanque de sellado, en el cual se cierran las porosidades del óxido de aluminio, que es donde se almacena el color, como se puede ver en la Figura 2.13.

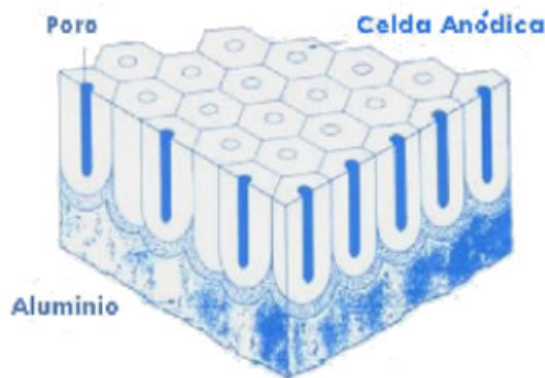


Figura 2.13 Capa porosa de óxido de aluminio.

2.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN

La automatización comprende las partes del sistema Chiller - Intercambiadores y tanque-intercambiadores. En esta sección se detallan las funciones y las características de los equipos que se realiza la automatización.

2.2.1 INTRODUCCIÓN

El proceso de enfriamiento de los tanques naturales y de color, toma gran importancia en la elaboración de perfiles de calidad, por lo que el control de temperatura de los mismos es una problemática a solucionarse.

El control de temperatura se realiza mediante la circulación de agua fría (generada por una bomba centrífuga) a través de intercambiadores de calor, por los cuales también circulan las sustancias de los tanques

naturales y de color, la transferencia de calor se da sin que exista contacto entre las dos sustancias, permitiendo enfriar a los tanques naturales y de color sin que exista contaminación.

La regulación de temperatura de los tanques en el sistema de enfriamiento, se realiza a través de un control tipo On-Off, mediante la adquisición de un equipo de enfriamiento (Chiller), y unos variadores de frecuencia Power Flex 40, la empresa busca mejorar el control de temperatura, por lo que se plantea el control PID (para las bombas centrífugas de los intercambiadores), como método de control individual, con la expectativa de disminuir el rango de variación de temperatura.

2.2.2 ELEMENTOS DE AUTOMATIZACIÓN

Estos comprenden a todos los elementos que conforman los sistemas de enfriamiento Chiller-Intercambiadores y Tanques-Intercambiadores, entre los principales se encuentran las bombas de los tanques naturales y de color, las bombas de 50HP y 75HP (ubicadas en las cisterna de almacenamiento de agua), el PLC Allen Bradley (Encargado del control del sistema de anodizado), entre otros.

a. Bombas del Chiller

Existen dos bombas centrífugas que se encargan de generar el caudal para la circulación a través de los intercambiadores de calor y el Chiller, la principal (Bomba centrífuga de 75 HP) y la secundaria (Bomba centrífuga de 50 HP) que funciona en caso de emergencia, cuando la primera se encuentre dañada o en mantenimiento.

En la Tabla 2.1 se puede observar los datos de placa de las bombas centrífugas de 75HP y 50HP.

Tabla 2.1 Datos de placa de las bombas de 75HP y 50HP

Equipo	Potencia (HP)	Amperaje (A)	Voltaje (V)	Velocidad (RPM)
Bomba de 50HP	50	62	460	1675
Bomba de 75HP	75	87	460	1785
Bomba de 10HP	10	12.5	460	1450

Fuente: CEDAL S.A.

Elaborado por: Investigador

b. Bombas del sistema de enfriamiento Tanques-Intercambiadores

Para el control de temperatura de los tanques de anodizado se hace circular la solución acida de los tanques a través de los intercambiadores de calor (tipo placa), por los cuales también circula el agua fría del sistema Chiller-Intercambiadores, con esto se logra que exista una transferencia de calor entre el líquido frío y el caliente, regulando de esta manera la temperatura de los tanques naturales y de color.

Las bombas que generan el caudal para la circulación de la solución acida por los intercambiadores son de 10 Hp, 5 de ellas utilizadas para los tanques naturales y la otra para el del tanque de color. En la Tabla 2.1 se encuentran los datos de placa de las bombas.

2.3 DISEÑO DEL HARDWARE

Dentro del desarrollo de proyectos uno de los pasos fundamentales, es el diseño del hardware, este permite conocer los requerimientos físicos del sistema (como sensores, actuadores, controladores, etc.).

2.3.1 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SENSORES Y ACTUADORES

El análisis de los requerimientos de las entradas y salidas del sistema, es un paso fundamental, para la selección de equipos que permitirán tener un mejor control del sistema, en la Tabla 2.2, Tabla 2.3. y Tabla 2.4, constan las variables de entrada, mientras que en la Tabla 2.5. y Tabla 2.6 se encuentran los elementos de salida, tanto del sistema Chiller-Intercambiadores y Tanques-Intercambiadores.

Tabla 2.2 Variables de entrada del sistema Chiller -Intercambiadores

VARIABLES DE ENTRADA	TIPO DE SENSOR	FUNCIÓN
Temperatura de la cisterna del Chiller.	Termocupla tipo T	Mide la temperatura del agua de procesos de la cisterna del Chiller.
Medidor de nivel del Chiller.	Flotador	Mide el nivel de la cisterna del Chiller para evitar que la bomba se trabaje en vacío.

Fuente: Directa

Elaborado por: Investigador

Tabla 2.3 Variables de entrada del sistema Tanques-Intercambiadores

VARIABLES DE ENTRADA	TIPO DE SENSOR	FUNCIÓN
Temperatura del Tanque Natural 1	Termocupla tipo T	Mide la temperatura del tanque del Natural 1
Temperatura del Tanque Natural 2	Termocupla tipo T	Mide la temperatura del tanque del Natural 2
Temperatura del Tanque Natural 3	Termocupla tipo T	Mide la temperatura del tanque del Natural 3
Temperatura del Tanque Natural 4	Termocupla tipo T	Mide la temperatura del tanque del Natural 4
Temperatura del Tanque Natural 5	Termocupla tipo T	Mide la temperatura del tanque del Natural 5

Fuente: Directa

Elaborado por: Investigador

Tabla 2.4 Variables de entrada para el control auxiliar del sistema Tanques-Intercambiadores

SEÑAL DE ENTRADA	TIPO DE ENTRADA	FUNCIÓN
Controlador del Tanque Natural 1	Digital AC	Señal del controlador de temperatura para el control auxiliar del Tanque Natural 1
Controlador del Tanque Natural 2	Digital AC	Señal del controlador de temperatura para el control auxiliar del Tanque Natural 2
Controlador del Tanque Natural 3	Digital AC	Señal del controlador de temperatura para el control auxiliar del Tanque Natural 3
Controlador del Tanque Natural 4	Digital AC	Señal del controlador de temperatura para el control auxiliar del Tanque Natural 4
Controlador del Tanque Natural 5	Digital AC	Señal del controlador de temperatura para el control auxiliar del Tanque Natural 5
Controlador del Tanque de Color	Digital AC	Señal del controlador de temperatura para el control auxiliar del Tanque de Color

Fuente: Directa

Elaborado por: Investigador

Mediante el correcto entendimiento de las necesidades del sistema se puede realizar una buena configuración, en la Tabla 2.4 se encuentra un resumen de las variables digitales de entrada, necesarias para poder realizar el control auxiliar del sistema.

Tabla 2.5 Variables de salida del sistema Chiller-Intercambiadores

Variable de Salida	Elemento de control	Función
Velocidad funcionamiento de la bomba de 75HP	Variador de Frecuencia Power Flex 700 (75HP)	Regula el caudal generado por la bomba centrífuga de 75HP del sistema Chiller -Intercambiadores
Funcionamiento de la bomba de 50HP	Arrancador Suave SMC Flex (50HP)	Regula el caudal generado por la bomba centrífuga de 50HP del sistema Chiller -Intercambiadores

Fuente: Directa

Elaborado por: Investigador

En la Tabla 2.5 se puede encontrar a las variables de salida, que comprenden a la bomba de 50 HP y 75HP.

Tabla 2.6 Variables de salida del sistema Tanques–Intercambiadores

Señal de Control	Elemento de control	Función
Frecuencia de funcionamiento (Bomba Natural1)	Variador de Frecuencia Power Flex 40 (Natural1)	Regula el caudal generado por la bomba centrífuga, según una señal de referencia de 0 a 10 Volt.
Frecuencia de funcionamiento (Bomba Natural2)	Variador de Frecuencia Power Flex 40 (Natural2)	Regula el caudal generado por la bomba centrífuga, según una señal de referencia de 0 a 10 Volt.
Frecuencia de funcionamiento (Bomba Natural3)	Variador de Frecuencia Power Flex 40 (Natural3)	Regula el caudal generado por la bomba centrífuga, según una señal de referencia de 0 a 10 Volt.
Frecuencia de funcionamiento (Bomba Natural4)	Variador de Frecuencia Power Flex 40 (Natural4)	Regula el caudal generado por la bomba centrífuga, según una señal de referencia de 0 a 10 Volt.
Frecuencia de funcionamiento (Bomba Natural5)	Variador de Frecuencia Power Flex 40 (Natural5)	Regula el caudal generado por la bomba centrífuga, según una señal de referencia de 0 a 10 Volt.
Frecuencia de funcionamiento (Bomba Color)	Variador de Frecuencia Power Flex 40 (Color)	Regula el caudal generado por la bomba centrífuga, según una señal de referencia de 0 a 10 Volt.

Fuente: Directa

Elaborado por: Investigador

En la automatización, es de vital importancia que la manipulación de los sistemas, se la realice de una manera fácil, permitiendo que los operadores operen la maquinaria sin complicaciones.

En la Tabla 2.7 y Tabla 2.8 se encuentra el listado de las entradas requeridas por los sistemas, mientras que en la Tabla 2.9 y Tabla 2.10 constan las salidas necesarias para la implementación de los sistemas.

Tabla 2.7 Entradas del sistema de control Chiller -Intercambiadores

ENTRADAS	Nombre variable	Tipo	Sensores - actuadores	Cantidad
	Temperatura cisterna del Chiller	Análogo	Termocupla T	1
	Amperaje (Variador)	Análogo	Variador	1
	Velocidad (Variador)	Análogo	Variador	1
	Nivel cisterna del Chiller	Digital	Flotador	1
	Rum (Variador)	Digital	Variador	1
	Falla (Variador)	Digital	Variador	1
	Falla (Arrancador)		Arrancador	1
	Falla Tierra (Arrancador)	Digital	Arrancador	1
	Prender Bomba de 75HP	Digital	Pulsador verde	1
	Apagar Bomba de 75HP	Digital	Pulsador rojo	1
	Prender Bomba de 50HP	Digital	Pulsador verde	1
	Apagar Bomba de 50HP	Digital	Pulsador rojo	1
	Selec_Bomb_75HP	Digital	Selector de 3 posiciones	1
	Selec_Bomb_50HP	Digital	Selector de 3 posiciones	1
	Paro de Emergencia	Digital	Pulsador con anclaje	1
			TOTAL ENTRADAS:	15

Fuente: Directa

Elaborado por: Investigador

Tabla 2.8 Entradas del sistema de control Tanque-Intercambiadores

ENTRADAS	NOMBRE VARIABLE	TIPO	SENSORES - ACTUADORES	Cantidad
	Temperatura tanque natural 1	Análogo	Termocupla T	1
	Temperatura tanque natural 2	Análogo	Termocupla T	1
	Temperatura tanque natural 3	Análogo	Termocupla T	1
	Temperatura tanque natural 4	Análogo	Termocupla T	1
	Temperatura tanque natural 5	Análogo	Termocupla T	1
	Temperatura tanque de Color	Análogo	Termocupla T	1
	Señal_Control_Temp Natural 1	Digital	Controlador de Temperatura Natural 1	1
	Señal_Control_Temp Natural 2	Digital	Controlador de Temperatura Natural 2	1
	Señal_Control_Temp Natural 3	Digital	Controlador de Temperatura Natural 3	1
	Señal_Control_Temp Natural 4	Digital	Controlador de Temperatura Natural 4	1
	Señal_Control_Temp Natural 5	Digital	Controlador de Temperatura Natural 5	1
	Señal_Control_Temp Color	Digital	Controlador de Temperatura Tanque de color	1
TOTAL ENTRADAS:			12	

Fuente: Directa

Elaborado por: Investigador

Tabla 2.9 Salidas del sistema de control Chiller -Intercambiadores

SALIDAS	Nombre variable	Tipo	Sensores - actuadores	Cantidad
	Frecuencia de funcionamiento (Variador)	Análogo	Variador Power Flex 700	1
	Start (Variador)	Digital	Variador Power Flex 700	1
	Stop (Variador)	Digital	Variador Power Flex 700	1
	Start (Arrancador)	Digital	Arrancador SMC Flex	1
	Stop (Arrancador)	Digital	Arrancador SMC Flex	1
	TOTAL SALIDAS:			5

Fuente: Directa

Elaborado por: Investigador

El conocer las necesidades del sistema es paso fundamental antes de realizar la selección de los equipos que se va a utilizar para la automatización.

Tabla 2.10 Salidas del sistema de control Tanques-Intercambiadores

	Nombre variable	Tipo	Sensores - actuadores	Cantidad
SALIDA	Frecuencia de funcionamiento (Variador Natural 1)	Análogo	Variador Power Flex 40	1
	Frecuencia de funcionamiento (Variador Natural 2)	Análogo	Variador Power Flex 40	1
	Frecuencia de funcionamiento (Variador Natural 3)	Análogo	Variador Power Flex 40	1
	Frecuencia de funcionamiento (Variador Natural 4)	Análogo	Variador Power Flex 40	1
	Frecuencia de funcionamiento (Variador Natural 5)	Análogo	Variador Power Flex 40	1
	Frecuencia de funcionamiento (Variador Tanque de Color)	Análogo	Variador Power Flex 40	1
	Start (Variador Natural 1)	Digital	Variador Power Flex 40	1
	Start (Variador Natural 2)	Digital	Variador Power Flex 40	1
	Start (Variador Natural 3)	Digital	Variador Power Flex 40	1
	Start (Variador Natural 4)	Digital	Variador Power Flex 40	1
	Start (Variador Natural 5)	Digital	Variador Power Flex 40	1
	Start (Variador Tanque de Color)	Digital	Variador Power Flex 40	1
	Fuente: Directa			TOTAL SALIDAS:
Elaborado por: Investigador				

En las tablas anteriores se puede observar las entradas y salidas requeridas por los sistemas Chiller-Intercambiadores y Tanque-Intercambiadores, mientras que en la Tabla 2.11 consta un resumen de los requerimientos necesarios para la implementación del sistema.

Tabla 2.11 Entradas y salidas de los sistemas

Sistema	Número de entradas		Número de salidas	
	Digitales	Análogas	Digitales	Análogas
Sistema chille-intercambiadores.	12	3	5	1
Sistema tanque-intercambiadores.	6	6	6	6

Fuente: Directa

Elaborado por: Investigador

Mediante el diseño, se puede conocer las necesidades físicas del sistema, por ende es un paso fundamental, previo a la selección de equipos de control y de potencia.

2.3.2 SELECCIÓN DE EQUIPOS DE CONTROL Y DE POTENCIA DEL SISTEMA CHILLER-INTERCAMBIADORES Y TANQUE-INTERCAMBIADORES

Dentro del diseño de hardware, una parte fundamental comprende la selección de equipos, tanto de control como de potencia, por lo que el conocimiento de las necesidades del sistema a automatizarse toma una gran importancia.

La selección de equipos para los sistemas de enfriamiento a) Chiller-Intercambiadores y b) Tanque-Intercambiadores se las tiene que realizar por separado, esto debido a que el sistema Chiller-Intercambiadores trata de una automatización completa de manual a automático, donde solo existen las bombas centrifugas, contactores y relés térmicos, mientras que

el sistema Tanques-Intercambiadores es una actualización en un control tipo on-off, que posee un PLC Allen Bradley SLC 500.

a. Equipos de Control

Los equipos de control son los que permiten modificar el estado de las variables de un sistema. Estos están compuestos por entradas y salidas, las entradas sirven para que el controlador pueda tener una percepción del medio, mientras que las salidas permiten realizar un control sobre el sistema.

Ubicación del tablero de control del sistema de anodizado

El tablero de control del sistema de anodizado, se encuentra ubicado cerca de los tanques de anodizado, por lo que existe una atmosfera ácida, lo que ocasiona que los equipos no funcionen con normalidad y reduce el tiempo de vida de los mismos. Por este motivo el tablero debe estar bien sellado y se debe evitar en lo posible el ingreso de aire contaminado, esto se logra poniendo filtros en el sistema de ventilación del tablero y dando mantenimiento constante a los elementos del mismo, para evitar que se vaya formando una capa acida que puede dañar los equipos.

Ubicación del tablero de control de las bombas del sistema de enfriamiento CHILLER - INTERCAMBIADORES.

Los tableros para el control de las bombas para el sistema de control de temperatura Chiller - Intercambiadores, se instalarán donde están los equipos de osmosis y los ablandadores.

En general no existe ninguna sustancia corrosiva en la atmosfera, sin embargo los tableros se encontrarán ubicados debajo de las tuberías que

transportan agua, por lo que el PLC, el VARIADOR, el ARRANCADOR SUAVE y los otros elementos del tablero, corren el riesgo que por una fuga o rompimiento de la tubería, se mojen los equipos, provocando deterioro o daño de los mismos.

a.1 Equipos de control Chiller - Intercambiadores

Uno de los controladores de gran aplicación en la automatización de procesos industriales es el PLC (Programmable Logic Controller). Existen una gran variedad de marcas y modelos, cada uno de ellos con características diferentes, por lo que la selección de un controlador adecuado, toma una gran importancia.

Selección de un PLC

En la industria se puede encontrar diferentes marcas y tipos de PLC, los cuales nos ofrecen grandes soluciones en la automatización. Allen Bradley es una industria sólida, líder en la producción de estos equipos.

En la selección de un PLC es preciso realizar un análisis de los requerimientos del sistema a automatizarse, siendo fundamental el conocer el tipo y el número de entradas y salidas necesarios, además la capacidad de procesamiento, el ambiente de trabajo, entre otras.

Como se puede observar en la Tabla 2.11 el sistema requiere de módulos de entradas digitales (por el número de entradas requeridas), módulos de entradas análogas (necesarias para adquirir datos de funcionamiento del motor), módulo de salidas digitales (para el control de la frecuencia de funcionamiento del motor) y módulo de termocuplas (para la adquisición de la temperatura de la cisterna del Chiller). Según los requerimientos del sistema observados, el PLC más factible para la automatización, es el

Allen Bradley 1100, debido a las prestaciones que presenta, su bajo costo y la existencia de un puerto Ethernet integrado.

PLC Allen Bradley 1100.- Son compactos pero con un gran rendimiento, se utilizan en automatizaciones de rango medio, toleran perturbaciones generadas en los ambiente industrial, presentan una estructura semicompacta, siendo expandibles hasta 4 módulos.

Tipo de CPU

Se debe seleccionar una CPU que conste con un número de entradas y salidas acorde a las necesidades del proceso. En los catálogos de Allen Bradley se encuentra una serie de modelos, donde varía el número de entradas, salidas y tipos de alimentación eléctrica, en la Figura 2.14 se muestra los parámetros de selección del CPU.

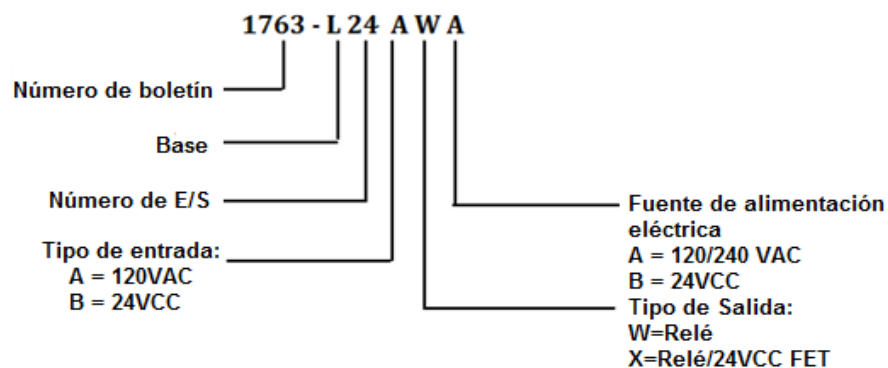


Figura 2.14 Esquema de selección de la CPU.

Fuente: Catalogo de selección del PLC Allen Bradley

Para el caso de la automatización del sistema Chiller-Intercambiadores, la alimentación disponible es de 110 Voltios, las entradas son de 24 Voltios DC, las salidas son de 110 Voltios AC y de 24 Voltios DC (Debido a que el variador trabaja con Voltaje DC y el arrancador con voltaje AC).

Según lo analizado en los párrafos anteriores, se tiene que la serie del CPU que se utilizará para realizar la automatización es 1763-L16BWA, esto debido a que cumple con todos los parámetros requeridos. En la Tabla 2.12 se puede observar la descripción de los parámetros del controlador.

Tabla 2.12 Configuración de la CPU

Número de Catalogo.	Voltaje de Línea	Número de entradas	Número de salidas
1763-L16BWA	120/240 VCA	(10) INT Digitales de 24 VDC (2) INT Análogas: Voltaje	(6) relés aislados individualmente

Fuente: Catalogo de selección del PLC Allen Bradley 1100.

Elaborado por: Investigador

El PLC Micrologix 1100 trabaja con la misma plataforma de expansión de E/S (1762), que del PLC Micrologix 1200 (Anexo D), esto le da una gran funcionalidad a un bajo costo y tamaño reducido, facilitando su aplicación en procesos industriales.

Módulos de expansión 1762

Se encuentran módulos de expansión, para la adquisición de variables y salidas del controlador, tanto digitales como analógicos, esta variedad nos permite poder seleccionar las mejores opciones para realizar nuestra automatización. En la tabla 2.13 se puede observar algunos de los módulos de expansión que nos ofrece Allen Bradley para el PLC micrologix 1100.

Tabla 2.13 Configuración del CPU

DESCRIPCIÓN	CÓDIGO
A-B AUT MICR 1200 40 I/O 14 120VAC IN /10 RELE OUT, DC	1762-L40BWA
A-B AUT MICR 1200 MODULO 4 ENTRADAS ANALOGAS	1762-IF4
A-B AUT MICR 1200 MODULO 4 SALIDAS ANALOGAS	1762-OF4
A-B AUT MICR 1200 MODULO 16 SALIDAS A RELE	1762-OW16
A-B AUT MICR 1200 MODULO 8 DC INPUTS	1762-IQ8
A-B AUT MICR 1200 MOD TERMOPAR TERMOPAR/MV DE 4 CANALES	1762-IT4

Fuente: Cotización de la llave (código: JF-261-AB-11)

Elaborado por: Investigador

Como se observa en la Tabla 2.11, el PLC Micrologix 1100 seleccionado requiere de algunos módulos de expansión, tales como módulo de entradas digitales, módulos de entradas análogas, módulo de salidas análogas y módulo de termocuplas.

Según lo requerido por el sistema, las entradas digitales son de 24 voltios DC, las entradas análogas son de 0 a 10 voltios, la salida análoga es de 0 a 10 voltios, y el tipo de sensor para realizar la toma de temperatura es la termocupla tipo T. Como se puede ver en el párrafo anterior, según las necesidades del sistema a automatizarse, los módulos seleccionados serían los indicados en la Tabla 2.14.

Tabla 2.14 Módulos de expansión del PLC Micrologix 1100 (Anexo D)

Código	Característica	Descripción
1762-IQ8	8 Entradas Digitales	Módulo de entradas digitales de 24 voltios DC.
1762-IF4	4 Entradas Análogas	Módulo de entradas análogas 0 a 10 voltios DC.
1762-OF4	4 Salidas Análogas	Módulo de salidas análogas 0 a 10 voltios DC.
1762-IT4	4 Entradas de Termocuplas	Módulo de termocuplas para la medición de temperatura.

Fuente: Catalogo de selección Micrologix 1100 Allen Bradley.

Elaborado por: Investigador

Fuente de Alimentación de un PLC

Para la selección de la fuente de alimentación del PLC Allen Bradley, se toma en cuenta que las entradas son de 24 Voltios DC, además el amperaje requerido de la fuente es aproximadamente de 3,89 A en su carga máxima, como se puede observar en la Tabla 2.15, siendo la fuente requerida de 24 voltios y 5 A de la serie SITOP de la marca siemens, esto debido a que cumple con las condiciones y es uno de los equipos estándar utilizados por la empresa en los diferentes equipos, además permite posibles expansiones a futuro.

Tabla 2.15 Consumo energético del sistema

Equipo	Carga
PLC Allen Bradley 1100 (1763-L16BWA)	2167 mA
1762-IQ8 (8 Entradas digitales)	250 mA
1762-IF4 (4 Entradas análogas)	250 mA
1762-OF4 (4 Salidas análogas)	165 mA
1762-IT4 (4 Entradas Termocuplas)	62,5 mA
Consumo externo	1000 mA
Total	3,89 A

b. Resumen de requerimientos de hardware del sistema Chiller - Intercambiadores y tanques-intercambiador para el montaje del control

Para la realización de la parte de control de los sistemas se necesitan los elementos mencionados en la Tabla 2.16.

Tabla 2.16 Elementos para el control del sistema Chiller -Intercambiadores y tanques-intercambiadores

Chiller -Intercambiadores		
ITEN	CANT	DESCRIPCIÓN
1	1	PLC Allen Bradley 1100 (1763-L16BWA)
2	1	Módulos de expansión de entradas digitales (1762-IQ8)
3	1	Módulos de expansión de entradas análogas (1762-IF4)
4	1	Módulos de expansión de salidas análogas (1762-OF4)
5	1	Módulos de expansión de termocuplas (1762-IT4)
6	1	Fuente SITOP de entrada 110 voltios AC y salida 24 voltios DC
7	12	Relés
8	12	Socket Relés
9	1	Cable PC-PLC
10	1	Computadora (Para programación)
11	80m	Cable termocupla tipo T
12	1	Módulo de expansión de salidas análogas, SLC 500 (1746-N08V)
13	12	Relés
14	12	Socket Relés
15	1	Computadora (Para programación)
16	80m	Cable termocupla tipo T

Fuente: Directa

Elaborado por: Investigador

c. Acondicionamiento del Tablero de control de anodizado

Para el control de los variadores de frecuencia, se va acondicionar el tablero de control de anodizado, el cual consta con un PLC SLC 500 sin

salidas análogas disponibles, por lo que es necesario la implementación de un módulo de salidas análogas de 0 a 10 voltios, para dar la señal de control a los variadores Power Flex 40.

Para la realización del acondicionamiento, es necesario hacer un análisis de los requerimientos de hardware del sistema versus sus partes libres, en la Tabla 2.17 se encuentran los requerimientos del sistema, y las partes libres del mismo.

Tabla 2.17 Análisis de los requerimientos del sistema

Requerimientos de hardware		Partes libres
Tipo de Entradas	# requerido	# Libres
Digitales	6	6
Termocuplas	6	6
Tipo de Salidas	# requerido	# Libres
Análogas (0 a 10 volt)	6	0
Digitales	6	6

Fuente: Directa

Elaborado por: Investigador

Como se puede observar en la Tabla 2.17 existen casi todas las salidas y entradas, para poder realizar la automatización, excepto las salidas análogas que son necesarias para dar las señales de referencia. Las salidas digitales, serán comandadas por las mismas utilizadas por el control anterior.

Para las entradas del control auxiliar, se utilizarán las sobrantes de los módulos de entradas digitales, de los módulos de entradas digitales del PLC SLC 500.

2.3.3 EQUIPOS DE POTENCIA

En el control automatizado de procesos, toman relevancia dos partes principales:

- La primera que comprende la parte de control y,
- La segunda que corresponde a la parte de potencia, ambas son fundamentales en el desarrollo de proyectos de automatización.

Para poder realizar una selección correcta de los equipos de potencia óptimos para el control de los procesos, se tiene que realizar un análisis previo del sistema, permitiendo dimensionar correctamente los equipos.

Como se puede ver en el tema **DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN** los equipos a controlarse son las bombas de 50HP y 75HP del sistema Chiller-Intercambiadores y las 6 bombas de 10 HP del sistema tanques-intercambiadores.

Para el caso de la bomba de 75HP del sistema Chiller-Intercambiadores, se desea que el caudal generado por la bomba sea variable, pudiendo regularse según la necesidad del proceso, evitando problemas en la tubería por un exceso de presión.

a. Selección del Variador de Frecuencia

Existen una gran cantidad de empresas que elaboran variadores de frecuencia, variando sus modelos según las prestaciones que ofrecen, existen equipos que pueden controlar desde 0.5 HP hasta motores de 30, 50 o más HP. En la Figura 2.15 se puede observar la familia de variadores Allen Bradley.



Figura 2.15 Familia de Variadores de Frecuencia Allen Bradley

Fuente: Catalogo de selección Allen Bradley.

Para la selección de un variador de frecuencia se tiene que considerar ciertos parámetros como:

- La potencia del motor a controlarse.
- El voltaje de alimentación.
- Voltaje de salida al motor.
- La aplicación del motor.
- Tipo de motor (sincrónicos, asincrónicos etc.).
- Ambiente de funcionamiento.

Mediante el conocimiento de estos parámetros, se puede realizar la selección correcta de los equipo de potencia, en la Tabla 2.18 constan las características de potencia del motor, tipo de motor, entre otras, necesarias para la selección del equipo.

Tabla 2.18 Características de los motores

Equipo	Bomba de 75HP	Bombas de 10HP
Potencia del motor	75HP	10HP
Voltaje de suministro o red	460 Voltios	460 Voltios
Voltaje nominal del motor	460 Voltios	460 Voltios
Aplicación	Bomba Centrifuga	Bomba Centrifuga
Tipo de motor	Asincrónico	Asincrónico
Ambiente de funcionamiento del variador	Industrial	Industrial, con una atmosfera ácida.

Fuente: Información de los motores de la Empresa CEDAL

Elaborado por: Investigador

Según lo expuesto en la Tabla 2.18, se ve que los equipos a seleccionar deben trabajar en un ambiente industrial. Allen Bradley es una de las pioneras en la elaboración de equipos de calidad y con un conjunto de prestaciones que los hacen la mejor opción al momento de la selección.

Dentro de la gama de los variadores de Allen Bradley, existen un conjunto de equipos que pueden ser aplicados según las características del proceso, para el caso de la selección, la potencia del motor a automatizarse es un dato fundamental, ya que la potencia del variador tiene que ser mayor o igual a la potencia del motor.

Otro dato importante es la aplicación que se va a dar al variador, ya que muchos de ellos aparte de venir capacitados para realizar el control de la frecuencia, también vienen con otras formas de control, como el control por torque.

Número de catálogo

Allen Bradley nos ofrece un conjunto de opciones, variando las características y capacidades de sus equipos según el modelo, en la Tabla 2.19 y 2.20 están los modelos de Power Flex 40 y Power Flex 700 respectivamente.

Tabla 2.19 Modelos de variadores trifásicos (380 a 460 Voltios) Power Flex 40

Capacidad nominal del variador				IP20, NEMA/UL Tipo abierto	Montaje en brida IP20
KW	HP	Corriente (A)	Tamaño Estructura	N.* de cat.	N.* de cat.
0.4	0.5	1.4	B	22B- D1P4N104	22B- D1P4F104
0.75	1	2.3	B	22B- D2P3N104	22B- D2P3F104
1.5	2	4	B	22B- D4P0N104	22B- D4P0F104
2.2	3	6	B	22B- D6P0N104	22B- D6P0F104
4	5	10.5	B	22B- D010N104	22B-D010F104
5.5	7.5	12	C	22B- D012N104	22B-D012F104
KW	HP	Corriente (A)	Tamaño Estructura	N.* de cat.	N.* de cat.
7.5	10	17	C	22B- D017N104	22B-D017F104
11	15	24	C	22B- D024N104	22B-D024F104

Fuente: Catalogo de selección de variadores de Allen Bradley.

Elaborado por: Investigador

Como se puede ver en la tabla 2.18 la potencia de los motores que funcionan para la recirculación de los tanques naturales es de 10HP, por consecuente el variador de la serie Power Flex 40 (Anexo D) es:

22B-D017N104

Tabla 2.20 Modelos de variadores Power Flex 700

Entrada 480 Voltios					# de cat.	Tamaño estructur a
Amperios de salida			HP servicio normal	HP servicio pesado		
Cont	1min	3 seg				
1.1	1.2	1.6	0.5	0.33	20BD1P1A0AYNAN C0	0
2.1	2.4	3.2	1	0.75	20BD2P1A0AYNAN C0	0
3.4	4.5	6	2	1.5	20BD3P4A0AYNAN C0	0
5	5.5	7.5	3	2	20BD5P1A0AYNAN C0	0
8	8.8	12	5	3	20BD8P1A0AYNAN C0	0
11	12.1	16.5	7.5	5	20BD011A0AYNAN C0	0
14	16.5	22	10	7.5	20BD014A0AYNAN C0	1
22	24.2	33	15	10	20BD022A0AYNAN C0	1
27	33	44	20	15	20BD027A0AYNAN C0	2
34	40.5	54	25	20	20BD034A0AYNAN C0	2
40	51	68	30	25	20BD040A0AYNAN C0	3
52	60	80	40	30	20BD052A0AYNAN C0	3
65	78	104	50	40	20BD065A0AYNAN C0	4.5
77(65)*	85(98)	116(130)	60	50	20BD077A0AYNAN C0	5.5
96(77)*	106(116)	144(154)	75	60	20BD096A0AYNAN C0	5.5
125(96)*	138(144)	163(168)	100	75	20BD125A0AYNAN C0	5.5

Fuente: Catalogo de selección de variadores de Allen Bradley.

Elaborado por: Investigador

Según la Tabla 2.1, la corriente nominal de la bomba de 75HP es de 85 Amp, considerando que en el proceso la bomba de 75HP, va a trabajar por intervalos de tiempo largos a su valor de corriente nominal, se tiene que el equipo que cumple con las condiciones para el funcionamiento es:

20BD096A0AYNANC0

b. Selección del Arrancador Suave

El arrancador suave es un equipo que se lo utiliza en el arranque de motores de potencias altas, su finalidad es la de disminuir el pico de corriente generado durante el arranque, consiguiendo alargar la vida útil del motor, evitando las bajas de tensión en la línea principal.

Para la selección se considera algunos puntos como la potencia, la corriente de funcionamiento, características del proceso, velocidad de arranque del motor, tipo de servicio del motor, entre otras. Una vez que se haya entendido el proceso y las necesidades que este presenta, se puede realizar la correcta selección del tipo de arrancador requerido.

En la industria una empresa líder en la producción de arrancadores suaves es Allen Bradley (Figura 2.16), ofreciendo equipos que son capaces de controlar el estado en las 3 líneas de alimentación de los motores trifásicos.



Figura 2.16 Familia de arrancadores suaves de Allen Bradley

Fuente: Catalogo de Selección de Arrancador Suave

Número del catálogo.

Para la correcta selección de arrancadores suaves, se tiene que tener en cuenta los datos mostrados en la Tabla 2.21.

Tabla 2.21 Características del motor de 50HP

DETALLE	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA
Equipo	Bomba de 50HP
Potencia del motor	50HP, trifásico
Voltaje de suministro o red	460 Voltios
Voltaje nominal del motor	460 Voltios
Aplicación	Bomba Centrífuga
Tipo de motor	Asincrónico
Ambiente de funcionamiento del variador	Industrial

Fuente: Directa

Elaborado por: Investigador

Según las características del motor y del sistema en el que se quiere implementar el arrancador, se realiza una correcta selección.

Allen Bradley ofrece un conjunto de opciones al momento de la selección de un equipo, en la Tabla 2.22, constan algunos de sus equipos que ofrecen para la automatización.

Tabla 2.22 Modelos de arrancadores suaves SMC Flex

Voltaje nominal (VCA)	Corriente del motor (A)	Max, Hp, 60Hz	Potencia de control	Tipo abierto motores conectados en línea.
				Cat. N _o
400/415/460	1...5	3	100...240 VCA, 50-60 Hz	150-F5NBD
			24 VCA/CC	150-F5NBR
	5...25	15	100...240 VCA, 50-60 Hz	150-F25NBD
			24 VCA/CC	150-F25NBR
	8.6...43	30	100...240 VCA, 50-60 Hz	150-F43NBD
			24 VCA/CC	150-F43NBR
	12...60	40	100...240 VCA, 50-60 Hz	150-F60NBD
			24 VCA/CC	150-F60NBR
	17...85	60	100...240 VCA, 50-60 Hz	150-F85NBD
			24 VCA/CC	150-F85NBR
	27...108	75	100...240 VCA, 50-60 Hz	150-F108NBD
			24 VCA/CC	150-F108NBR
	34...135	100	100...240 VCA, 50-60 Hz	150-F135NBR
			24 VCA/CC	150-F135NBR

Fuente: Catalogo de selección de arrancador suave SMC Flex.

Elaborado por: Investigador

De acuerdo a la Tabla 2.1, la corriente nominal de la bomba de 50HP es de 62 Amp, considerando que la aplicación del arrancador es para el control de una bomba centrifuga, el número de catálogo del equipo seria:

150-F85NBD (Anexo D)

Características del equipo

Las características físicas se detallan en la Tabla 2.23 y en la Figura 2.17 se encuentra la distribución de los pines de potencia del variador de frecuencia Power Flex 700.

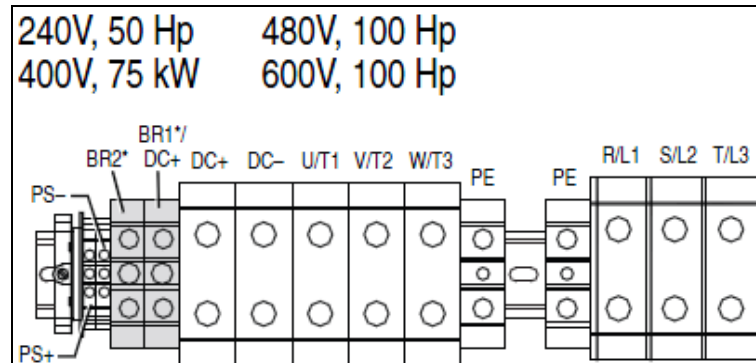


Figura 2.17 Grafico de distribución de pines de conexiones de potencia para el arrancador suave

Fuente: Manual de Usuario de Variador de Frecuencia Power Flex 700

Elaborado por: Investigador

Tabla 2.23 Características del Power Flex 700

CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN
Tipo de frame	5
Temperatura de funcionamiento	0-50 °C
Tipo de montaje	Montaje sobre tablero
Fuente de alimentación del ventilador	120 voltios
Terminales de conexión	Entrada de poder, DC+, DC-, BR1, 2PE, conexiones del motor.
Cables de conexión	Mínimo 12 AWG y Máximo 1/0 AWG
Posición de montaje	Horizontal
Voltaje de alimentación	460 voltios

Fuente: Manual de usuario 20b-um002 Allen Bradley.

Elaborado por: Investigador

2.3.4 AJUSTES Y CALIBRACIÓN

Entradas y salidas análogas

Las señales análogas de entrada y de salida se pueden setear para que funcionen con rangos de ± 10 voltios o de 0 a 20 mA, con unidades que varían en 0.001 tanto para voltaje y amperaje, los valores de variación de la frecuencia, están entre ± 400 Hz y ± 24000 RPM.

Conexión a tierra

En los variadores de frecuencia hay 3 puestas a tierra, dos de ellas utilizadas para conectar la tierra del motor y del tablero, y la otra utilizada para conectar a tierra la tarjeta de control.

El arrancador suave tiene una sola conexión a tierra, que se encuentra en la parte de las entradas del control.

Conexión al proceso

La instalación de todos estos equipos se lo realiza en un tablero, la comunicación en la parte del control se lo puede hacer mediante una conexión de RED o mediante cableado físico.

a. Elementos de protección física

Para la selección de los elementos de protección se escoge un conjunto de dispositivos como breaker y fusibles, que se encargan de proteger a los equipos en caso de sobrecargas. El dimensionamiento de las protecciones se lo realiza según los valores máximos de trabajo de los equipos.

Se puede encontrar los elementos de protección para la parte de potencia y de control, en la Tabla 2.24.

Tabla 2.24 Elementos de protección

Cantidad	Elemento de protección	Equipo a proteger	Amperaje (A)
1	Breaker trifásico	Breaker principal de los variadores Power Flex 40	125
6	Breaker trifásico	Power Flex 40	30
2	Breaker trifásico	Power Flex 700 y SMC Flex	100
1	Porta fusibles	Alimentación principal del tablero de control	5
1	Porta fusibles	PLC Micrologix 1100	2
2	Porta fusibles	Conexiones AC y DC del tablero de control.	2
1	Breaker trifásico	Transformador de 440 a 110 voltios.	6
1	Breaker monofásico	Ventilación del tablero de bombas del Chiller	2
1	Breaker bifásico	Ventilación del tablero de bombas de los intercambiadores y color	2

Fuente: Investigación de campo Empresa CEDAL

Elaborado por: Investigador

b. Requerimiento general del hardware

Definido el proceso y los diferentes elementos del cual dispone para hacer la automatización, en la Tabla 2.25 existe un resumen de los requerimientos generales de hardware para el sistema.

Tabla 2.25 Requerimientos generales del sistema

CANT	Descripción
2	Pulsador color Verde NA
2	Pulsador color Rojo NC
7	Interruptor de tres posiciones con contactos NA
2	Luz Verde indicadora (Tensión de 110 volt)
4	Luz Roja indicadora (Tensión de 110 volt)
1	Transformador de potencia de 1500VA voltaje de entrada 240/480 y en el secundario de 120/240 V
1	Fuente SITOP de voltaje, tensión de entrada 120/230, Salida 24 voltios DC.
1	Breaker trifásico 125 Amp
6	Breaker trifásico 30 Amp
1	Breaker trifásico 10 Amp
1	Porta fusibles 6 Amp
3	Porta fusibles 2 Amp
1	Breaker monofásico 4 Amp
1	Breaker bifásico 10 Amp
15	Relé de 110 voltios (SCHNEIDER ELECTRIC), 3NA y 3NC
6	Relé de 24 voltios (SCHNEIDER ELECTRIC), 3NA y 3NC
21	Bases de relés (SCHNEIDER ELECTRIC), 3NA y 3NC
1	Gabinete eléctrico 80 80 40
1	Gabinete eléctrico 80 200 40
30m	Cable de termocupla tipo T
100m	Cable apantallado Blender de 8 pares #22
200m	Cable Flexible 16 AWG color Azul
200m	Cable Flexible 16 AWG color Rojo
200m	Cable Sucre 4x12
1	PLC Allen Bradley 1100 (1763-L16BWA)
1	Módulos de expansión de entradas digitales (1762-IQ8)
1	Módulos de expansión de entradas análogas (1762-IF4)
1	Módulos de expansión de salidas análogas (1762-OF4)
1	Módulos de expansión de termocuplas (1762-IT4)
1	Módulo de expansión de salidas análogas, SLC 500 (1746-N08V)

Fuente: Directa

Elaborado por: Investigador

2.4 DISEÑO DEL SOFTWARE

El diseño del software del sistema está comprendido, por el dimensionamiento de las variables y las características del programa que se va realizar, también comprende la asignación de variables lógicas, tanto de salida como de entrada del sistema.

Para la programación en los PLC Allen Bradley 1100 y SLC 500, se utiliza el programa RSLogix 500.

2.4.1 ENTRADAS Y SALIDAS DEL SISTEMA

Es necesaria la recolección de datos del medio, mediante el almacenamiento de los estados de las entradas y salidas, en las variables de memoria del programa. En la Tabla 2.26 se encuentran las entradas y los registros utilizados para almacenarlas, tanto del sistema Chiller-Intercambiadores como del sistema tanques-intercambiadores, mientras que en la Tabla 2.27 se detallan las salidas y sus registros de los dos sistemas.

Tabla 2.26 Entradas de los sistemas de enfriamiento

Sistema Tanques-Intercambiadores					
	Nombre	IN	Tipo	Marca	Descripción
ENTRADAS	Temperatura Nat1	I:7.0	Entrada Análoga	N7:140	Termocupla utilizada para la medición del tanque natural 1
	Temperatura Nat2	I:7.1	Entrada Análoga	N7:141	Termocupla utilizada para la medición del tanque natural 2
	Temperatura Nat3	I:7.2	Entrada Análoga	N7:142	Termocupla utilizada para la medición del tanque natural 3

	Nombre	IN	Tipo	Marca	Descripción
ENTRADAS	Temperatura Nat4	I:7.3	Entrada Análoga	N7:143	Termocupla utilizada para la medición del tanque natural 4
	Temperatura Nat5	I:7.4	Entrada Análoga	N7:144	Termocupla utilizada para la medición del tanque natural 5
	Temperatura_Color	I:7.5	Entrada Análoga	N7:145	Termocupla utilizada para la medición del tanque de color
	Puls_cont_exter_nat1	I:2/9	Entrada Digital	B3:42/0	Señal externa del controlador de temperatura del tanque natural 1
	Puls_cont_exter_nat2	I:2/11	Entrada Digital	B3:42/1	Señal externa del controlador de temperatura del tanque natural 2
	Puls_cont_exter_nat3	I:2/12	Entrada Digital	B3:42/2	Señal externa del controlador de temperatura del tanque natural 3
	Puls_cont_exter_nat4	I:2/13	Entrada Digital	B3:42/3	Señal externa del controlador de temperatura del tanque natural 4
	Puls_cont_exter_nat5	I:2/14	Entrada Digital	B3:42/4	Señal externa del controlador de temperatura del tanque natural 5
	Puls_cont_exter_color	I:2/15	Entrada Digital	B3:42/5	Señal externa del controlador de temperatura del tanque de color

Sistema Chiller -Intercambiadores				
Nombre	IN	Tipo	Marca	Descripción
Sensor_Temp	I:4.0	Análoga	N10:100	Temperatura de la cisterna del Chiller
Velocidad Variador	I:2.0	Análoga	N7:100	Velocidad de funcionamiento de la bomba de 75HP
Corriente del Variador	I:2.1	Análoga	N7:101	Corriente de funcionamiento de la bomba de 75HP
Stop_Arran	I:0/0	Digital	B3:10/0	Señal de paro del arrancador
Start_Arran	I:3/7	Digital	B3:11/1	Señal de encendido del arrancador
Stop_Variad	I:0/4	Digital	B3:30/0	Señal de paro del variador
Start_variad	I:3/6	Digital	B3:31/2	Señal de encendido del variador
SELT_BOMB_50HP	I:3/2	Digital	B3:7/0	Selector de posición de funcionamiento bomba 50HP
SELT_BOMB_75HP	I:3/3	Digital	B3:7/1	Selector de posición de funcionamiento bomba 75HP
Falla_Arran	I:0/2	Digital	B3:4/2	Señal de falla del arrancador
Falla_tierra_ar ran	I:0/3	Digital	B3:4/3	Señal de falla a tierra de la conexión del arrancador
Run_Variad	I:0/5	Digital	B3:4/5	Variador en funcionamiento
Paro_Emerg	I:0/6	Digital	B3:4/6	Paro de emergencia del equipo
Falla_Variad	I:3/0	Digital	B3:4/7	Señal de falla del variador
Sensor_Nivel	I:3/1	Digital	B3:4/8	Señal de sensor de nivel de la cisterna del Chiller

Fuente: Directa

Elaborado por: Investigador

Como se observa en la tabla 2.26, existen unas entradas destinadas para el control auxiliar de las temperaturas de los tanques, los datos que

ingresan al PLC corresponden a los estados de los controladores de temperatura de cada tanque.

Tabla 2.27 Salidas de los sistemas de enfriamiento

Sistema Tanques-Intercambiadores					
SALIDAS	Nombre	IN	Tipo	Marca	Descripción
	Bomb_Elect_Nat1	O:3/0	Salida Digital	S/M	Señal de arranque para el variador, natural1
	Sal_Ana_bomba 1	O:8.0	Salida Análoga	N12:3	Salida análoga de referencia para frecuencia de trabajo del variador, natural1
	Bomb_Elect_Nat2	O:3/4	Salida Digital	S/M	Señal de arranque para el variador, natural2
	Sal_Ana_bomba 2	O:8.1	Salida Análoga	N12:13	Salida análoga de referencia para frecuencia de trabajo del variador, natural2
	Bomb_Elect_Nat3	O:3/8	Salida Digital	S/M	Señal de arranque para el variador, natural3
	Sal_Ana_bomba 3	O:8.2	Salida Análoga	N12:23	Salida análoga de referencia para frecuencia de trabajo del variador, natural3
	Bomb_Elect_Nat4	O:4/0	Salida Digital	S/M	Señal de arranque para el variador, natural4
	Sal_Ana_bomba 4	O:8.3	Salida Análoga	N12:33	Salida análoga de referencia para frecuencia de trabajo del variador, natural4
	Bomb_Elect_Nat5	O:4/0	Salida Digital	S/M	Señal de arranque para el variador, natural5
	Sal_Ana_bomba 5	O:8.4	Salida Análoga	N12:43	Salida análoga de referencia para frecuencia de trabajo del variador, natural5
	Bomb_Elect_Color	O:4/10	Salida Digital	S/M	Señal de arranque para el variador, tanque de color
	Sal_Ana_bomba 6	O:8.5	Salida Análoga	N12:53	Salida análoga de referencia para frecuencia de trabajo del variador, tanque de color

Sistema Chiller -Intercambiadores					
SALIDAS	Nombre	IN	Tipo	Marca	Descripción
	Out_Stop	O:0/3	Digital	B3:10/1	Salida de paro del arrancador
	Out_Start	O:0/1	Digital	B3:11/2	Salida de encendido del arrancador
	Out_Stop_Var	O:0/2	Digital	B3:40/1	Salida de paro del variador
	Out_Start_Var	O:0/0	Digital	B3:31/2	Salida de encendido del variador

Fuente: Directa

Elaborado por: Investigador

2.4.2 PROGRAMACIÓN SISTEMA DE ENFRIAMIENTO TANQUES-INTERCAMBIADORES

La programación del sistema de enfriamiento del sistema tanques-intercambiadores (Anexo B) se la realiza sobre un programa que era encargado de hacer un control de temperatura tipo ON-OFF, por esto en este paso se realizarán modificaciones en algunos bloques de programación (subrutinas) y se crearán otras subrutinas necesarias para poder implementar el control PID.

Secuencia principal del programa

Para realizar la automatización se utiliza el PLC SLC 500 que actualmente se encarga del control del sistema de anodizado, se deben realizar modificación del programa fuente y añadir o modificar bloques de programación.

Los bloques 2, 7 corresponden al bloque principal y a la adquisición de temperatura respectivamente, estos serán modificados, mientras que el bloque 14 y 15 son añadidos para realizar el control PID y el control auxiliar.

En el bloque dos consta la configuración de las entradas análogas, en él se efectúan el almacenamiento de los datos en un registro, además desde el bloque principal se manda a llamar a las subrutinas.

El bloque siete se encuentra la adquisición de la temperatura de los tanques naturales y el tanque de color, también se encuentra el acondicionamiento para que los valores de trabajo del PID (0 -16383), para que puedan ser visualizar en grados °F y °C.

El bloque 14 se encuentra dedicado al control de los variadores de frecuencia, aquí se ubica lo que comprende al control PID. El bloque 15 está comprendido por el tipo de control ON-OFF que funciona adicionalmente al control PID, este control se activa en caso de que presenten problemas en la adquisición de datos de las temperaturas.

Segundo Bloque de programación (Bloque Principal)

Esta parte es fundamental para el correcto funcionamiento de todo el sistema, aquí se configuran los módulos de las entradas análogas y el registro en el que se quiere que se realice su almacenamiento. También consta de las secuencias de las subrutinas, siendo llamadas cada una de ellas según su orden lo indique.

En la Figura 2.18 se muestra el conjunto de pasos que se realizan dentro del segundo bloque.

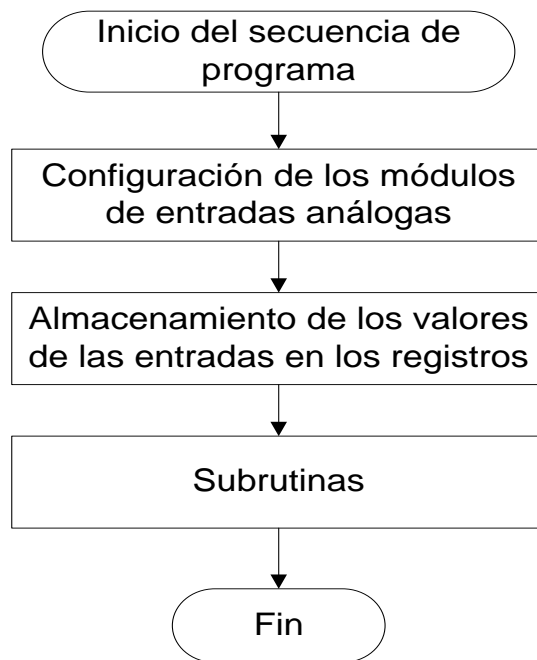


Figura 2.18 Flujograma del segundo bloque

Elaborado por: Investigador

Bloque # 7 del programa

Este bloque está comprendido de la adquisición de datos de temperatura de los tanques naturales y de color, además constan los escalamientos de los datos de temperatura en formato para control PID (0 - 16383), a datos en grados centígrados; esto para su visualización en el panel view y para el almacenamiento de los valores de temperatura en el histórico. También se realiza una comparación entre el valor de temperatura presente y los rangos admisibles del sistema. En la Figura 2.19, se muestra la secuencia de pasos de este bloque.

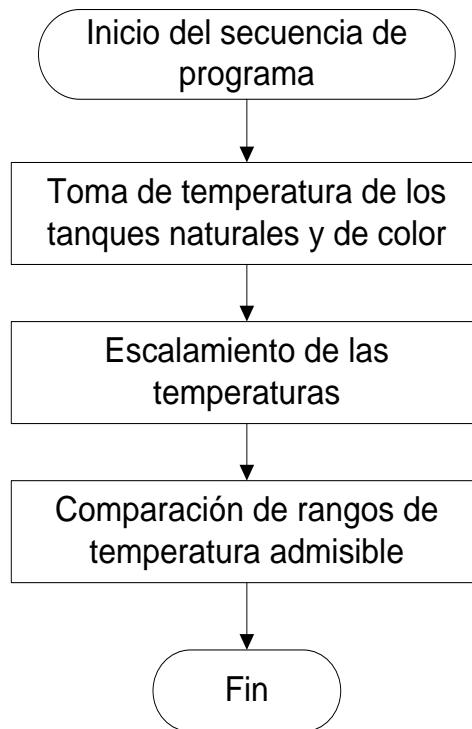


Figura 2.19 Flujograma del bloque de adquisición de temperatura.

Elaborado por: Investigador

Bloque #14 del programa

Este bloque está comprendido por los controles PID de los tanques naturales y de color, posee un conjunto de pasos que van desde la activación de los variadores, la aplicación del control PID, la comparación de los valores de temperatura, el escalamiento de la variable de salida para la referencia de las frecuencia de funcionamiento de los variadores, entre otros. Como se puede observar en la Figura 2.20.

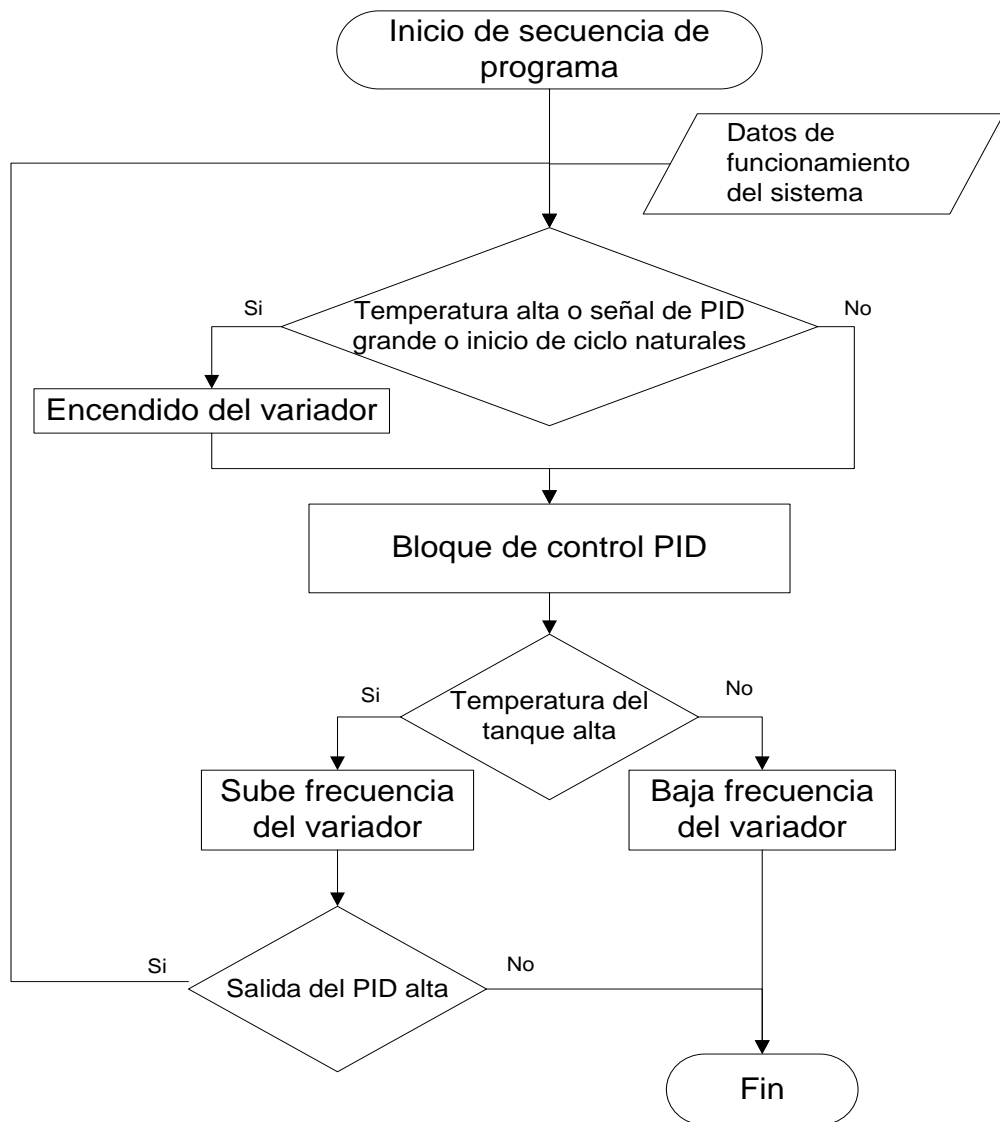


Figura 2.20 Flujograma del bloque de control PID.

Elaborado por: Investigador

Bloque #15 del programa

Comprende al control auxiliar de la temperatura de los tanques de anodizado y de color, en este bloque constan los siguientes pasos:

- Comparación del valor de temperatura.
- Activación del control auxiliar.

- Control auxiliar.

Mediante la comprobación del valor de la entrada de la termocupla, se analiza si se encuentra en buen estado, o si la entrada del módulo está funcionando.

El control auxiliar se activa solo cuando los valores de temperatura sean muy bajos o altos, se utiliza para realizar el control, la señal externa de un controlador de temperatura, haciendo posible un control auxiliar en caso de emergencias, en la Figura 2.21 se encuentra el flujograma de funcionamiento de este bloque.

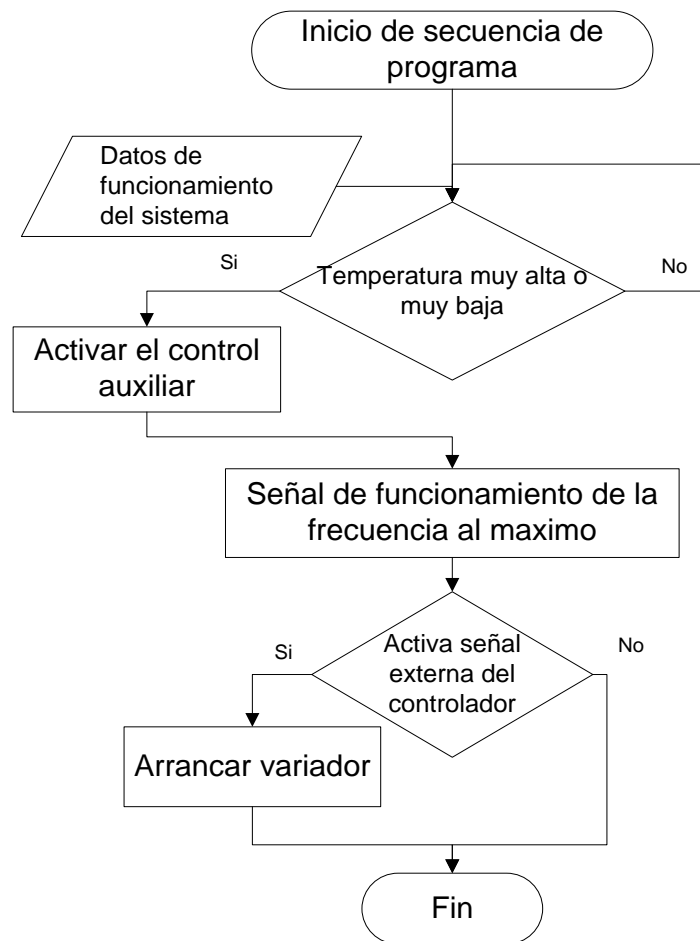


Figura 2.21 Flujograma de funcionamiento del control auxiliar.

Elaborado por: Investigador

2.4.3 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO CHILLE-INTERCAMBIADORES

Secuencia Principal del programa

Como objetivo principal de la automatización se tiene el regular el funcionamiento de la bomba de 75HP, además adquirir algunas variables como la temperatura y nivel de la cisterna del Chiller con el fin de que el autómatas pueda tomar las mejores decisiones en los diferentes casos que se presente.

En LAD 2 (segundo bloque) se encuentra la parte principal de todo el programa, aquí se configuran las variables análogas, y constan las secuencias de las subrutinas, en LAD 3 (tercer bloque) está dedicado al ingreso de todas las entradas digitales y a su almacenamiento en sus respectivos registros.

El cuarto bloque está dedicado al estudio de las variables de ingreso en busca de fallas, considerándose como el bloque de alarmas, mientras que el quinto y sexto bloque están dedicados al control del funcionamiento del arrancador suave y el variador de frecuencia respectivamente.

En el bloque siete se encuentran la adquisición de datos de funcionamiento de la bomba de 75HP y de la temperatura de la cisterna del Chiller.

Bloque # 2 del programa (Principal)

Es el bloque principal del programa, en el constan las configuraciones de los módulos análogos, direccionando los valores receptados a los registros de memoria del PLC. Además este bloque es donde se llaman a

las diferentes subrutinas para que cumplan sus funciones en diferentes etapas del programa.

Se puede observar más detalladamente su función en la Figura 2.22.

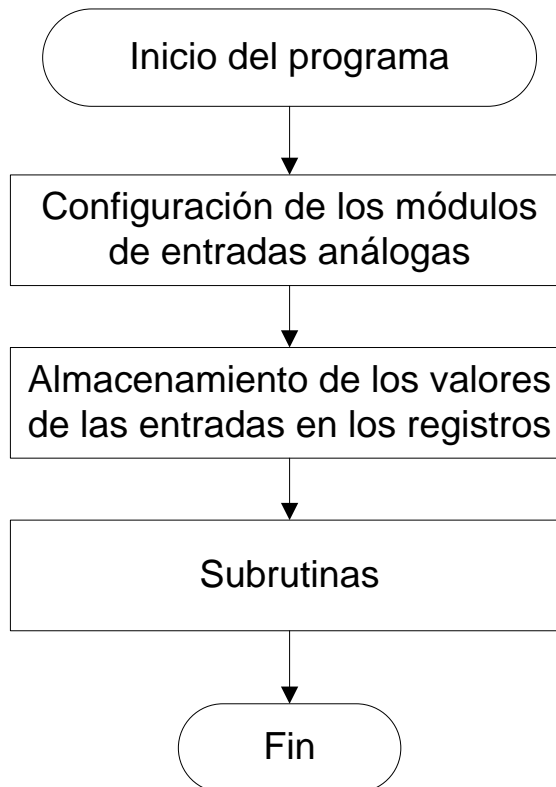


Figura 2.22 Flujo grama de funcionamiento del bloque principal

Elaborado por: Investigador

Bloque # 3 del programa

En este bloque se realiza la toma de las variables del sistema y se almacenan en datos de la memoria del PLC. Aquí también se encuentra la estabilización de las variables.

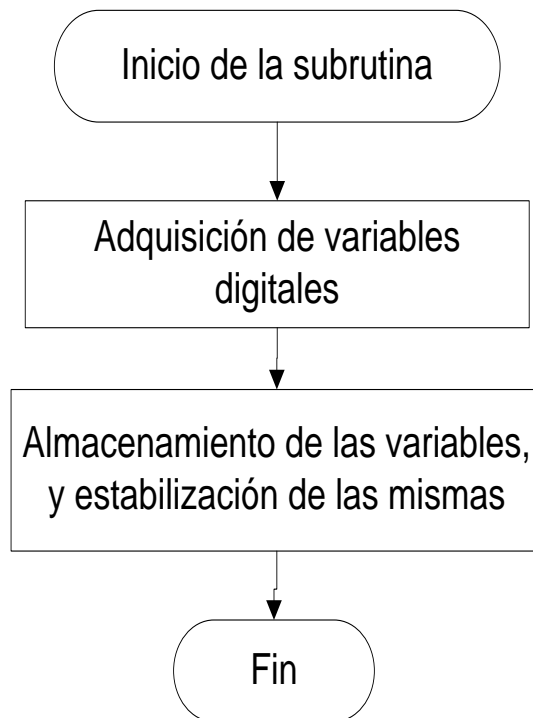


Figura 2.23 Diagrama de funcionamiento del tercer bloque

Elaborado por: Investigador

Bloque # 4 del programa

El cuarto bloque (Figura 2.24) está destinado a la configuración de las alarmas del sistema, en caso de que exista problemas tanto sea en las bombas del sistema de enfriamiento Chiller-Intercambiadores, como en el funcionamiento del Chiller (exceso de temperatura en el agua de la cisterna del Chiller), o inclusive por un bajo nivel de la cisterna, apagando las bombas para evitar que sufran de cavitación. En este bloque entrar las comparaciones de las variables del sistema versus sus estados de funcionamiento normales.

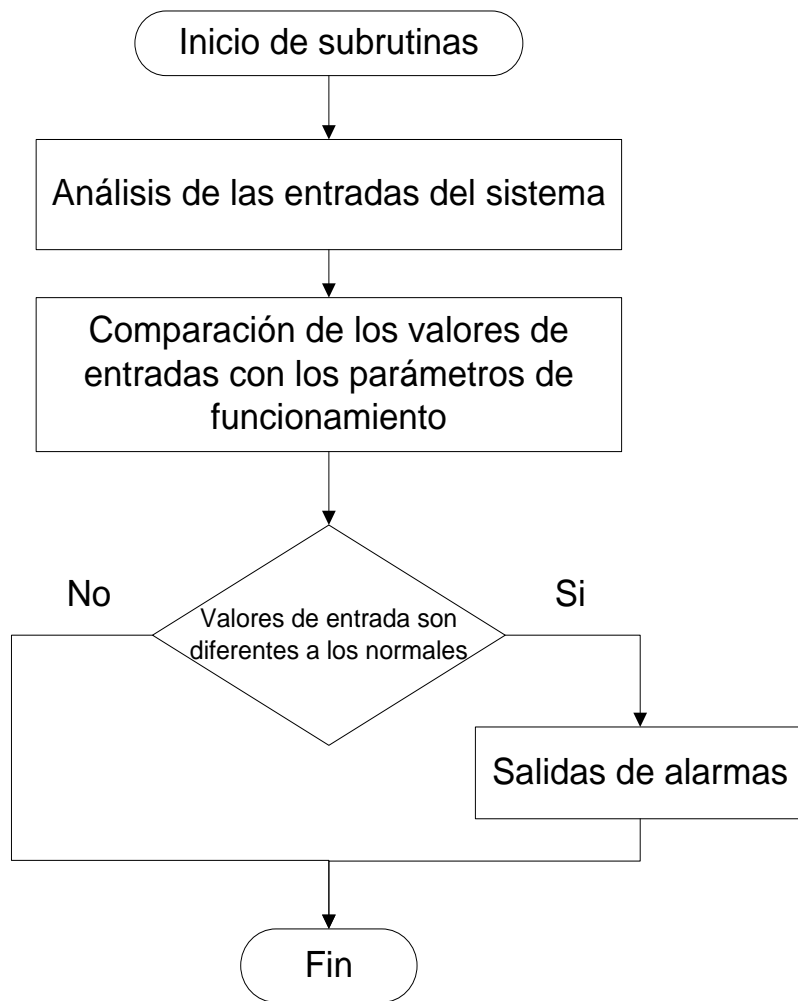


Figura 2.24 Diagrama de funcionamiento del cuarto bloque

Elaborado por: Investigador

Bloque # 5 del programa

En el bloque quinto se puede encontrar todo lo referente al control del arrancador suave, tanto del monitorio de su funcionamiento, como para el encendido y apagado del equipo, además también incluyen los bloqueos electrónicos del funcionamiento del equipo.

En la Figura 2.25 se muestra el flujo grama de funcionamiento del quinto bloque.

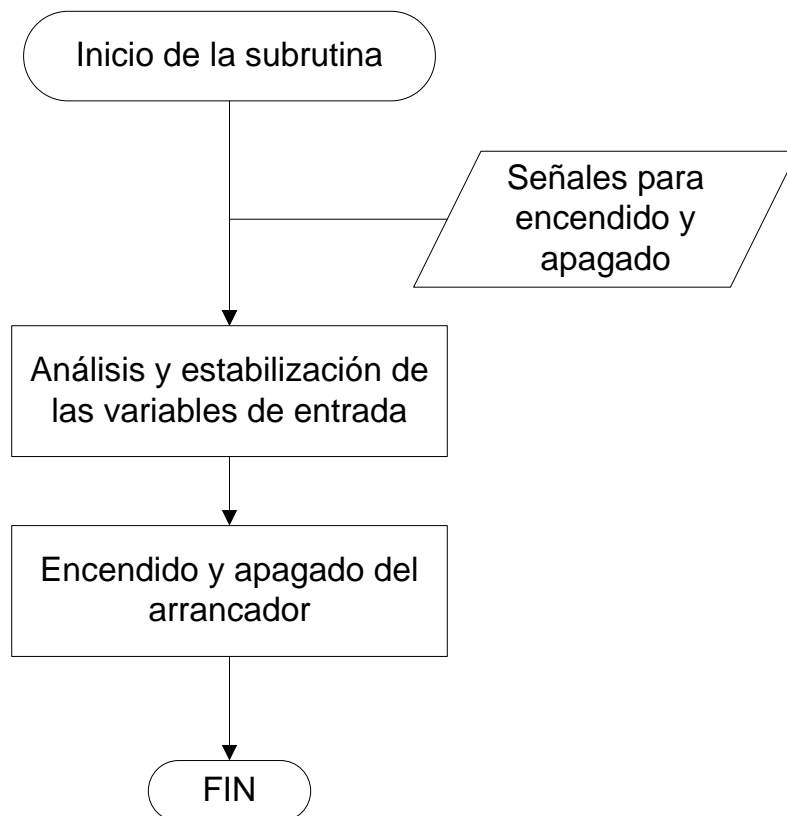


Figura 2.25 Diagrama de funcionamiento del tercer bloque

Elaborado por: Investigador

Bloque # 6 del programa

En este bloque constan las líneas de programación que comprenden al control del variador de frecuencia, para el encendido o apagado de equipo, también el acondicionamiento de la salida al variador de frecuencia, además se encuentra los diferentes bloqueos del equipo para que este no se encienda cuando el arrancador suave este funcionando, o las condiciones del sistema no sean las adecuadas.

En la Figura 2.27 se encuentra el flujograma de funcionamiento del sexto bloque.

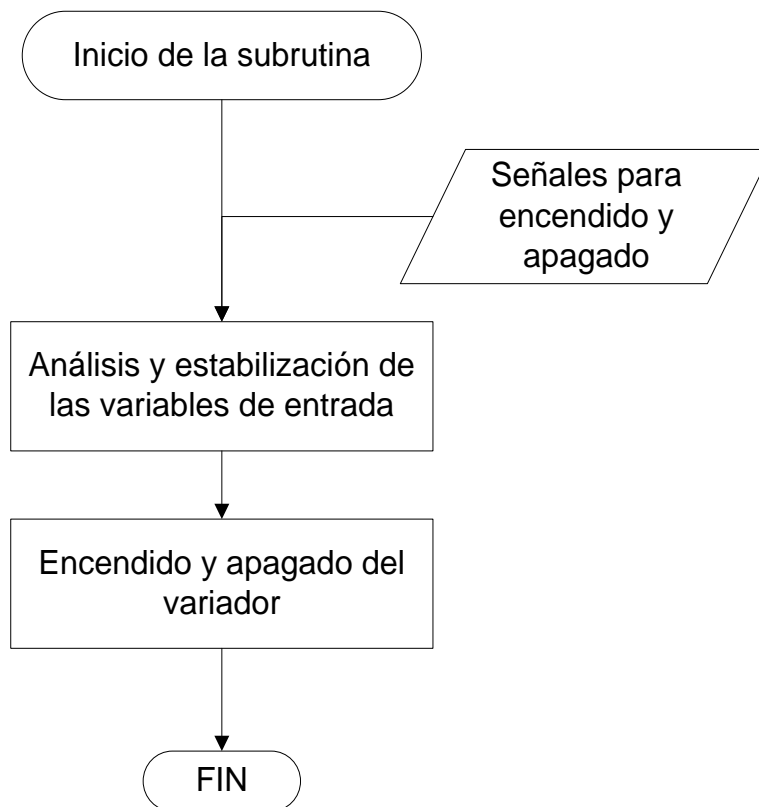


Figura 2.26 Diagrama de funcionamiento del quinto bloque

Elaborado por: Investigador

Bloque # 7 del programa

El séptimo bloque está destinado a la adquisición de los valores de funcionamiento del variador de la bomba de 75 Hp, como corriente consumida por el motor trifásico, y la velocidad de funcionamiento, además también se almacenas en los registros del programa la temperatura del agua de la cisterna del chiller.

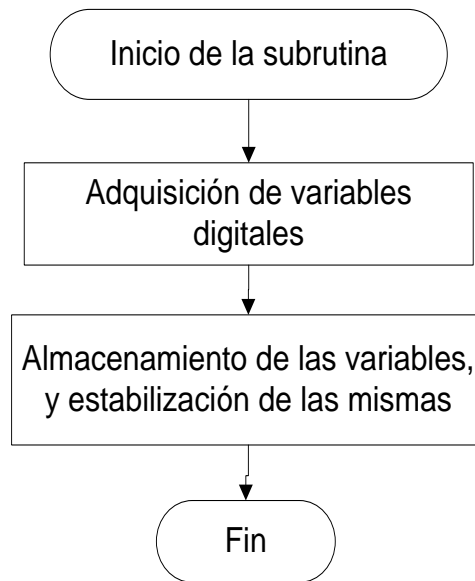


Figura 2.27 Diagrama de funcionamiento del séptimo bloque

Elaborado por: Investigador

El programa implementado se encuentra en el Anexo B.

2.5 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

Realizado el diseño del sistema, tanto la parte del hardware como del software, se procede a realizar la implementación del sistema. Este tema comprende desde la parte de instalación de los equipos en los tableros, hasta la puesta en marcha.

2.5.1 MONTAJE DE EQUIPOS DE POTENCIA

Los variadores de frecuencia y el arrancador suave, reciben las señales de control de los PLC, siendo estos los que permiten la conexión entre las bombas centrífugas de los tanques naturales, de color y las bombas del Chiller, con la parte de control. Los parámetros a considerar en el montaje son:

- La distribución dentro del tablero de potencia de los elementos.
- El montaje de los equipos.
- Las conexiones de alimentación y puesta a tierra.
- La distribución de las conexiones eléctricas (tanto de potencia, como de control).

a. Distribución de equipos de potencia en el tablero

En el montaje, existen ciertos criterios a considerarse, los cuales varían según las necesidades de los equipos. A continuación se verán algunos puntos de consideración.

a.1 Consideraciones de montaje del variador de frecuencia Power Flex700

Los variadores de frecuencia necesitan de una buena ventilación, ya que expiden calor durante su funcionamiento, siendo susceptibles a daños por exceso de temperatura. En la Figura 2.28 se observa cuales son las distancias indicadas por los fabricantes para permitir que el equipo tenga una buena ventilación.

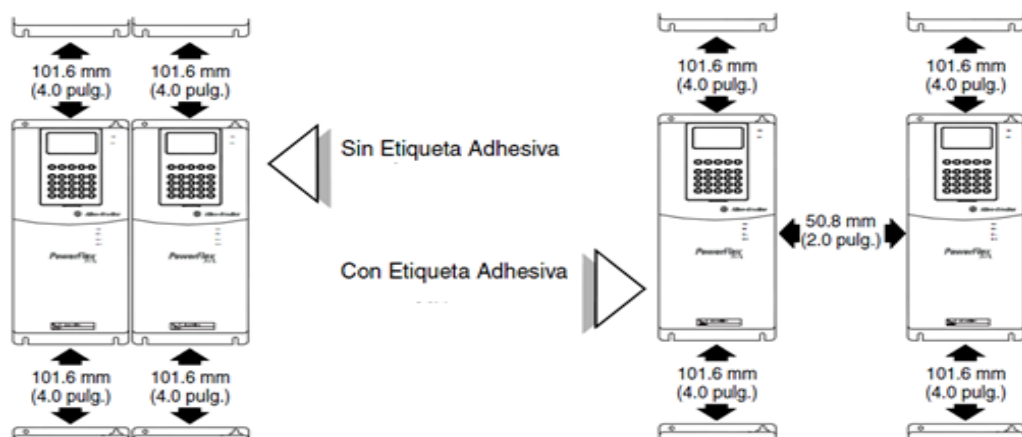


Figura 2.28 Distancia entre variadores de frecuencia.

Fuente: Manual de Usuario Variador de Frecuencia Power Flex 700

Elaborado por: Investigador

El montaje en el tablero se realiza mediante tornillos de 3/8", con lo que se asegura la posición correcta del equipo y se evita que este se desprenda del tablero en caso de movimientos bruscos.

a.2 Consideraciones de montaje del variador de frecuencia Power Flex40

Para la instalación de los variadores Power Flex 40 se tiene que considerar la distancia mínima de ubicación de los equipos en el tablero. En la Figura 2.29 se encuentra las distancias recomendadas por el fabricante.

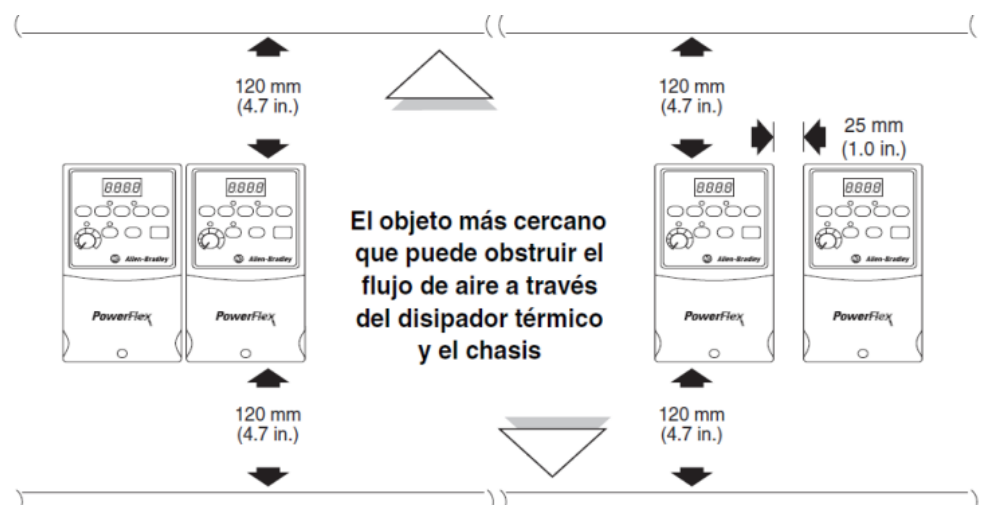


Figura 2.29 Distancia entre Power Flex 40.

Fuente: Manual de Usuario Variador de Frecuencia Power Flex 40

Para el montaje de los variadores de frecuencia se utiliza tornillos autoroscantes de 5/8", esto para su fácil manipulación en el montaje y desmontaje del tablero.

b. Consideraciones de montaje del arrancador suave

La ubicación del arrancador suave tiene que ser de tal manera, que su montaje y desmontaje se lo realice sin problemas y se utiliza para fijar el arrancador al tablero pernos de 5/8.

En la Figura 2.30 se observar la distribución de los equipos de potencia para el sistema Chiller-Intercambiadores, mientras que en la Figura 2.31 se muestra la distribución de los equipos del sistema Tanques-Intercambiadores (Anexo C).

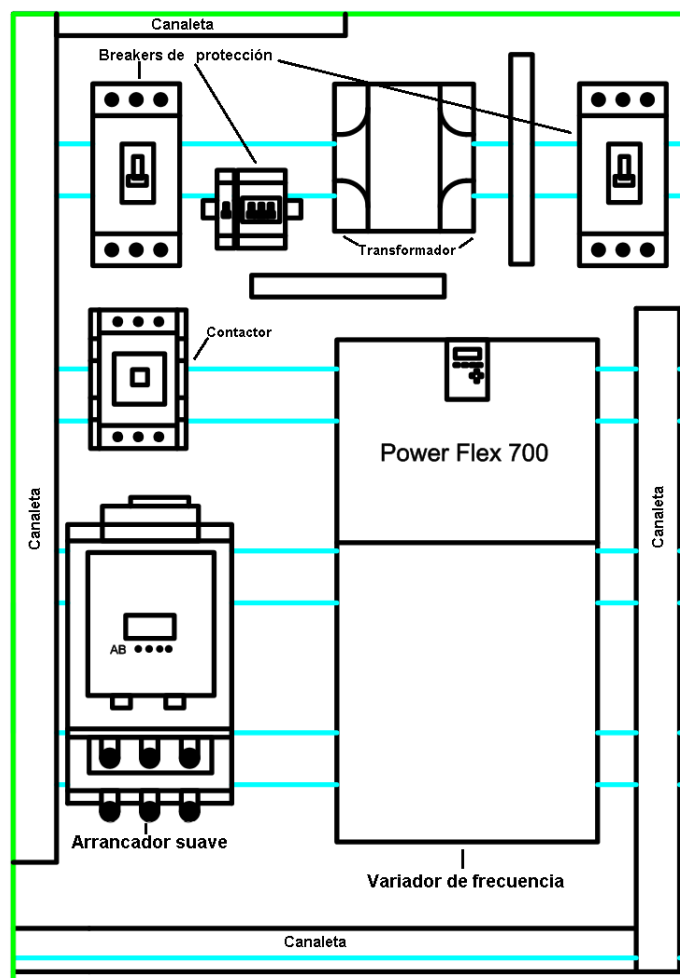


Figura 2.30 Distribución de los equipos del sistema Chiller-Intercambiadores

Fuente: Investigación de Campo

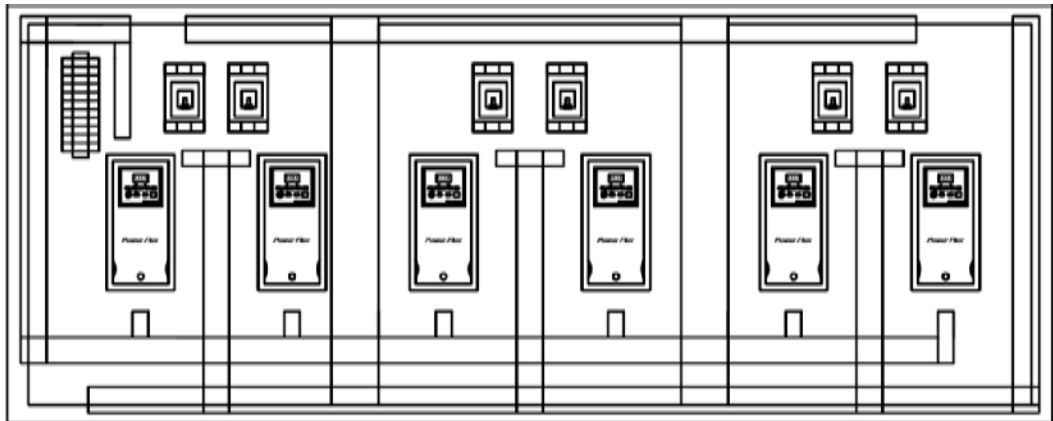


Figura 2.31 Distribución de los equipos del sistema tanques-intercambiadores

Fuente: Investigación de Campo

Elaborado por: Investigador

2.5.2 CONEXIONES DE ALIMENTACIÓN Y PUESTA A TIERRA DE LOS EQUIPO

La alimentación se la toma de los tableros de distribución principal de la área de anodizado, tanto para los equipos de potencia del sistema Chiller -Intercambiadores y tanques-intercambiadores, teniendo breakers de protección diferentes, los cuales se pueden observar en la Figura 2.32 y 2.33.



Figura 2.32 Breaker principal de las bombas de los intercambiadores

Fuente: Investigación Empresa CEDAL

Elaborado por: Investigador



Figura 2.33 Breaker principal de las bombas del Chiller

Fuente: Investigación Empresa CEDAL

Elaborado por: Investigador

Para el sistema Chiller-Intercambiadores el cable para la conexión utilizado es de 2/0 AWG, esto debido a que la corriente que va circular por el cable es de 82 Amp promedio y 120 Amp en periodos cortos, mientras que el cable 2/0 AWG soporta una corriente máxima de 190 Amp para distancias cortas, siendo recomendado sobredimensionar el cable cuando las distancias son largas (por las caídas de tensión) y para evitar sobrecalentamiento del mismo, en el caso del sistema tanques-intercambiadores se utiliza cable 1/0 AWG que soporta una corriente de 150 Amp en distancias cortas, teniendo una corriente promedio del consumo total de los 6 variadores de 80 Amp, la implementación de este cable se lo realiza por distancia de recorrido del cableado y la ubicación del mismo, ya que cualquier corto circuito en la canaleta de distribución significaría la parada completa de producción y posibles pérdidas humanas.

En la Figura 2.34 se muestran los breaker de protección (100 Amp y 440 volt) del SMC Flex y el Power Flex 700, mientras que en la Figura 2.35 se observa los breaker del sistema tanques-intercambiadores.



Figura 2.34 Tablero del sistema Chiller -Intercambiadores

Fuente: Investigación Empresa CEDAL

Elaborado por: Investigador

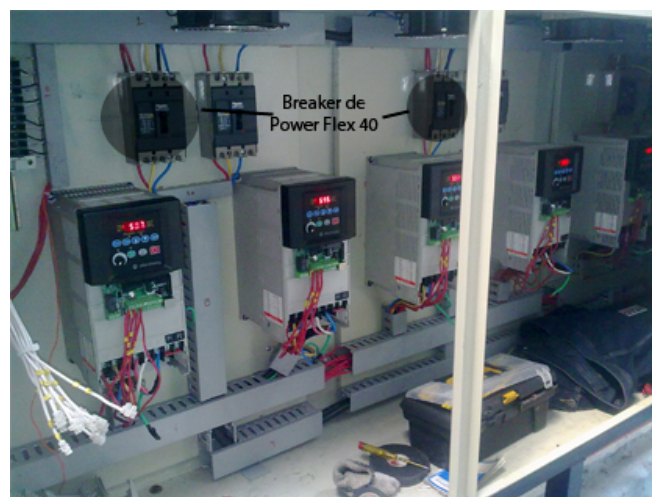


Figura 2.35 Tablero del sistema tanques-intercambiadores

Fuente: Investigación Empresa CEDAL

Elaborado por: Investigador

La conexión de puesta a tierra de los equipos, en caso del sistema Chiller -Intercambiadores se utiliza una tierra perteneciente al tablero de control de las bombas de los equipos de osmosis (Figura 2.36), mientras que la puesta a tierra de los variadores de frecuencia Power Flex 40 se toma de la conexión a la tierra de la estructura de la planta (Figura 2.37).



Figura 2.36 Puesta a tierra para el sistema Chiller -Intercambiadores

Fuente: Investigación Empresa CEDAL

Elaborado por: Investigador



Figura 2.37 Puesta a tierra del tablero de los variadores Power Flex 40

Fuente: Investigación Empresa CEDAL

Elaborado por: Investigador

2.5.3 DISTRIBUCIÓN DE LAS CONEXIONES ELÉCTICAS

Para los variadores de frecuencia y el arrancador suave, existen dos tipos de cableado:

- Cableado de control.
- Cableado de potencia.

Mediante la correcta distribución del cableado se puede conseguir que las conexiones de control se encuentren aislados de la parte de potencia.

En la Figura 2.38 y 2.39 se observa la distribución del cableado de potencia (color café), cableado de control (color azul) y verde por donde cruzan ambos tipos de conexiones, de los dos sistemas.

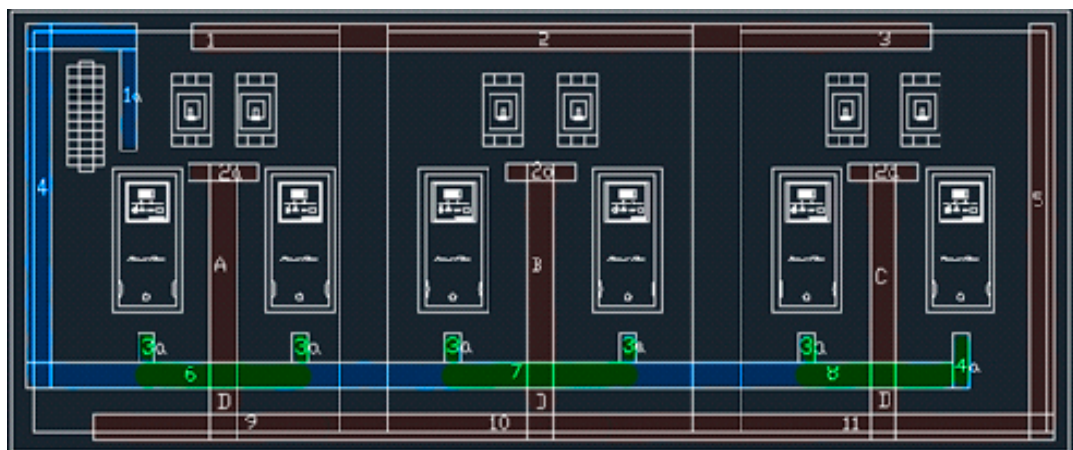


Figura 2.38 Distribución del cableado sistema tanques-intercambiadores

Fuente: Directa

Elaborado por: Investigador

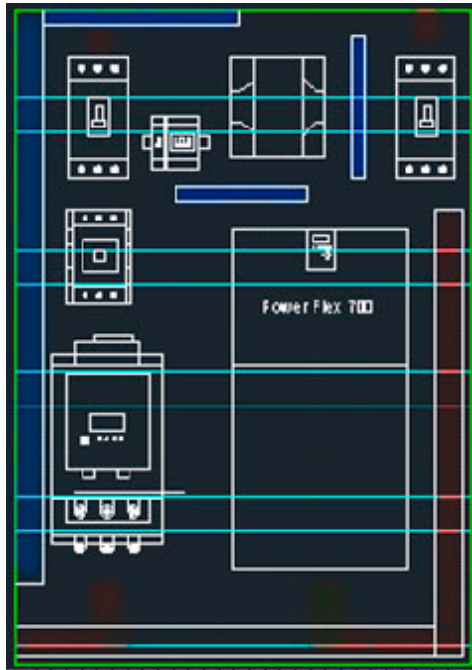


Figura 2.39 Distribución del cableado sistema Chiller -Intercambiadores

Fuente: Directa

Elaborado por: Investigador

Cableado de potencia

El cableado de potencia comprende de los breaker principales a los tableros de potencia y de los tableros de potencia hacia las bombas.

Conexiones de los variadores Power Flex 40 con las bombas de 10 HP

Para la colocación del cableado de potencia de los variadores con el motor, se utiliza:

- Cable Concéntrico 4x12.
- Tubería Vx de 2" y ½".

El cable sucre se envía por el canal de distribución superior del cableado y la tubería Vx se utiliza para la protección del cable en la trayectoria tablero-canaleta y canaleta-bombas.

Conexiones del variador de frecuencia Power Flex700 y del arrancador suave SMC Flex con las bombas de 75HP y 50HP.

Los elementos que se utilizan para la conexión de las bombas con los equipos son:

- Cable AWG 1/0.
- Tubería Vx de 2”.

El cable AWG es utilizado para la conexión de las tres fases, mientras que la tubería Vx sirve de protección del cable en los tramos expuestos. En la Figura 2.40 se observa las conexiones de los equipos con las bombas centrífugas de 50HP y 75HP.

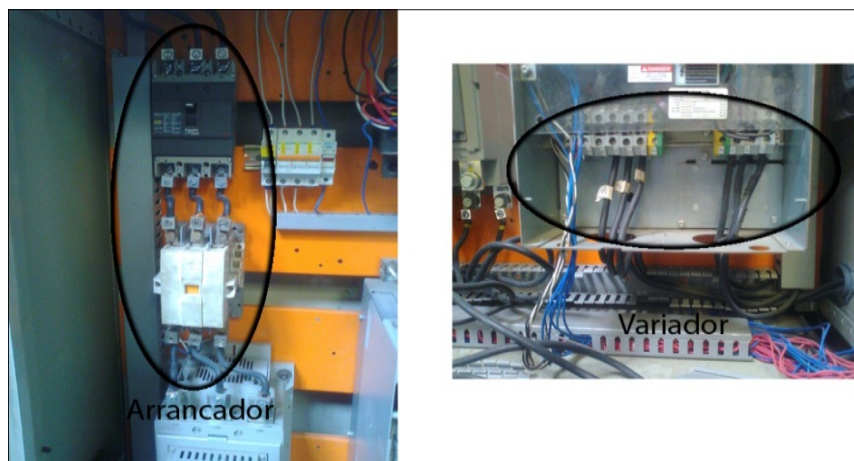


Figura 2.40 Cableado del variador y arrancado con las bombas de 75HP y 50HP respectivamente

Fuente: Empresa CEDAL; **Elaborado por:** Investigador

2.5.4 TABLERO DE CONTROL

En esta parte constan tanto la elaboración del tablero de control del sistema Chiller-Intercambiadores, como las modificaciones que se realizan en el tablero de control tanques-intercambiadores.

a. Tablero de control sistema tanques-intercambiadores

Antes de realizar cualquier modificación, lo primero que se hace es un análisis de los elementos que se encuentran dentro del tablero y cuántos sirven para la configuración del nuevo sistema. Realizado esto, se procede a realizar el montaje de los equipos adicionales como relés, módulos de salidas análogas, borneras, entre otros, además se ponen los relés que permitirán realizar el control auxiliar de temperatura, lo mismo que se pueden observar en la Figura 2.41.



Figura 2.41 Tablero de control del sistema de anodizado

Fuente: Empresa CEDAL

Realizado el análisis previo de la necesidades del sistema, se implementan los relés faltantes para el control de los variadores de frecuencia power flex 40 con el PLC SLC 500, también se añade y configura el modulo salidas análogas. Además se utiliza el cable belden

para transportar la señal analógica de 0 a 10 voltios, que es el valor de referencia para el funcionamiento del variador.

b. Tablero de control sistema Chiller-Intercambiadores

Las conexiones de alimentación y de control, se las realizan de tal manera que la una no cause interferencia en la otro, además se debe evitar que existan tramos innecesarios de cable, haciendo más pequeñas las capacitancias e inductancias de acoplamiento.

La ubicación de los equipos en el tablero se lo realiza según lo indican los planos del Anexo C, en la Figura 2.42 muestra la distribución de los elementos en el tablero de control, mientras en la Figura 2.43 se encuentra la distribución de los pulsadores y selectores en el tablero.

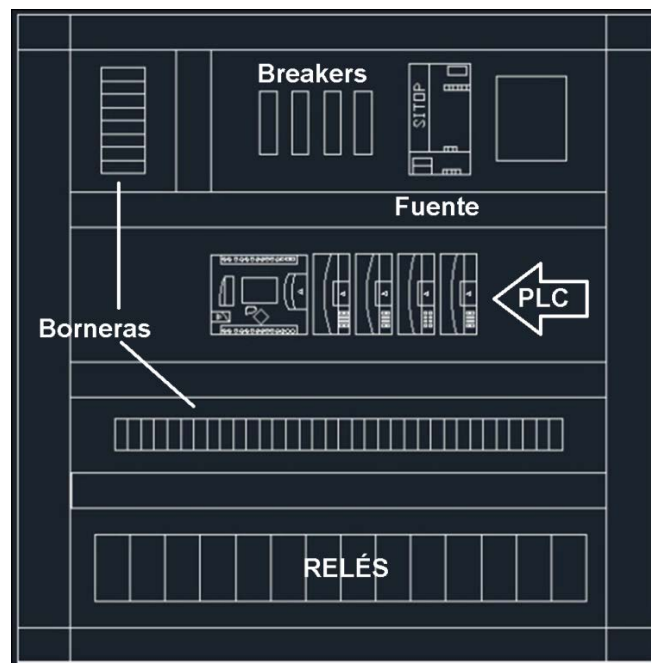


Figura 2.42 Diagrama de tablero de control, sistema Chiller -Intercambiadores.

Fuente: Directa

Elaborado por: Investigador

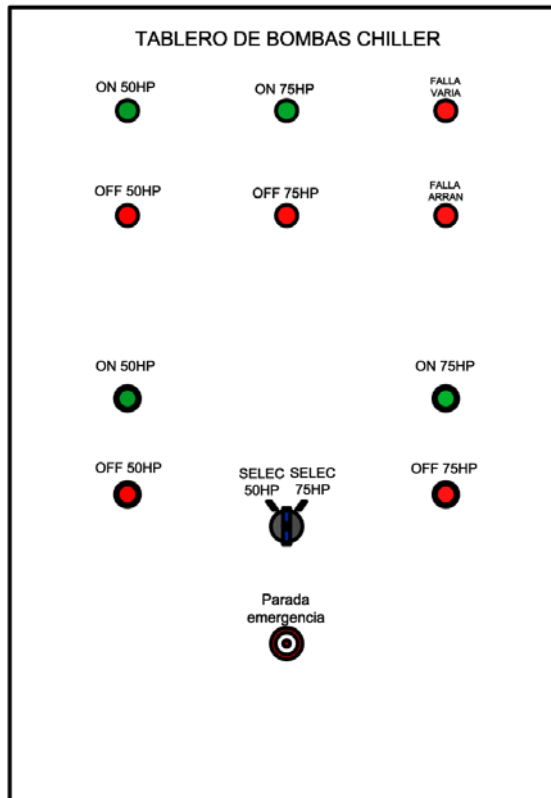


Figura 2.43 Distribución de los pulsadores e indicadores en el tablero

Fuente: Directa

Elaborado por: Investigador

La implementación de los equipos como el PLC y la fuente se lo realiza tomando en consideración los parámetros indicados por el fabricante, como se observa en la figura 2.44, teniendo en consideración que exista una buena ventilación de los equipos.

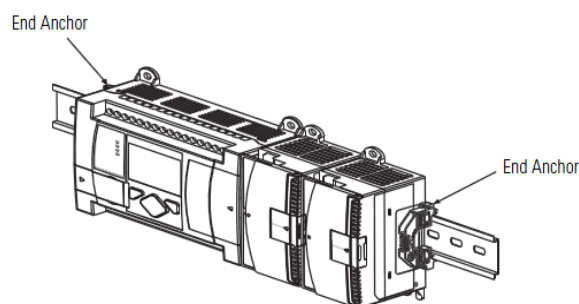


Figura 2.44 Distancia recomendada de instalación del PLC 1100

Fuente: Manual de Usuario PLC 1100 al Embrague

Elaborado por: Investigador

c. Elementos de conexión física

Para la conexión de las bobinas de los relés, entradas y salidas del PLC, se emplea cable AWG #16, mientras que en la conexión de las señales análogas se utiliza cable blindado tipo malla (BELDEN 8 pares #22), mientras que se empleo canaleta 30x30, de 25x25 y de 20x20 para la realización del cableado, Además se utiliza riel DIN de 35 [mm] para el montaje del PLC Micrologix, las borneras, la fuente, los relés, entre otros elementos de control, facilitando de esta manera su montaje y desmontaje.

Los planos de la distribución de los equipos en el tablero de control se encuentran en el Anexo C.

Conexiones internas del tablero de control

La canaleta ranurada y el riel DIN se coloca según se muestran en los planos del tablero de control (Anexo C), basándonos en los mismos planos se monta el riel DIN, verificando que todo encaje con normalidad y que exista el espacio suficiente para las conexiones (1.5 cm de espacio por arriba y por abajo), como se muestra en la Figura 2.45.



Figura 2.45 Distribución de elementos tablero de control Chiller - Intercambiadores

Fuente: Empresa CEDAL

Elaborado por: Investigador

Colocados los elementos del tablero de control se realiza las conexiones tanto de 110 [V] y de 24 [V (DC)], como se indica en la Figura 2.46.

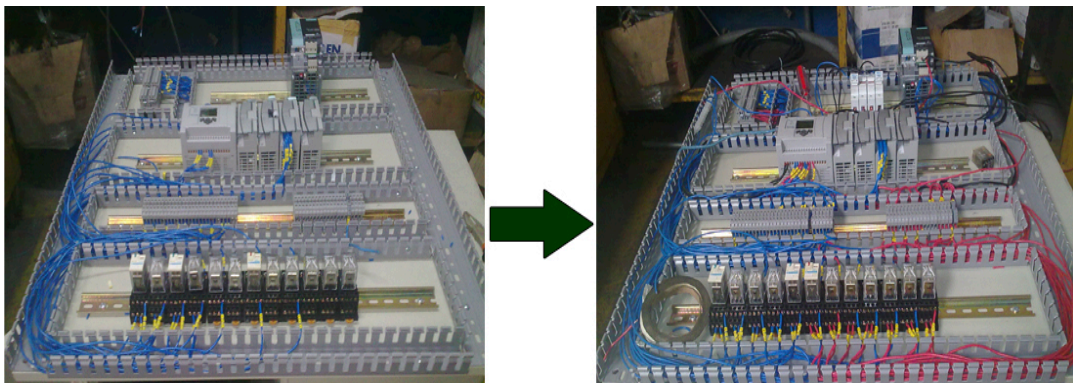


Figura 2.46 Conexiones de control

Fuente: Empresa CEDAL

Elaborado por: Investigador

El uso de borneras permite dejar puntos de conexión para la enlace con los actuadores y demás elementos.

Ubicación del tablero de control

El montaje del tablero se realiza con el uso de una base sujeta al suelo (Figura 2.47), para el empotramiento se emplea pernos Hiltin de media, lo evitando que el tablero se mueva en caso de terremotos o movimiento bruscos.



Figura 2.47 Bases de tableros del PLC Micrologix 1100

Fuente: Empresa CEDAL

Colocadas y empotradas las bases, se procede a realizar el montaje del tablero de control. Luego de esto se realiza las conexiones de alimentación y el cableado de control.

Alimentación y puesta a tierra

La alimentación que se utilizada es de 110 voltios AC, tomada del transformador ubicado en el tablero de potencia del sistema Chiller - Intercambiadores, como se indica en la Figura 2.48.



Figura 2.48 Tablero del transformador

Fuente: Empresa CEDAL

Elaborado por: Investigador

Cableado de termocuplas

Se realiza el cableado y la instalación de la termocupla en cada uno de los tanques naturales y de color, la termocupla utilizada es la tipo T, ya que soporta un ambiente corrosivo, además se implementan protecciones para las termocuplas, protegiendo el módulo de toma de datos, y reduciendo las perturbaciones ocasionadas por ruido electromagnético.

2.5.5 IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE

a. Estableciendo comunicación

Establecer comunicación es uno de los pasos fundamentales previos a la modificación del programa o inclusive a realizar cambios en línea de programación (mientras el proceso se encuentra en ejecución).

Asignación de una IP

Los PLC Allen Bradley 1100 vienen con un puerto de comunicación de Ethernet y un puerto serial, pero la primera comunicación debe ser realizada por el puerto serial, ya que en principio no tiene asignada una dirección IP, haciendo imposible la conexión del PLC a la red.

El primer paso es configurar una comunicación serial en RSLinx, mediante el uso de esta configuración y el cable de comunicación serial, se puede conectar directamente el PLC a la computadora, haciendo posible la asignación de una IP al PLC.

Otro método utilizado es mediante la utilización de un programa llamado BOOTP-DHCP Server, el cual tiene la finalidad asignar una dirección IP al PLC, pero utilizando una conexión Ethernet entre la computadora y el PLC.

Por último, para descargar al PLC se selecciona ENABLE TO BOOT, con lo que queda asignada la IP y el Hostname.

Comunicación Ethernet

El primer paso en la creación de un programa es la selección del tipo de PLC que se va a utilizar. RSLogix 500 es el software de programación de Allen Bradley, en este asignamos el tipo de PLC (Figura 2.49), la dirección IP del PLC y además se generan las líneas de programación.

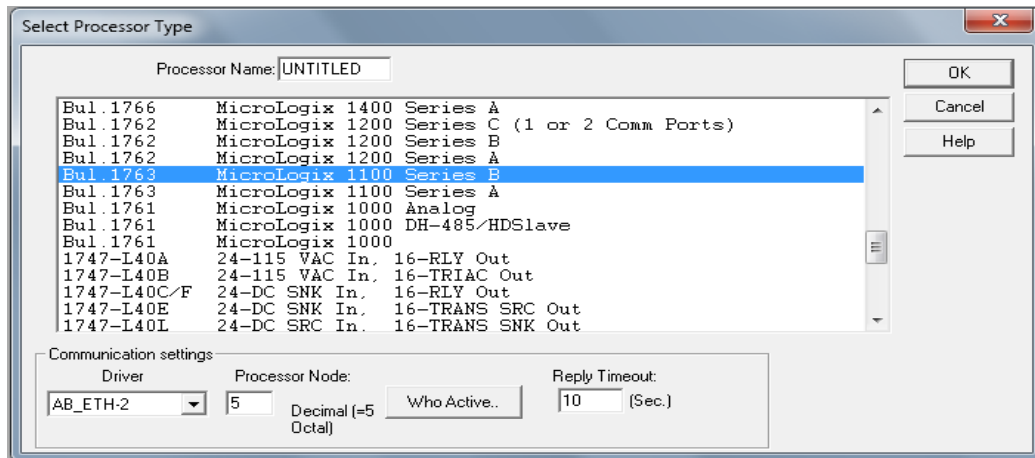


Figura 2.49 Asignación del PLC en RSLogix 500

Fuente: Programa RsLogix 500

Elaborado por: Investigador

Asignado el tipo de PLC, se procede a la configuración de la IP, para lo cual se tiene que deshabilitar la opción BOOTP Enable para poder digitar la dirección IP, como se muestra en la Figura 2.50.

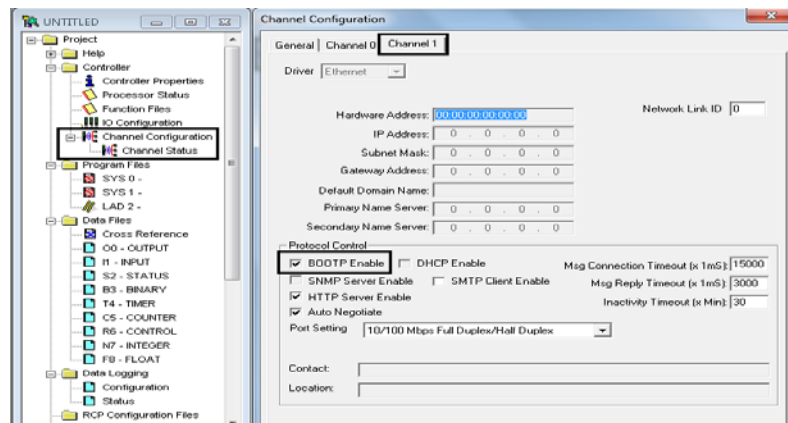


Figura 2.50 Configuración del canal de comunicación

Fuente: Programa RsLogix 500

Elaborado por: Investigador

La dirección IP que se va a utilizar es 1.1.1.110, con la Máscara 255.255.255.0, como hace referencia la Figura 2.51.

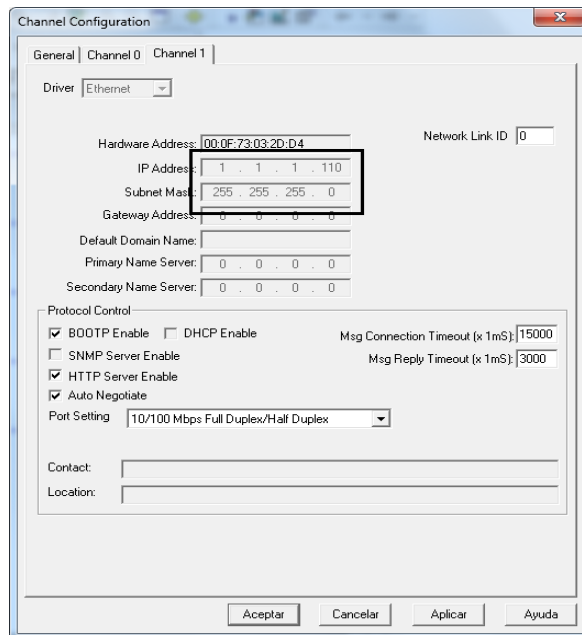


Figura 2.51 Asignación de la IP y la Máscara

Fuente: Programa RsLogix 500

Elaborado por: Investigador

Se verifica la comunicación en la pestaña System Comms como se muestra en la Figura 2.52.

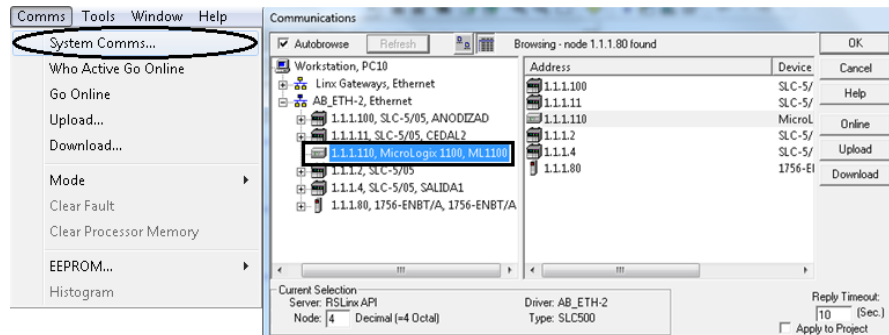


Figura 2.52 Verificación de la comunicación

Fuente: Programa RsLogix 500

Elaborado por: Investigador

b. Configuración de entradas y salidas

La configuración de los módulos se lo realiza con la ayuda de un asistente de RSLogix 500, en este panel de visualización consta el PLC y los

diferentes módulos de entradas y salidas, tanto análogos como digitales o de termocuplas, como se puede observar en la Figura 2.53.

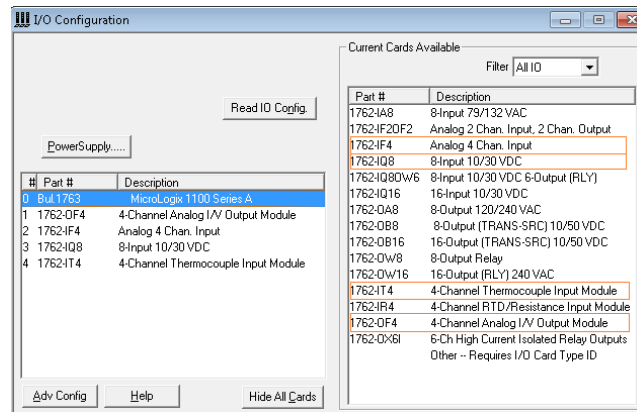


Figura 2.53 Asignación de módulos de entradas y salidas

Fuente: Programa RsLogix 500

Elaborado por: Investigador

Realizado el ingreso de los módulos se tiene que hacer la configuración de cada uno de los módulos, tanto los análogos y digitales, como el módulo de termocuplas.

Configuración del módulo de salidas análogas

El módulo de salidas análogas es el encargado de dar la señal de referencia al variador de frecuencia, para regular su funcionamiento, siendo esta una señal de 0 a 10 voltios, la cual es utilizada para controlar la frecuencia de funcionamiento del variador que va de 0 a 60 Hz, teniendo como frecuencia mínima de trabajo 30 Hz (parámetro que está configurado en el variador power flex 40). Se puede observar la configuración del módulo de salidas análogas en la Figura 2.54.

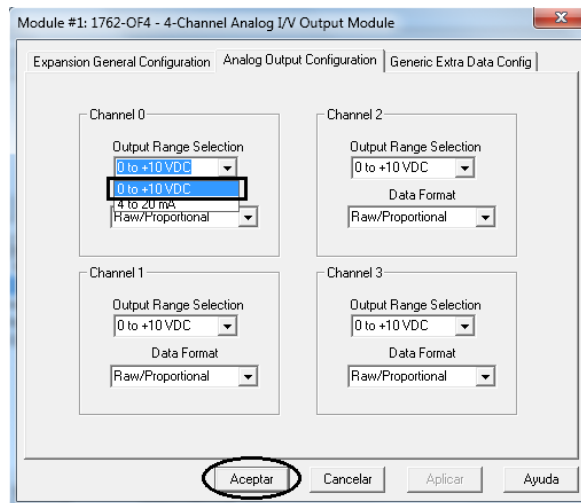


Figura 2.54 Configuración del módulo de salidas digitales

Fuente: Programa RsLogix 500

Elaborado por: Investigador

Configuración del módulo de entradas análogas

Mediante el uso del módulo de entradas análogas, se ingresan al PLC los datos de funcionamiento de la bomba de 75HP, tales como corriente y velocidad de la bomba. La señal análoga de entrada al PLC es de 0 a 10 voltios. En la Figura 2.55 se observa la configuración del módulo de entradas al PLC Allen Bradley.

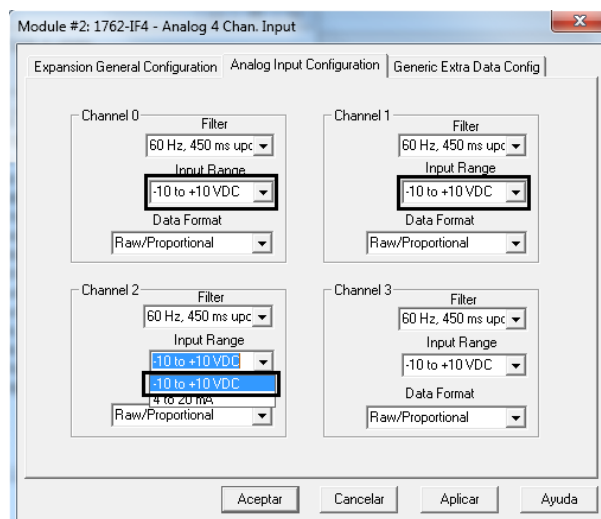


Figura 2.55 Configuración del módulo de entradas análogas

Fuente: Programa RsLogix 500

Elaborado por: Investigador

Configuración del módulo de termocuplas

La temperatura de la cisterna del Chiller es un dato de gran importancia, ya que su incremento puede representar problemas en el funcionamiento del equipo, la termocupla a utilizarse es la tipo T (debido a problemas que existen por PH ácidos en la cisterna) y el formato de datos utilizado es Engineering Units x10, circuito abierto en Zero, como hace referencia la Figura 2.56.

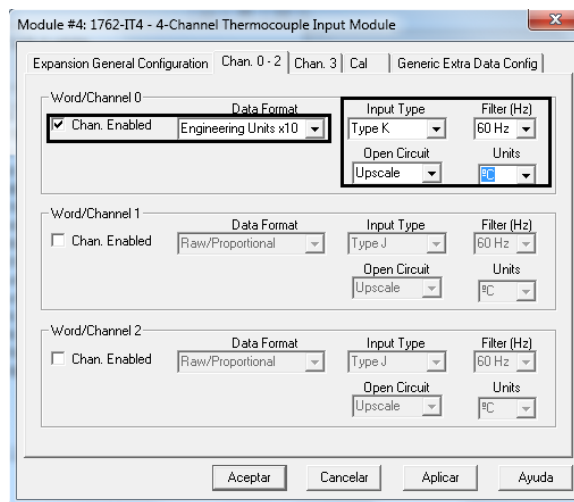


Figura 2.56 Configuración del módulo de termocuplas

Fuente: Programa RsLogix 500

Elaborado por: Investigador

Descarga del programa

Finalizado el programa se procede a descargarlo en el PLC, para esto el PLC tiene que estar en modo REM RUM o PROGRAM, se presiona en la pestaña COMMS y seleccionamos Download, en la barra de diálogo presionamos OK y el programa realizado en RSLogix 500 se descarga a la memoria del controlador, como se observa en la Figura 2.57.

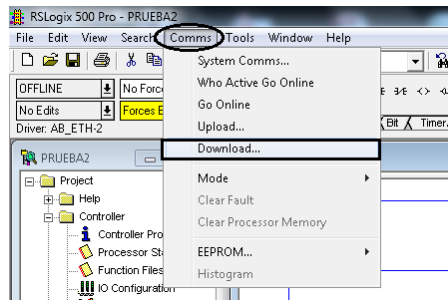


Figura 2.57 Descarga del programa al PLC

Fuente: Programa RsLogix 500

Elaborado por: Investigador

2.5.6 CONFIGURACIÓN DEL CONTROL PID

Para realizar la calibración del control del PID se tiene que considerar los parámetros de calibración del sistema, los cuales se observan en la siguiente tabla.

Tabla 2.28 Valores de configuración del sistema

Dato	Temperatura
Temperatura de seteo del chiller	13 °C
Rango de temperatura	24 a 27 °C
Temperatura para el Setpoint	24 °C
Temperatura critica	30 °C
Temperatura para accionamiento del control auxiliar	0 o 16383 en la escala del PID

La típica estructura del sistema de control PID es la que se observa en la Figura 2.58, donde se puede visualizar la señal de error $e(t)$, que es utilizada para generar las señales proporcional, integral y derivativa, mientras que la suma de las tres señal es la respuesta del sistema, denominada $u(t)$.

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right]$$

Figura 2.58 Señal de control PID

La calibración del sistema PID se realiza mediante la variación de tres parámetros (T_d , T_i y K_p), por medio de la variación de estos tres parámetros se puede calibrar el control, para que funcione para diferentes procesos. El método que se utilizará para la calibración de estos tres parámetros, para el control de temperatura del sistema de enfriamiento Tanques-Intercambiadores, es el método de Ziegler-Nichols, que plantea dos tipos de soluciones empíricas, para poder calcular los valores de los diferentes componentes del PID.

Se utiliza el método II de Ziegler-Nichols, que mediante la variación de la acción proporcional del sistema, busca encontrar las constantes K_{cr} y T_{cr} , las cuales son usadas para realizar la calibración de todos los parámetros, según se muestra en la Tabla 2.29.

Tabla 2.29 Calibración de parámetros del PID por el método de Ziegler-Nichols

Método	Tipo de regulador	Parámetros del regulador		
		K_p	T_i	T_d
Método I	P	$\frac{1}{K} \frac{T_d}{T_v}$		
	PI	$\frac{0,9}{K} \frac{T_d}{T_v}$	$3,33 T_v$	
	PID	$\frac{1,2}{K} \frac{T_d}{T_v}$	$2 T_v$	$0,5 T_v$
Método II	P	$0,5 K_{cr}$		
	PI	$0,45 K_{cr}$	$0,85 T_{cr}$	
	PID	$0,6 K_{cr}$	$0,5 T_{cr}$	$0,12 T_{cr}$

En la Tabla 2.30 están los rangos de variación para los parámetros K_p , T_i y T_d los cuales son aplicados para el PLC SLC 500 con un procesador 5/05, al momento de que se realiza la configuración en la plataforma de programación conocida como RSLogix 500.

Tabla 2.30 Valores de configuración de los parámetros PID

variable	Rango de variación
K_p	0 a 3276.7 (ganancia proporcional)
T_i	0 a 3276.7 (ganancia integral, representada en minutos)
T_d	0 a 3276.7 (ganancia derivativa)

Para la automatización del sistema de control de temperatura, se encontró que los valores de K_{cr} y T_{cr} corresponden a 10 y 18 respectivamente, en consecuencia, según lo mostrado en la Tabla 2.29 Los valores utilizados para la calibración del control PID son los mostrados en la Tabla 2.31.

Tabla 2.31 Valores de las constantes de calibración del PID

variable	Valores de las constantes
K_p	6
T_i	9
T_d	2,16

Mediante la configuración de los parámetros Integral, proporcional y derivativo se puede llegar a la calibración de la respuesta de salida del sistema.

En RSLogix existe un bloque dedicado a la calibración del control PID (Figura 2.59), este bloque tiene como entrada a la señal de temperatura

que varíe de 0 – 16383, como salida a una variable entera, que varía en el mismo rango y una pantalla para la configuración del PID (Figura 2.60).

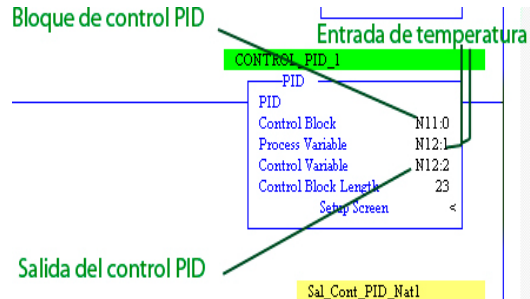


Figura 2.59 Bloque de control PID

Fuente: Programa RsLogix 500

Elaborado por: Investigador

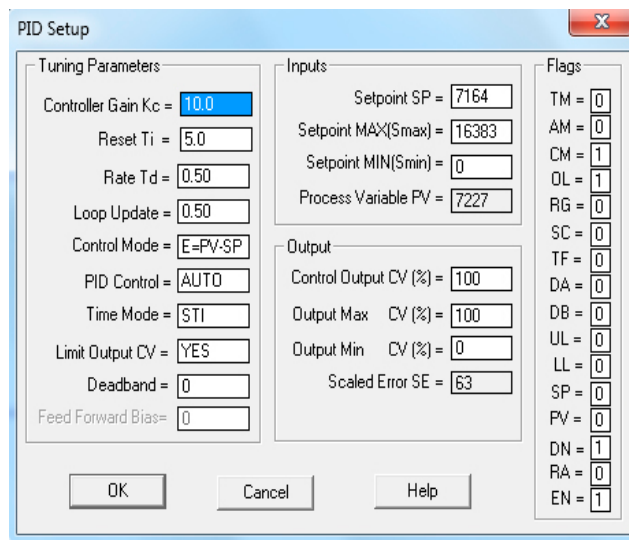


Figura 2.60 Pantalla de calibración del bloque de control PID

Fuente: Programa RsLogix 500

Elaborado por: Investigador

Los parámetros que se pueden modificar del bloque de control PID, son las constantes integral, proporcional, derivativa, el tipo de control (encendido para enfriamiento o calentamiento), el Set Point, entre otros parámetros que conforma el control.

CAPÍTULO III

3. ANÁLISIS DE PRUEBAS Y RESULTADOS

3.1 PRUEBAS DE SENSORES Y ACTUADORES

3.1.1 PRUEBAS DE CONEXIONES ELÉCTRICAS

Ubicados los tableros de control se procede a hacer las respectivas conexiones de los pulsadores, selectores y lámparas indicadoras, para cada uno de los diferentes tableros, tanto de control, como de potencia.

En la Figura 3.1 se observa los tableros del sistema Chiller - Intercambiadores, mientras en la Figura 3.2 se encuentra el tablero de potencia del sistema tanques-intercambiadores.



Figura 3.1 Tableros del sistema Chiller -Intercambiadores a) Tablero de potencia y b) Tablero de control

Fuente: Empresa CEDAL



Figura 3.2 Tablero de los variadores Power Flex 40
Fuente: Empresa CEDAL

a. Pruebas eléctricas del sistema Chiller -Intercambiadores

Mediante el uso del multímetro y ayuda de los planos eléctricos (Anexo C) se revisa las conexiones, tanto de alimentación de los tableros, como de conexión a los equipos.

Se energizan los equipos y se miden los valores de voltaje de entrada y salida del transformador, como se muestra en el Anexo F. Los valores tomados corresponden a 420 voltios en la entrada del transformador y 110 voltios en la salida.

Verificado el voltaje del transformador, se revisa la alimentación de entrada al tablero de control y el valor de voltaje salida de la fuente de 24 voltios DC. La entrada de voltaje al tablero de control es de 110 voltios y el voltaje de salida de la fuente es de 25 Voltios DC, según lo deseado, los valores obtenidos se resumen en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Pruebas de funcionamiento del sistema

Valor medido	Voltios
Entrada al transformador	420 AC
Salida del transformador	110 AC
Entrada a la fuente SITOP	110 AC
Salida de la fuente SITOP	25 DC

b. Pruebas eléctricas del sistema tanques-intercambiadores

La medición de las conexiones eléctricas se las realiza con un multímetro y la utilización de los planos eléctricos (Anexo C), mediante la revisión de las conexiones del tablero del variadores Power Flex 40 se asegura que los equipos se encuentran trabajando correctamente y los valores de voltaje sean los esperados.

Tanto en la entrada al breaker y al variador de frecuencia el voltaje es de 421 [Volt], siendo este el requerido para que el equipo funcione con normalidad. Otro parámetro dentro del tablero de los variadores de frecuencia son las conexiones de control tanto las digitales como las análogas. En el Anexo F se encuentran las graficas de las tomas de mediciones, mientras en la Tabla 3.2 consta un resumen de los valores obtenidos.

Tabla 3.2 Valores de las entradas análogas y digitales de los variadores power flex 40

Valor medido	Variador del tanque natural 1	Variador del tanque natural 2	Variador del tanque natural 3	Variador del tanque natural 4	Variador del tanque natural 5	Variador del tanque de color
Alimentación del variador	421 volt AC	421 volt AC	421 volt AC	421 volt AC	421 volt AC	421 volt AC
Entrada digital (start)	23.4 volt DC	23.6 volt DC	0 volt DC	24volt DC	0 volt DC	23 volt DC
Entrada Análoga (0-10 voltios)	10.02 volt DC	6.42 volt DC	2.6 volt DC	10.00 volt DC	2.42 volt DC	3.42 volt DC
Estado de funcionamiento	ON	ON	OFF	ON	OFF	ON
Frecuencia de funcionamiento	60 Hz	38.5 Hz	0 Hz	60 Hz	0 Hz	30 Hz

Se verificaron las conexiones tanto análogas como digitales, se encuentra en buen estado las conexiones y los valores de voltaje dentro del rango. Como se puede observar en la Tabla 3.2 el valor de frecuencia de funcionamiento del variador del tanque de color es de 30 Hz, a pesar de el valor de voltaje en la entrada análoga es de 3.42 voltios (que correspondería a una frecuencia de 20.5 Hz), esto se debe a que en los parámetros de programación del variador están calibrados de manera que el valor mínimo de frecuencia será 30 Hz.

3.1.2 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL PLC.

Revisadas las conexiones, para evitar posibles cortos circuitos, ocasionado por mala conexión o por unir fuentes de diferentes tipos, se procede a realizar las pruebas de funcionamiento al PLC, en el siguiente orden. Se realiza el encendido del PLC (Figura 3.3), verificando que no se presenten problemas.



Figura 3.3 Verificación de encendido de PLC

Fuente: Empresa CEDAL Pruebas Verificación de encendido de PLC

Encendido el PLC se procede a hacer las pruebas de las entradas y salidas del controlador. La comprobación de las entradas análogas se las realiza con la ayuda de un multímetro y las entradas digitales se comprueban observando el PLC, viendo como varían las entradas conforme se manipulan los pulsadores y selectores. En la Figura 3.4 se muestra el método de comprobación de las entradas digitales, mientras que en la Figura 3.5 se halla la comprobación de las entradas análogas.



Figura 3.4 Verificación de las entradas digitales

Fuente: Empresa CEDAL Pruebas Verificación de entradas

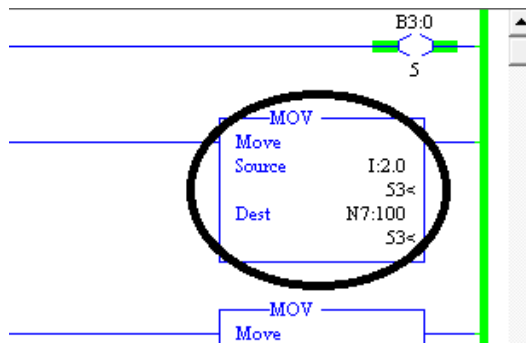


Figura 3.5 Verificación de las entradas análogas

Fuente: Programa RSLogix 500

El valor medido de las entradas digitales corresponde a 0 y 23.84 voltios, tanto para el nivel bajo y alto respectivamente, además en la Figura 3.4, se puede observar la variación de las entradas análogas del PLC, funcionando según lo esperado. La verificación de las variables de salida se lo realiza forzando las salidas del PLC, mediante el programa RSLogix 500.

Verificado lo anterior se procede a la comprobación de la entrada análoga de termocuplas, esto lo realiza mediante la ayuda de un multímetro o mediante la observación del funcionamiento de la entrada en línea con el PLC en corriendo, con la ayuda del computador y del programa RSLogix 500.

3.1.3 PRUEBAS DE SENSORES

Los sensores son los sentidos del sistema, por este motivo es de gran importancia la verificación de su funcionamiento. Los sensores utilizados para el sistema chiller-intercambiadores son:

- De nivel, tipo switch.
- De temperatura, termocupla tipo T.

a. Prueba de medición de temperatura de la cisterna del Chiller

La medición de la temperatura de la cisterna del Chiller permite conocer el estado de funcionamiento del Chiller, ya que la presencia de temperaturas altas en la cisterna, se debe a que el Chiller se encuentra apagado o que algunos de sus compresores no está funcionando correctamente.

Se puede verificar la adquisición de la temperatura, mediante la observación de su valor, al tener conectado el programa RSLogix 500 en línea, como se observa en la Figura 3.6.

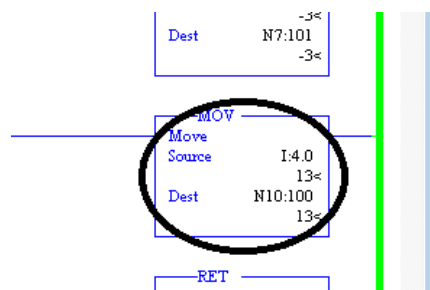


Figura 3.6 Verificación de la temperatura de la cisterna del Chiller

Fuente: Programa RSLogix 500

La gráfica anterior muestra el valor de temperatura de la cisterna del chiller, cuyo dato facilita la verificación del buen funcionamiento del equipo. El valor tomado por el módulo de termocuplas es de 13 °C, que corresponde al que tiene la cisterna, dato que se verifica mediante la ayuda de un pirómetro.

b. Prueba de medición de temperatura de los tanques naturales y de color

La medición de temperatura de los tanques de anodizado y de color se realiza mediante un módulo de termocuplas de 8 canales que se encuentra en el tablero de control de anodizado, la verificación de las

temperaturas se realiza por la visualización de las temperaturas en el Panel View vs las temperaturas mostradas en los controladores de cada tanque, como se indica en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Valores de medición de la temperatura de los tanques naturales y de color

Medido por:	Tempert Tanque natural 1	Tempert Tanque natural 2	Tempert Tanque natural 3	Tempert Tanque natural 4	Tempert Tanque natural 5	Tempert Tanque de color
Controlador	25 °C	26 °C	24 °C	22 °C	23 °C	21 °C
PLC	24 °C	26 °C	23 °C	23 °C	23 °C	20 °C

Los valores obtenidos al momento de realizar la medición de temperatura, tanto del controlador como del PLC muestran valores semejantes pero no iguales, esto debido a que las termocuplas no se encuentran instaladas en las mismas posiciones.

c. Prueba del sensor de nivel

La comprobación de funcionamiento del sensor de nivel, se realiza mediante la modificación del nivel de la cisterna del Chiller, verificando que cuando el nivel este bajo, la entrada del PLC sea accionada, como se muestra en la Figura 3.7.

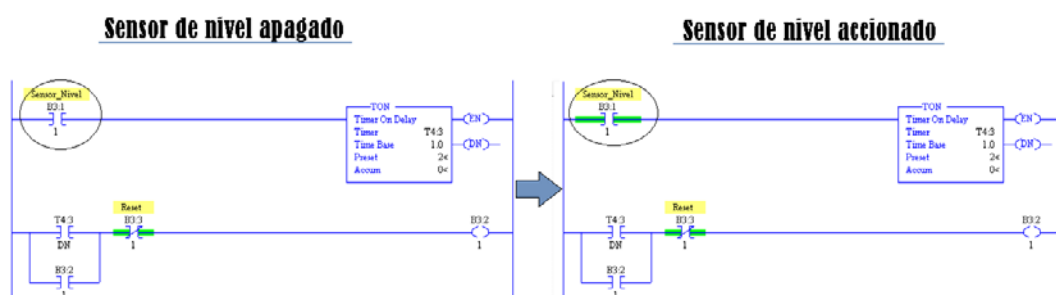


Figura 3.7 Pruebas del sensor de nivel

Fuente: Programa RSLogix 500

El sensor de nivel funciona según lo deseado, dando la señal al PLC en el caso de que la cisterna del chiller baje su nivel.

3.1.4 PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DE LOS VARIADORES POWER FLEX 40.

Realizada la configuración del variador e ingresados los valores de la placa de datos del motor en la configuración de los parámetros del variador, procedemos a realizar las pruebas de funcionamiento tanto en control automático, como en control manual (Figura 3.8).



Figura 3.8 Selector de posición para el tipo de funcionamiento de los variadores

Fuente: Bombas Empresa CEDAL

Al colocar el selector en posición manual los variador se enciente con la frecuencia que llega como referencia del módulo de salidas análogas del PLC, para el caso que la señal de entrada al variador sea inferior al valor mínimo, el variador funciona a la frecuencia mínima configurada.

Colocado el selector en posición automático se comprueba que el variador funciona solamente cuando la salida digital del PLC es activada, funcionando a diferentes frecuencias conforme aumenta o disminuye la temperatura. Los equipos, tanto en automático y manual funcionan según lo esperado, como se indica en el Anexo F.

3.1.5 PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DEL VARIADOR POWER FLEX 700

Configurados los parámetros del variador, se verifica el encendido y el apagado del equipo, comprobando las conexiones y el funcionamiento.

Realizadas las conexiones del motor y verificado que las válvulas de las tuberías estén en la configuración correcta, se enciende el equipo (Anexo F), y se confirma que los parámetros, corriente y frecuencia se encuentren dentro rango, los valores observados corresponden a los de la Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Valores de funcionamiento del variador de frecuencia

Equipo	Corriente	Frecuencia
Variador Power Flex 700	40 Amp	45 Hz
	48 Amp	50
	60 Amp	55 Hz

El equipo arranca normal mente sin dar inconvenientes, con una corriente de 40 Amperios, funcionando a una frecuencia de 45 Hz, siendo estos valores los esperados.

3.1.6 PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DEL ARRANCADOR

Revisadas las conexiones, se procede a realizar las pruebas en vacío del equipo, se verifica el funcionamiento correcto, tanto en el encendido como en el funcionamiento del arrancador.

Probado el funcionamiento en vacío (sin carga), se conecta el motor al arrancador, y se realiza las configuraciones e ingresamos los datos de

placa del motor al arrancador, finalizado esto se comprueba que las válvulas estén en la configuración correcta y se enciende el equipo.

Se confirma que los parámetros, como tiempo de encendido, pico de corriente, corriente de funcionamiento se encuentren dentro del rango (Figura 3.9).



Figura 3.9 Parámetros de funcionamiento del arrancador

Fuente: Arrancador (Empresa CEDAL)

El equipo arranca con normalidad, consumiendo un total de 60 amperios a 415 voltios, valores que corresponden a los datos de placa del equipo, funcionando de manera correcta según lo planificado.

3.1.7 PRUEBAS DEL SISTEMA DEL CONTROL AUXILIAR DE TEMPERATURA

Se verifica las conexiones para el control auxiliar, comprobando que la señal de los controladores llegue al Módulo de entradas digitales del PLC SLC 500. Se revisan los controladores, confirmándose que estén funcionen correctamente, activándose en caso de que la temperatura sea mayor a la marcada en el Set Point del controlador, como se muestra en la Figura 3.10.

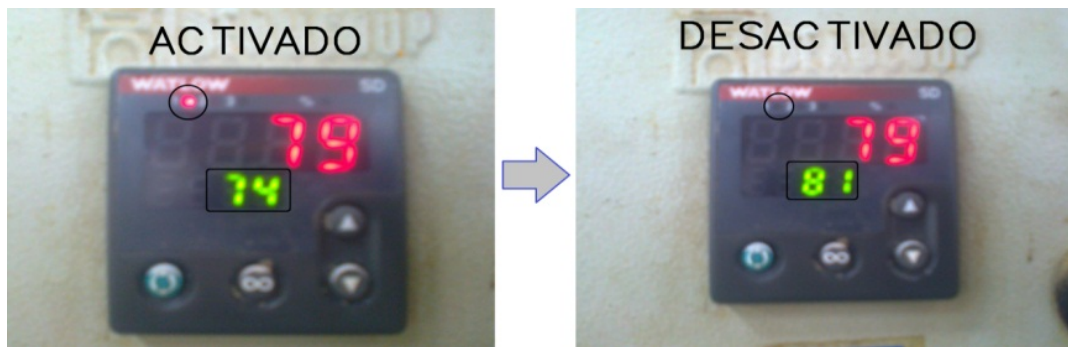


Figura 3.10 Funcionamiento de los controladores

Fuente: Empresa CEDAL

Se comprueba que los variadores funcionen conforme las señales del controlador lo indican, y que en caso de que el sistema auxiliar de control sea activado, el valor de frecuencia a la que funcionen las bombas sea de 60 Hz.

El control de temperatura de los tanques naturales y de color, funciona según lo esperado tanto con el control PID, como con el control auxiliar.

3.2 PRUEBAS Y CALIBRACIÓN DEL SISTEMA.

Comprobado el correcto funcionamiento de los equipos, comienza la etapa de pruebas y calibración del sistema, esta comprende a la comprobación de que los equipos funcionen dentro de los parámetros de funcionamiento establecidos, obteniendo los resultados deseados.

3.2.1 CONTROL TEMPERATURA CON PID

El control PID es el encargado de realizar la parte del control del sistema de enfriamiento Tanques-Intercambiadores, sus parámetros de configuración están comprendidos por las constantes (proporcional, integral y derivativa), el valor del set point marcado.

Pruebas de calibración del sistema de control PID

El proceso de control de temperatura es un proceso que no varía a gran velocidad, para el caso de la variación de temperatura de los tanques naturales, debido a que es un proceso de anodizado, en el cual se utiliza la circulación de una gran cantidad de corriente, la temperatura llega a variar por carga un aproximado de 2,5 °C, cuando los intercambiadores de calor se encuentran en mal estado, por esta razón es que los parámetros de variación del PID tienen que responder rápidamente ante la presencia de un aumento de temperatura, siendo los parámetros K_p , T_i y T_d seleccionados en tema DISEÑO DEL CONTROL PID, por medio del método II de Ziegler-Nichols, correspondientes a $K_p=6$, $T_i=9$ y $T_d=2,16$, por medio de los cuales el sistema responde de manera adecuada a las necesidades del control de temperatura de cada tanque.

3.2.2 ADQUISICIÓN DE DATOS DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.

Para realizar el análisis del control del sistema, se realiza una adquisición de datos de temperatura de los tanques, mediante la utilización de un programa para HMI, el cual permite realizar una visualización en línea del proceso y la generación de históricos, para el análisis de los datos, y verificar las tendencias del proceso.

En la Figura 3.11 se muestra la pantalla de visualización de datos de temperatura, mientras que en la Figura 3.12 se encuentra la pantalla de los procesos de anodizado y las bombas de los intercambiadores.

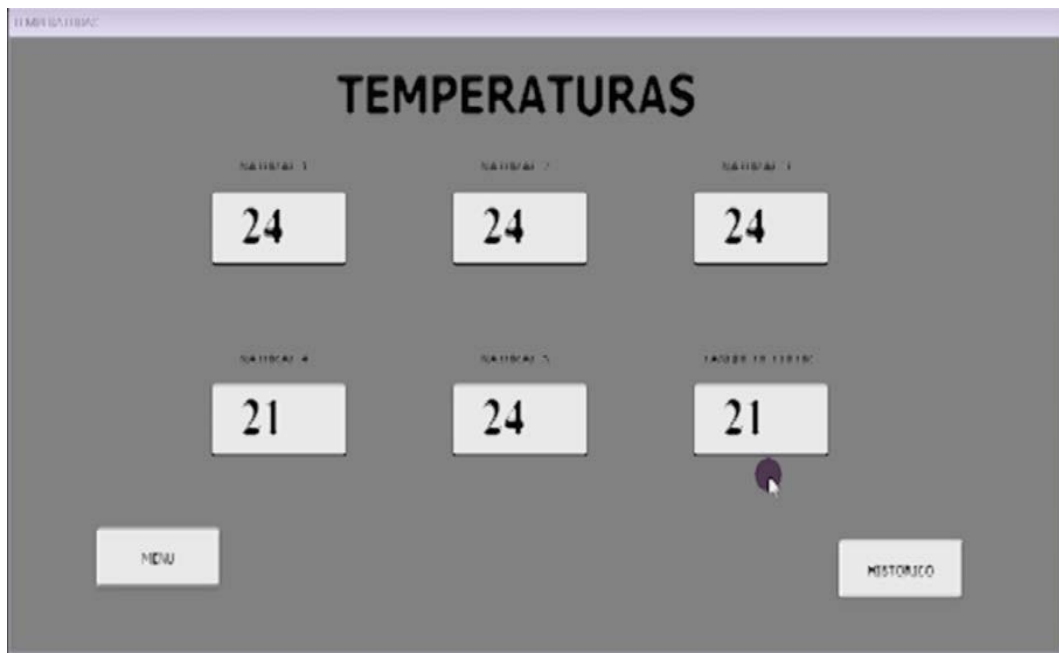


Figura 3.11 Pantalla de visualización de temperaturas del programa para HMI

Fuente: Programa para HMI

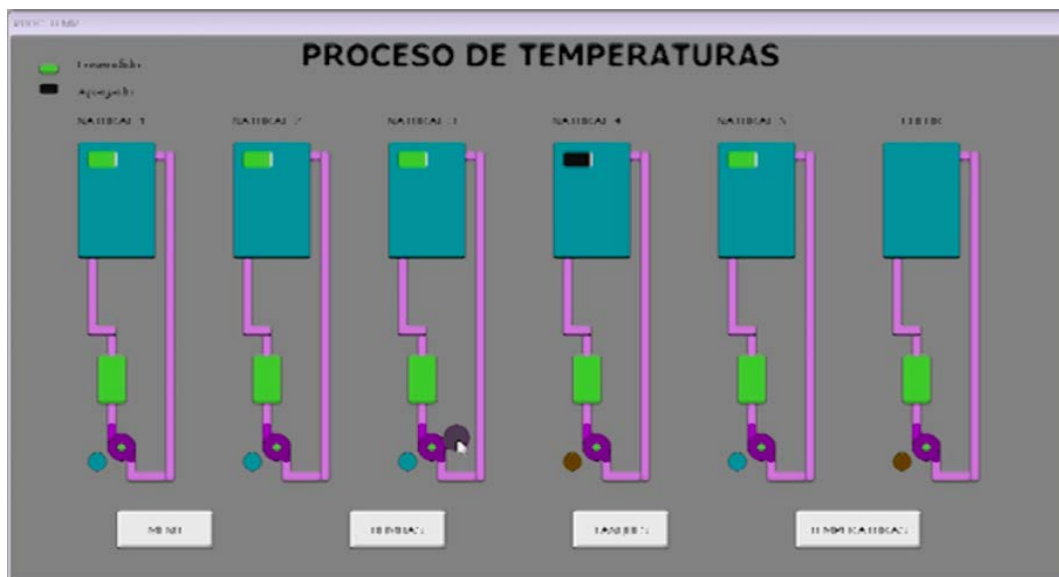


Figura 3.12 Pantalla de visualización de los procesos de anodizado del programa para HMI

Fuente: Programa para HMI

Mediante la toma de datos y la generación de históricos puede realizar el análisis del proceso.

3.3 ANÁLISIS DE TRANSFERENCIA DE CALOR DE LOS INTERCAMBIADORES.

El análisis de los intercambiadores de calor tiene como fin, el ver la eficiencia de los mismos y analizar cuáles son los factores que ocasionan el mal funcionamiento de los mismos.

3.3.1 TEMPERATURAS DE ENTRADAS Y SALIDA DE LOS INTERCAMBIADORES

El intercambiador utilizado en CEDAL (Figura 3.13) es de tipo placa, debido a que este presenta una buena eficiencia en la transferencia de calor y ocupa poco espacio en su instalación, mientras que por una placa circula la solución acida (caliente), por la siguiente circula el agua de la cisterna del Chiller (fría), existiendo una transferencia de calor entre las dos sustancias, sin que estas lleguen a mezclarse, siendo 2 las entradas y 2 las salidas, como se observa en la Figura 3.13.

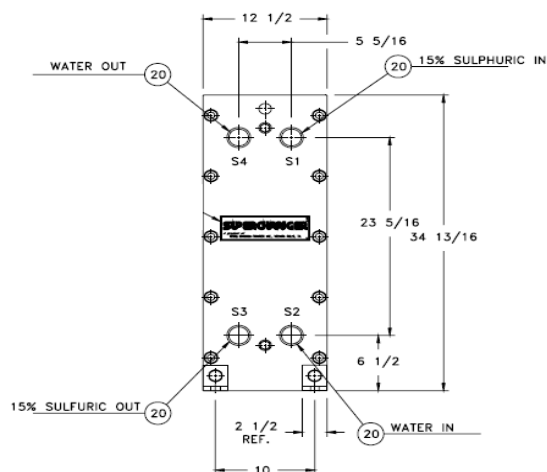


Figura 3.13 Intercambiador de calor tipo placa

Fuente: Folleto de características del Intercambiador de calor tipo placa

Los datos mostrados en la Tabla 3.5 son tomados del funcionamiento normal del proceso, considerando la temperatura de la cisterna del Chiller a 16,33 °C, la salida del Chiller a la cisterna de 12,7 °C y que las medidas tomadas de temperatura de la entrada y salida de la solución de ácido sulfúrico al 15%, son de la parte externa de la tubería, por lo que para el caso de un análisis de la transferencia de calor el dato que será de utilidad es el diferencial de temperatura entre la entrada y la salida.

Tabla 3.5 Temperaturas de funcionamiento de los tanques naturales

Temp(°C) Equipo	S2 (water in)	S4 (water out)	S1 (15% sulfuric in)	S3 (15% sulfuric out)	ΔT Agua	ΔT 15% sulfuric	# de placas
Int. Natural 1	20	21.4	26,1	23,3	1,4	2,8	58
Int. Natural 2	18,3	20,3	26	22,4	2	3,6	58
Int. Natural 3	18,3	20,9	25,6	23,4	2,6	2,2	58
Int. Natural 4	18,6	20,5	24,2	22,2	1,9	2	58
Int. Natural 5	19,4	20,8	25,7	22	1,4	3,7	58

Fuente: Toma de datos de las temperaturas de los Intercambiadores Naturales

Tabla 3.6 Temperatura de los tanques naturales

	Natural 1	Natural 2	Natural 3	Natural 4	Natural 5
Temperatura	25	25	23,6	23	24,4

Fuente: Toma de datos de las temperaturas de los Intercambiadores Naturales

En la Tabla 3.6 se observa que el tanque natural 1 y el tanque natural 2, tienen problemas de temperaturas altas, mientras que en la Tabla 3.5 se indica que ΔT del agua está dentro de los parámetros de intercambio de calor de todos los tanques naturales, pero ΔT 15% sulfuric (solución de ácido sulfúrico) de los tanques naturales es alto.

Para poder analizar las posibles situaciones que ocasionan lo descrito en el párrafo anterior, se analizan otros fenómenos que se dan en los

intercambiadores de calor, los cuales se describirán en los siguientes literales.

3.3.2 PROBLEMAS DE LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR

Los intercambiadores de calor vienen con una eficiencia establecida bajo ciertos parámetros de funcionamiento, pero presentan problemas diversos según la aplicación. Los problemas más usuales con los intercambiadores de calor tipo placa utilizados para el enfriamiento de los tanques naturales son:

- Fugas por empaques defectuosos o poca presión en el ajuste de las placas.

- Generación de incrustaciones salinas en las placas de los de los intercambiadores.

a. Fugas por empaques defectuosos o poca presión en el ajuste de las placas

Los primeros indicadores de la presencia de este problema, suelen ser condiciones acidas en la cisterna del Chiller, además el nivel de las cubas de los intercambiadores que se encuentran defectuosos bajan, esto debido a que la presión generada por las bombas del Chiller, es inferior a la de las bombas de los intercambiadores, ya que la presión de la bomba del Chiller se distribuye por la tubería para todos los intercambiadores.

Cuando se presenta este problema ocasiona daños en el Chiller, atacando a la tubería de cobre, reduciendo la vida útil de los equipos, además disminuye el flujo de caudal que va al tanque, por lo cual reduce su velocidad de enfriamiento.

b. Incrustaciones salinas en las placas de los de los intercambiadores

Este fenómeno se da debido a un choque térmico que sufre la solución de ácido sulfúrico (caliente), al entrar en contacto con una superficie fría, formándose en las paredes de las placas cristales, que impiden la circulación correcta del flujo de la solución, lo que ocasiona que suba la presión y disminuya el caudal, causando problemas en el control de temperatura, ya que el sistema no abastece para enfriar la cuba.

La solución a este problema implica de pérdida de tiempo y por ende disminución de la producción, siendo necesario parar la limpieza del intercambiador aproximadamente 40 minutos.

3.4 VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS

3.4.1 BENEFICIOS OBTENIDOS

Los beneficios obtenidos, se miden tanto en el aumento de la calidad de acabado de producción, como en la comparación del control de temperatura de los tanques naturales y de color.

Cabe recalcar que el éxito del proyecto no es el único factor involucrado en el crecimiento de la cantidad y la calidad de producción, ya que la empresa ha invertido en muchos más equipos con el fin de mejorar la calidad y cantidad de los perfiles de aluminio, además el factor humana, que hace referencia al ardua trabajo del personal de producción, de mantenimiento y administrativos, los cuales han sido los impulsores del continuo crecimiento de la Corporación Ecuatoriana de Aluminios CEDAL S.A.

Sin considerar los meses de instalación del proyecto (Agosto y Septiembre), se obtiene un aumento notorio de la producción, en la Figura 3.14 se puede ver la tendencia de crecimiento luego de la realización del proyecto.

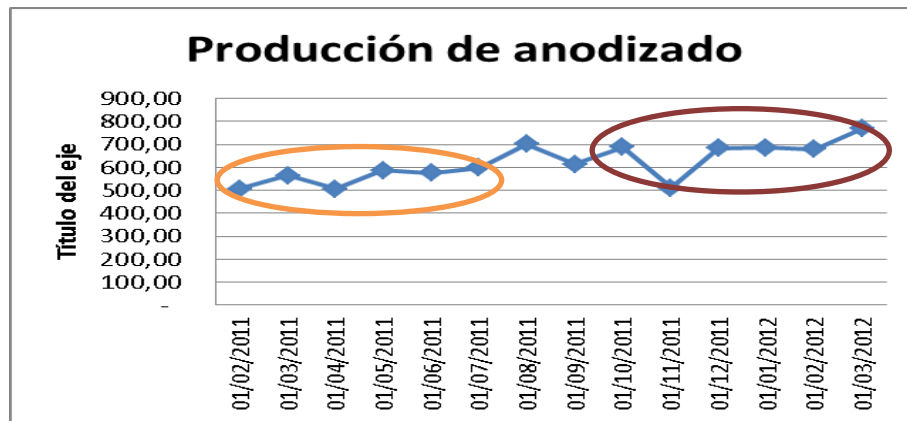


Figura 3.14 Producción de anodizado

Fuente: Gráfica en Excel en base a la producción de CEDAL del Área de Anodizado

Tomando en consideración el Grafico 3.15 “Grafico de producción porcentual de anodizado” la suma de producción antes del proyecto es equivalente al 45,4% (3340,4 TN Al de periodo febrero a julio del 2011), mientras que después de su implementación aumenta al 54,6% (4.020,52 TN Al de periodo octubre del 2011 a marzo del 2012), esto quiere decir que existe un aumento del 9.24% (diferencia entre la producción antes y después del proyecto), lo que equivale 680,13 toneladas de aluminio.

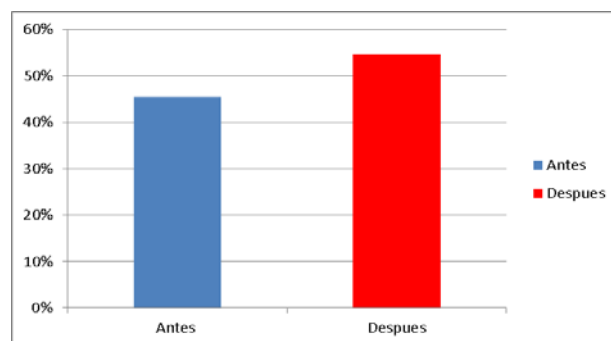


Figura 3.15 Grafica de la producción porcentual de anodizado

Fuente: Gráfica en Excel en base a la producción de CEDAL del Área de Anodizado

El control de temperatura es otro beneficio que se obtiene con la automatización, en la Figura 3.16, 3.17 y 3.18 se observa los valores de tendencias de temperaturas anteriores vs las actuales.

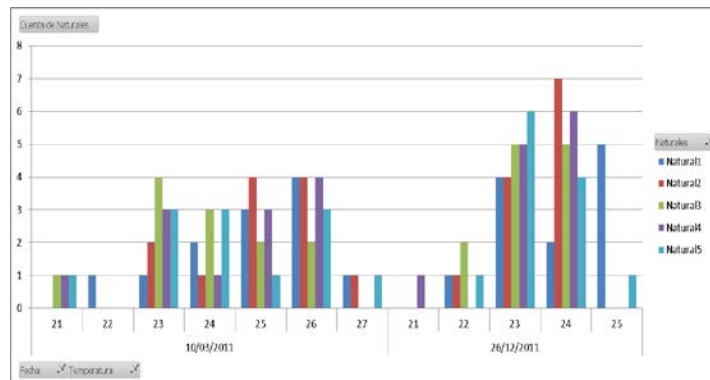


Figura 3.16 Tendencias de temperatura de los tanques naturales

Fuente: Empresa CEDAL

En la Figura 3.16 se evidencia que los datos obtenidos en los días de muestra, existe diferencia entre los valores anteriores y posteriores al proyecto, teniendo un 88,33%, comparado al 98,33% respectivamente, de los valores que se encuentran dentro del rango de 24 a 27 °C, luego de la implementación del proyecto, logrando obtener una mejora del 10%, en el control de las temperaturas.

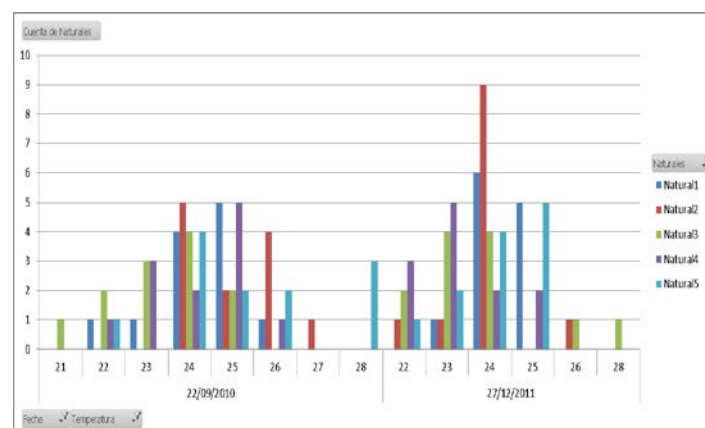


Figura 3.17 Tendencias de temperatura de los tanques naturales

Fuente: Empresa CEDAL

En la Figura 3.17 se puede visualizar que la tendencia de temperatura de los tanques naturales varía dentro del rango establecido (24 a 27 °C), presentando una mejoría en el control, teniendo un 98,33% de valores dentro del rango después de la implementación del proyecto, en comparación del 90% de la toma de datos anteriores, consiguiendo un mejoría de 8,33%. Además se observa en la Figura 3.17, que el valor de temperatura del tanque natural 3, tienen valores fuera del rango, esto se debe a la existencia de problemas en el intercambiador, inconvenientes que son mencionados en el tema de **ANÁLISIS DE TRANSFERENCIA DE CALOR DE LOS INTERCAMBIADORES**.

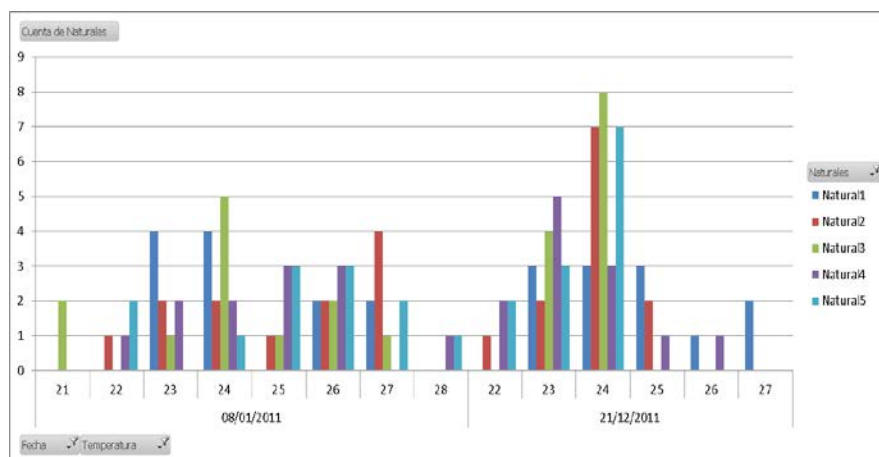


Figura 3.18 Tendencias de temperatura de los tanques naturales

Fuente: Empresa CEDAL

En la figura 3.18 se obtiene que las temperaturas anteriores estaban en rango en un 93%, mientras que después del proyecto existe un 98.5% de temperaturas dentro del rango (24 °C a 27 °C), con lo cual se demuestra la tendencia de la temperatura a mantenerse en el rango establecido, consiguiendo una mejora de 5,5%.

Mediante el mejoramiento de los valores de temperatura de funcionamiento de los tanques de anodizado (rango de 24 °C a 27 °C),

logramos evitar problemas en la generación de la capa de oxido de aluminio (los cuales fueron mencionados en el Capitulo **2.1.3 PROCESO DE ANODIZADO**, literal a), mejorando de esta manera la calidad de los acabados de los perfiles de aluminio.

En general en las graficas de análisis se puede observar que la tendencia de mantener la temperatura dentro del rango de trabajo (de 24 °C a 27 °C) de los tanques naturales ha mejorado en un 6% a un 9%.

Se puede decir que el proyecto ha cumplido con los fines planteados y que ha logrado mantener la temperatura de los tanques de anodizado y de coloreado de aluminio, a pesar del evidente aumento de producción de la empresa.

3.4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS Y VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

La automatización de las bombas del sistema de enfriamiento Chiller - Intercambiadores y Tanques-Intercambiadores, de los tanques naturales y de color, permite mantener una temperatura estable dentro del rango de 24 a 27 °C, logrando reducir los rechazos y tiempos perdidos por re-procesos.

En las Figuras 3.16, 3.17 y 3.18 se encuentran las gráficas de las tendencias de las temperaturas, en ellas se puede observar que la temperatura si se encuentra dentro del rango de 24 a 27 °C establecido como fin de este proyecto, además como se puede observar en la Figura 3.15, existe un incremento de producción de 9.2 %, manteniendo la calidad del acabado de los perfiles de aluminio, datos con los cuales se justifica la disminución de los tiempos muertos y los rechazos producidos por el procesos de anodizado.

Por lo descrito anteriormente el proyecto ha cumplido con sus fines propuestos habiéndose cumplido a cabalidad la hipótesis.

3.5 ANÁLISIS TÉCNICO/ECONÓMICO.

3.5.1 ELEMENTOS ADQUIRIDOS

Entre los elementos adquiridos constan dos grupos, el primero que corresponde a los equipos para el sistema Chiller-Intercambiadores y el segundo que tiene relación con sistema tanques-intercambiadores.

3.5.2 COTIZACIÓN

Para la realización del proyecto se realiza primero la cotización de los elementos requeridos para la automatización Chiller-Intercambiadores y luego para la automatización del sistema Tanques-Intercambiadores.

Cotización sistema tanques-intercambiadores

Para la realización del presente proyecto se hizo la adquisición de cables, breakers, entre otros equipos mencionados en la Tabla 2.25, además se adquirieron los variadores de frecuencia Power Flex 40, necesarios para la automatización del sistema de enfriamiento Tanque-Intercambiadores.

Cotización sistema Chiller-Intercambiadores

La automatización de este sistema comprende la adquisición del PLC con sus módulos, alambre AWG y los diferentes elementos necesarios para la realización del proyecto.

Tanto las cotizaciones de los elementos para el sistema Chiller - Intercambiadores y tanques-intercambiadores, se las realizo con ayuda de

empresas como LA LLAVE, REDDYOR y colaboración de personas particulares que trabajan como proveedores de la empresa.

3.5.3 COSTOS

Se detalla a continuación (Tabla 3.7 y Tabla 3.8) el listado general de elementos utilizados para realizar la automatización, tanto en el sistema de enfriamiento tanques-intercambiadores, como en el otro sistema de enfriamiento.

Tabla 3.7 Elementos del sistema tanques-intercambiadores

Elementos tanques-intercambiadores			
Cant	Descripción	Precio Unitario	Precio Total
6	Interruptor de 3 posiciones 2 NA	27,68	166,08
12	Borneras con fusibles	6,8	81,6
7	Relés de 3 contactos (SCHNEIDER ELECTRIC) de 110 voltios AC	10,5	73,5
1	Relés de 3 contactos (SCHNEIDER ELECTRIC) de 24 voltios DC	10,5	10,5
8	Bases de relés	8,75	70
12	Borneras de para cable de 14-16	1,6	19,2
1	Breaker de 125 Amperios	92,11	92,11
6	Breaker de 30 Amperios	90,3	541,8
1	Módulos de salidas análogas para PLC SLC 500	1780	1780
6	Variadores de frecuencia Power Flex 40	1249,9	7499,4
100m	Cable apantallado Blender de 8 pares #22.	3,25	325
300m	Cable AWG flexible #16	0,2321	69,63
200m	Cable sucre 4x12	3,098	619,6
3	Ventiladores con filtro 17*17	31,86	95,58
6	Ventiladores con filtro 12*12	22,86	137,16
1	Gabinete eléctrico 80*200*40	800	800
		TOTAL	12381,16

Elaborado por: Investigado

Tabla 3.8 Elementos del sistema Chiller –Intercambiadores

Elementos Chiller -Intercambiadores			
Cant	Descripción	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
2	Pulsador plano color Verde NA	15,53	31,06
2	Pulsador plano color Rojo NC	15,53	31,06
1	Interruptor de tres posiciones con contactos NA	27,68	27,68
2	Luz Verde indicadora (Tensión de 110 volt)	15,66	31,32
4	Luz Roja indicadora (Tensión de 110 volt)	15,66	62,64
1	Transformador de potencia de 1500VA voltaje de entrada 240/480 y en el secundario de 120/240 V	537,6	537,6
1	Fuente SITOP de voltaje, tensión de entrada 120/230, Salida 24 voltios DC.	353,7	353,7
1	Breaker trifásico 10 Amp	21,309	21,309
1	Porta fusibles 6 Amp	6,8	6,8
3	Porta fusibles 2 Amp	6,8	20,4
1	Breaker monofásico 4 Amp	3,84	3,84
5	Relé de 24 voltios (SCHNEIDER ELECTRIC), 3NA y 3NC	10,5	52,5
8	Relé de 110 voltios (SCHNEIDER ELECTRIC), 3NA y 3NC	10,5	84
13	Bases de relés (SCHNEIDER ELECTRIC), 3NA y 3NC	8,75	113,75
1	Gabinete eléctrico 80*80*40	60	200
60	Borneras para riel DIM	1	60
2	Riel DIM y canaleta ranurada	20	40
30m	Cable de termocupla tipo T	9	270
100m	Cable Flexible 16 AWG color Azul	0,2321	23,21
100m	Cable Flexible 16 AWG color Rojo	0,2321	23,21
1	PLC Allen Bradley 1100 (1763-L16BWA)	587	587
1	Módulos de expansión de entradas digitales (1762-IQ8)	155	155
1	Módulos de expansión de entradas análogas (1762-IF4)	327	327

Cant	Descripción	Precio Unitario	Precio Total
1	Módulos de expansión de salidas análogas (1762-OF4)	298	298
1	Módulos de expansión de termocuplas (1762-IT4)	457	457
Elaborado por: Investigador		Total:	3818,079 \$

$Cost_total_proyecto = cost_proyect(Chiller-intercamb) + cost_proyect(tanques-intercamb)$

$$Cost_total_proyecto = 12381,16 + 3818,079$$

$$Cost_total_proyecto = 16199.24 \$$$

El costo total de los dos proyectos corresponde a 16199.24 dólares, costos que ha asumido en su totalidad por la empresa.

En la Tabla 3.9 se encuentran los costos de los proyectos implementados en el mismo periodo de la instalación del sistema de control de temperatura, donde también se encuentra el grado de influencia del proyecto conforme su costo de instalación.

Tabla 3.9 Factor de recuperación del proyecto

Proyectos de inversión para anodizado	Costo de inversión (\$)	Factor de recuperación esperado
Chiller	400000,00	38,75%
Personal	216000,00	20,93%
tanque AE	400000,00	38,75%
Sistema de control de temperatura	16199,24	1,57%
Costo total	1032199,24 \$	

Elaborado por: Investigador

Fuente: Cedal

El factor de recuperación esperado debido a la implementación del sistema del control de temperatura, corresponde al 1,57%, según lo mostrado en la Tabla 3.9, siendo los beneficios obtenidos los mostrados en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10 Análisis de la afectación del proyecto

Análisis estimado de afectación del proyecto				
Producción 6 meses antes del proyecto (Toneladas)	Producción meses después del proyecto (Toneladas)	Variación de la producción mensual (Toneladas)	Ganancia de producción (\$)	Ganancia debido al proyecto (\$)
505,51	688,83	183,32	78460,96	1231,84
565,8	511,71	-54,09	-23150,52	-363,46
507,48	683	175,52	75122,56	1179,42
587,37	686,87	99,5	42586	668,6
576,49	679,89	103,4	44255,2	694,81
597,74	770,22	172,48	73821,44	1159
Ganancia promedio mensual				761,7 Dólares

Tomando en consideración la ganancia promedio mensual, a la cual hace referencia la Tabla 3.10, se calcula que el tiempo de recuperación del proyecto es de 21,3 meses, que es un periodo aproximado de dos años, tiempo que se encuentra dentro del rango de recuperación, de los tipos proyectos que buscan la automatización para mejorar la calidad de los productos elaborados.

$$\text{Tiempo de recuperación} = \text{Cost_total_proyecto} / \text{ganancia_promedio_mensual}$$

$$\text{Tiempo de recuperación} = 16199.24 / 761,7$$

$$\text{Tiempo de recuperación} = 21,3 \text{ meses.}$$

Obteniendo que el costo total del desarrollo del proyecto se ha recuperado en el periodo de 21,3 meses, siendo un rango de tiempo admisible considerando el costo de inversión.

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1 CONCLUSIONES.

- Se implementó un sistema automático para controlar las bombas del sistema de enfriamiento Chiller-Intercambiadores y tanques-intercambiadores, de los tanques naturales y de color, logrando mantener una temperatura estable dentro de rango de 24 a 27 °C, mejorando las condiciones de elaboración de los perfiles y por ende la calidad del producto.
- Se ha implementado un sistema de control PID, que permite realizar el control de temperatura de los tanques naturales y de color. Aplicándose el método II de Ziegler-Nichols para la selección de las constantes de calibración $T_d=6$, $T_i=9$ y $K_p=2,16$, con las cuales se logra mantener la temperatura estable de los tanques naturales y de color.
- La tendencia de temperatura de todos los naturales varían dentro del rango establecido, logrando alcanzar una mejora de un 6% a 9% con referencia a los valores registrados antes del proyecto, lo que permite el aumento de la producción ya que los tanques se encuentran en condiciones de trabajar a pesar de su continuo funcionamiento.
- El proyecto mejoró las condiciones de temperatura de trabajo de los tanques naturales y de color, logrando mejorar las características de la capa anódica (óxido de aluminio) y por ende la

calidad del acabado del producto, por lo que la cantidad de perfiles de aluminio que tienen que ser reprocesados a reducido.

- El sistema de control de temperatura tanques-intercambiadores no puede mantener la temperatura de los tanques de anodizado dentro del rango, cuando se presentan problemas en los intercambiadores, debiéndose esto a que la circulación de caudal disminuye siendo inferior a la necesaria para poder realizar un control de la temperatura del proceso.
- El chiller presenta inconvenientes debido a que el caudal que circula por su sistema no es el necesario para que funcione con normalidad, por lo que es necesario realizar un análisis de la configuración de su instalación para mejorar las condiciones de trabajo del equipo y evitar que presente problemas repetitivos.

4.2 RECOMENDACIONES.

- Tanto en la fase de diseño como la fase de implementación, el uso de los manuales de los equipos y la investigación realizada en internet es de vital importancia para el buen desenvolvimiento del proyecto.
- Se tienen que realizar la configuración de los equipos según las necesidades de la automatización, permitiendo que todos los equipos trabajen en buenas condiciones y en los rangos requeridos.
- Mediante una correcta distribución de cableado en los tableros de control y de potencia, se evita que puedan existir cortos circuitos o problemas por malas conexiones que puedan ocasionar daños a los equipos o a terceros.
- Para que no exista problemas en la toma de temperaturas de los tanques naturales y de color se debe evitar que las termocuplas entren en contacto con la solución, ya que esto ocasiona la toma de datos erróneos o inclusive puede ocasionar daños en el modulo de termocuplas del PLC SLC 500.
- Todos los trabajos se tienen que realizar con los equipos de seguridad adecuados, previniendo posibles lesiones o inclusive la muerte, sea por el contacto con alto voltaje, caídas de zonas elevadas o contactos con sustancias nocivas.

- La calibración de los parámetros del control PID son fundamentales para que el sistema funcione correctamente y esta se tiene que realizar según las necesidades del sistema.
- Para el diseño e instalación de los equipos de potencia se tiene que tener conocimientos previos de instrumentación industrial, sistemas de control, dibujo mecánico industrial, maquinas eléctricas, electrónica de potencia, entre otras, que incluyen los conocimientos necesarios al momento de realizar una automatización.
- La implementación de equipos de control y de potencia de la misma marca, Allen Bradley, permiten la estandarización de la maquinaria en la empresa, facilitando conseguir repuestos de una manera más versátil, rápida y sencilla, además disminuye los costos en la capacitación del personal, debido a que el personal se puede especializar solo para esos equipos.
- Los tanques naturales 1 y 2 son los que presentan mayores problemas en lo que comprende al control de temperatura, presentándose inconvenientes con su funcionamiento debido a su uso constante, siendo necesario la revisión de su funcionamiento y su configuración, para que se encuentre en óptimas condiciones de trabajo.
- Es necesario implementar un sistema SCADA para la empresa CEDAL S.A. que permita la adquisición y análisis de las variables del sistema, debido a que los datos de temperatura de los tanques de anodizado son adquiridos de manera manual y no son suficientes para realizar una buen investigación de funcionamiento.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- ROCA, A. (2002). Control de Procesos (pp. 136). México: Alfaomega.
- NAVARRO, R. (2004). Ingeniería de Control Analógica y Digital (pp. 146). México: Mc CRAW-HILL/INTERAMERICANA.
- Ramón, P. M (2002). Ingeniería de automatización industrial (pp. 19,20-22). México: Alfaomega.
- Ramón, P. M (2002). Ingeniería de automatización industrial (pp. 11-15). México: Alfaomega.
- CREUS, A (2006). Instrumentación Industrial (pp. 246). México: Alfaomega.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

CREUS, A. (2007). Simulación y control de procesos por ordenador. México: MARCOMBO-Alfaomega.

CREUS, A. (1998). Instrumentación Industrial. México: Alfaomega.

CREUS, A. (2006). Instrumentación Industrial. México: Alfaomega.

COELLO, Claudio; La práctica de la anodización; Madrid-1: Centro de desarrollo del aluminio, S. A.

PAGINAS CONSULTADAS

- <http://www.measurecontrol.com/anodizado-del-aluminio/>
- http://es.wikipedia.org/wiki/Intercambiador_de_calor
- <http://www.hidroterm.com.ve/documentacion/intercambiadoresdecalor.pdf>
- <http://www.cie.unam.mx/~ojs/pub/HeatExchanger/Intercambiadores.pdf>
- <http://www.kbernet.com/palaa/docu/variadores.pdf>
- <http://html.rincondelvago.com/pcl.html>
- <http://isa.uniovi.es/docencia/iea/teoria/plc.pdf>
- <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/2674/1/36068-1.pdf>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Termopar>
- http://www.sapiensman.com/medicion_de_temperatura/termocuplas.htm

ANEXO A

GLOSARIO

Cuba electrolítica.- es un recipiente en el cual se lleva a cabo el proceso de la electrólisis.

Termocupla.- es un transductor formado por la unión de dos metales distintos que produce un voltaje (efecto Seebeck), que es función de la diferencia de temperatura entre uno de los extremos denominado "punto caliente" o unión caliente o de medida y el otro denominado "punto frío" o unión fría o de referencia.

Anodizado.- es un proceso electroquímico industrial aplicado al aluminio para aumentar el espesor creando una densa capa de óxido de aluminio, la cual proporciona al metal una mayor resistencia a la abrasión y a los agentes químicos y atmosféricos.

Osmosis.- es un fenómeno físico relacionado con el comportamiento de un sólido como soluto de una solución ante una membrana semipermeable para el solvente pero no para los solutos.

Variador de Frecuencia.- Un variador de frecuencia es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC) por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor.

Canaleta.- Es un elemento que protege y oculta los cables de red sin tener que desperdiciar tiempo haciendo pasar los tramos de cables detrás de la pared.

Riel DIM.- Un carril DIN o rail DIN es una barra de metal normalizada de 35 mm de ancho con una sección transversal en forma de sombrero. Es

muy usado para el montaje de elementos eléctricos de protección y mando, tanto en aplicaciones industriales como en viviendas.

Solución.- Una solución (o disolución) es una mezcla de dos o más componentes, perfectamente homogénea ya que cada componente se mezcla íntimamente con el otro, de modo tal que pierden sus características individuales.

Intercambiador.- Es un dispositivo diseñado para transferir calor entre dos medios, que estén separados por una barrera o que se encuentren en contacto.

Oxidación.- La oxidación es una reacción química donde un metal o un no metal ceden electrones, y por tanto aumenta su estado de oxidación.

Micras.- Es la unidad de longitud equivalente a una millonésima parte de un metro. Su símbolo científico es μm .

Cátodo.- Es el electrodo en el que se produce la reacción de reducción

Ánodo.- Es el electrodo positivo de una célula electrolítica, hacia el que se dirigen los iones negativos, que por esto reciben el nombre de aniones.

set point.- Es cualquier punto de ajuste de alguna variable de un sistema de control automático. Puede ser: Nivel; presión, temperatura; desplazamiento; rotación; etc.

Ladder.- Son esquemas de uso común para representar la lógica de control de sistemas industriales.

Cisterna.- Es un depósito subterráneo que se utiliza para recoger y guardar agua de lluvia (aljibe) o procedente de un río o manantial.

Dureza (agua).- Es una característica química del agua que está determinada por el contenido de carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos y ocasionalmente nitratos de calcio y magnesio.

PPM.- Es una unidad de medida de concentración. Se refiere a la cantidad de unidades de la sustancia (agente, etc.) que hay por cada millón de unidades del conjunto.

PH.- Es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución.

Poliestireno.- Es un polímero termoplástico que se obtiene de la polimerización del estireno.

Salmuera.- Es agua con una alta concentración de sal (NaCl) disuelta.

ANEXO B

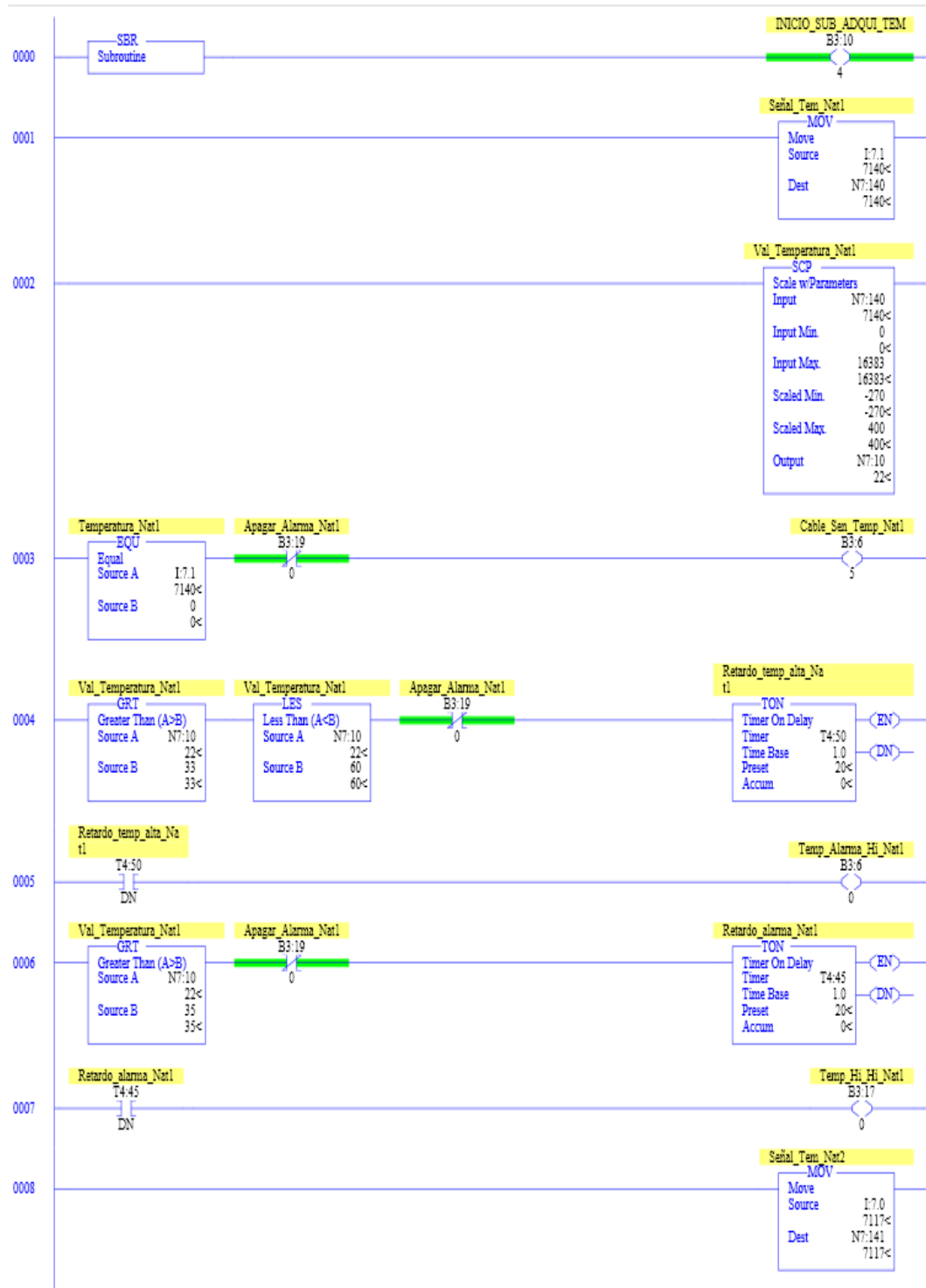
LAD 2 - CONF_MODUL --- Total Rungs in File = 17



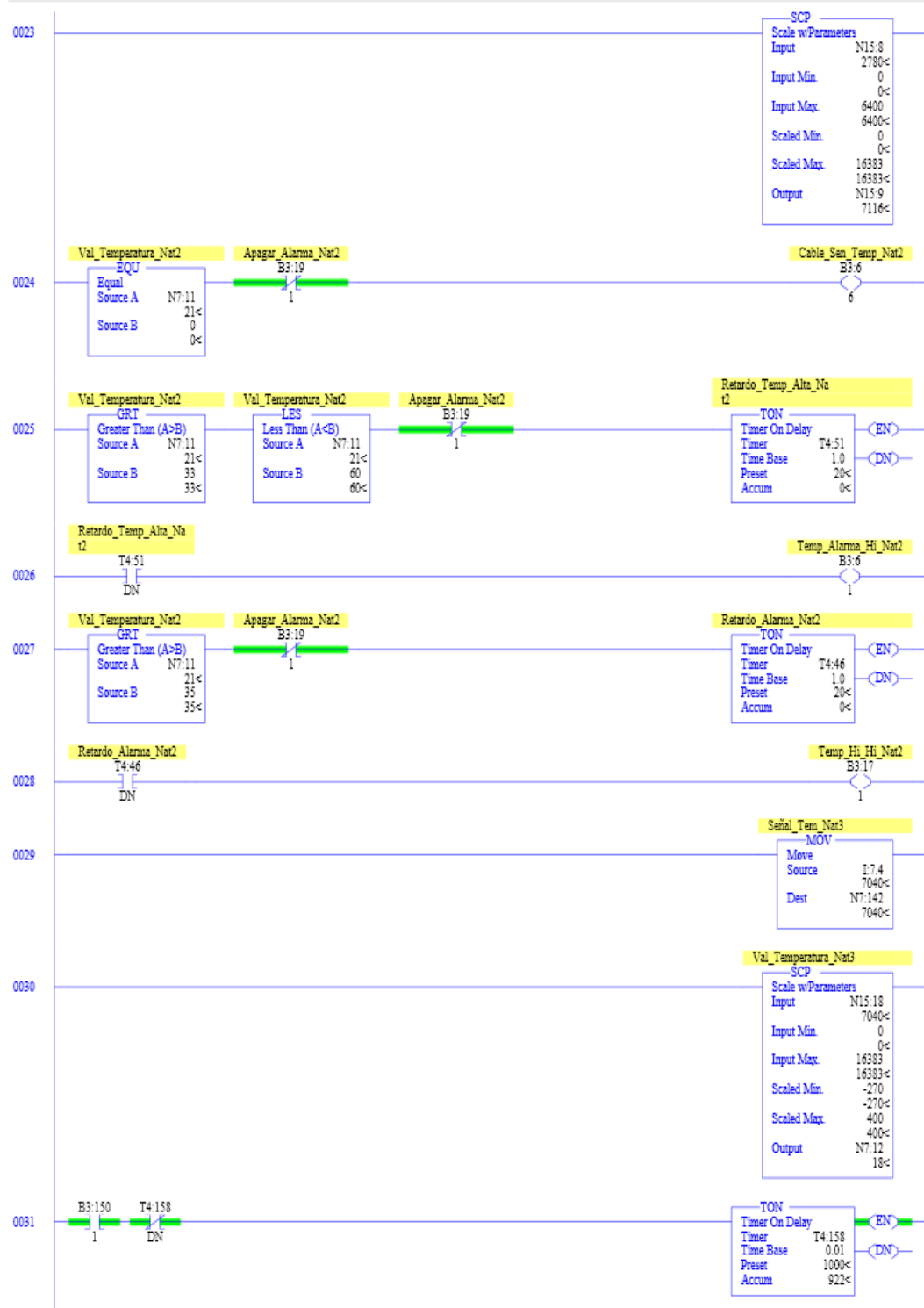
LAD 2 - CONF_MODUL --- Total Rungs in File = 17



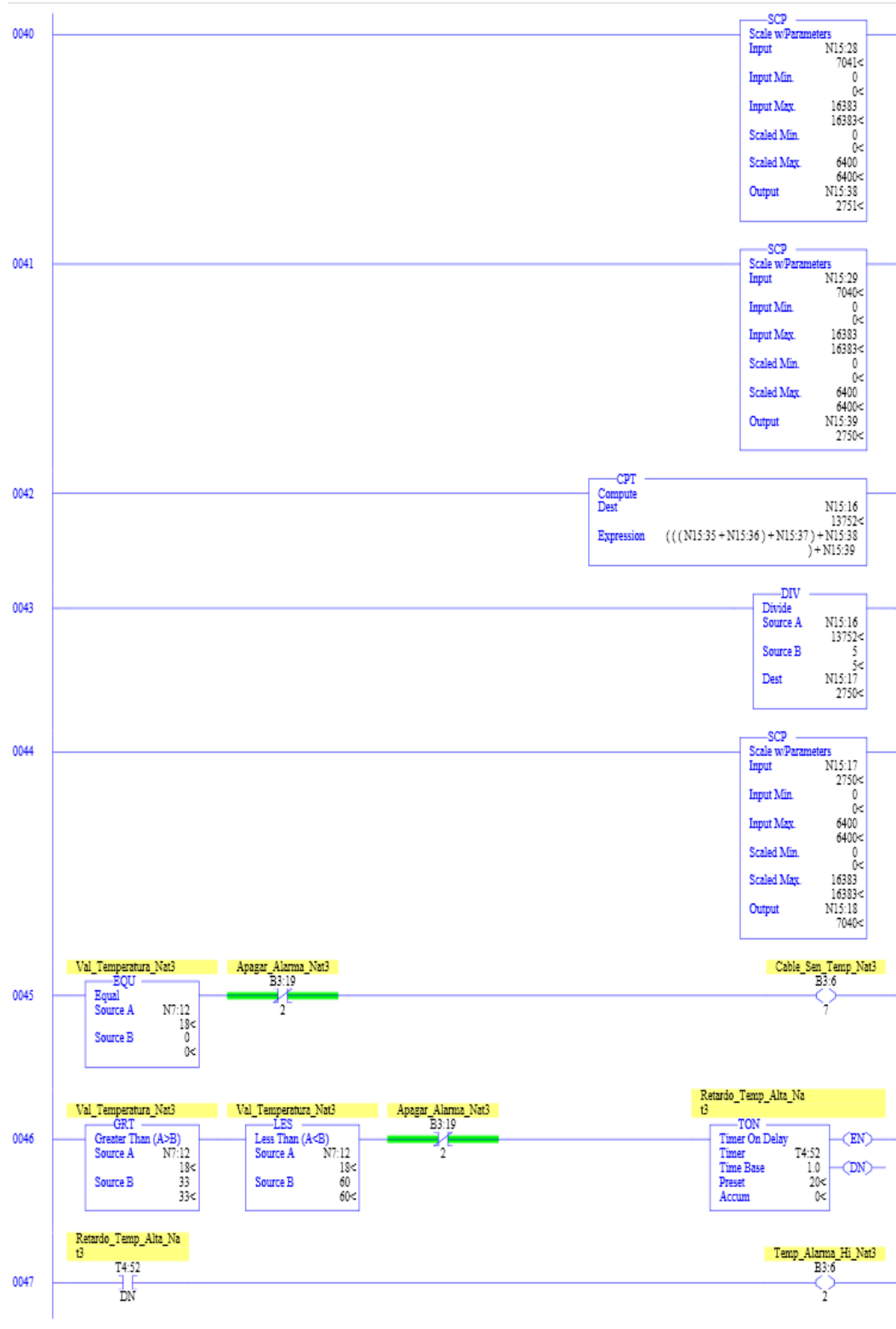
LAD 7 - ADQUI_TEMP --- Total Rungs in File = 98



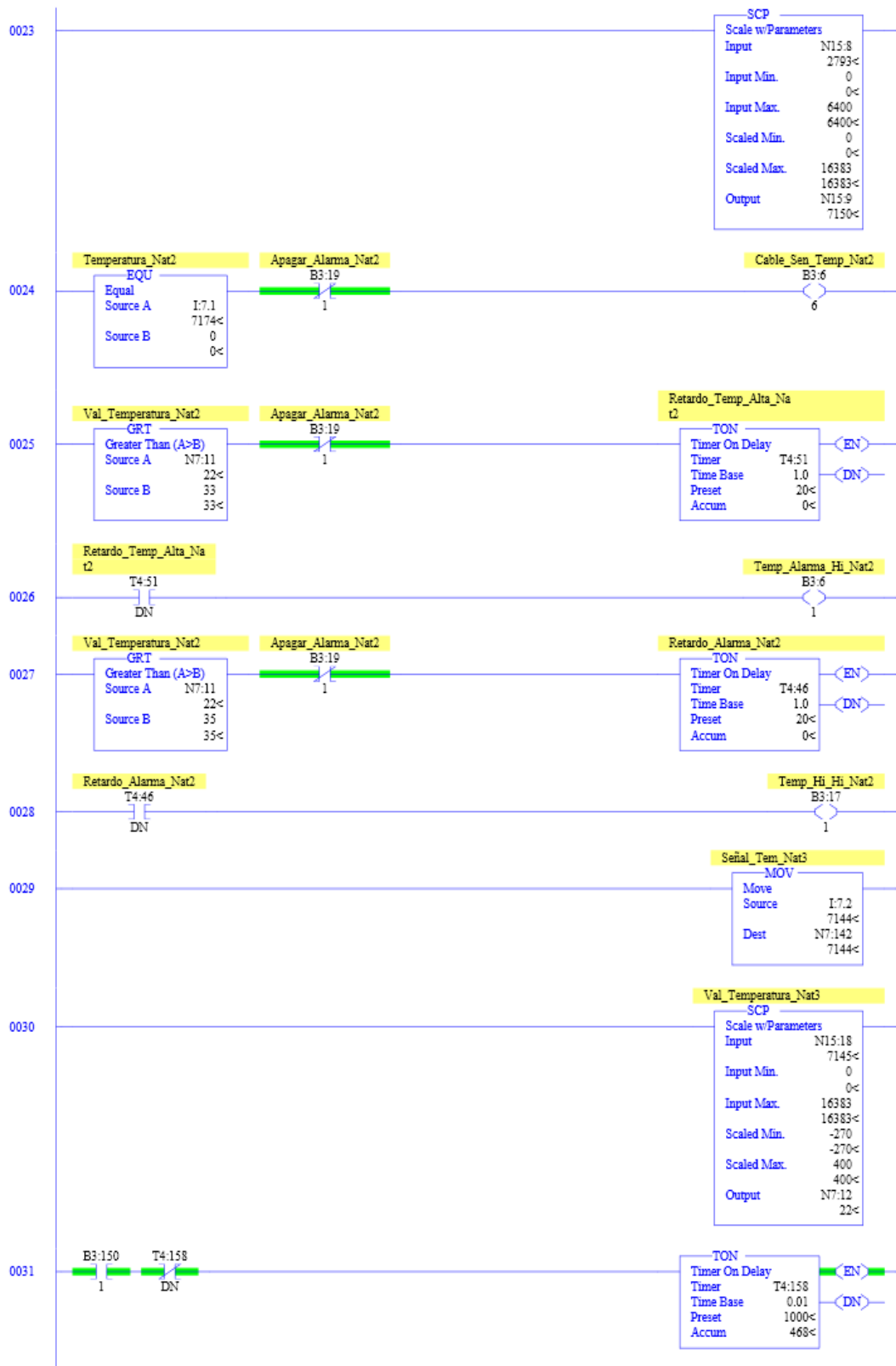
LAD 7 - ADQUI_TEMP --- Total Rungs in File = 93



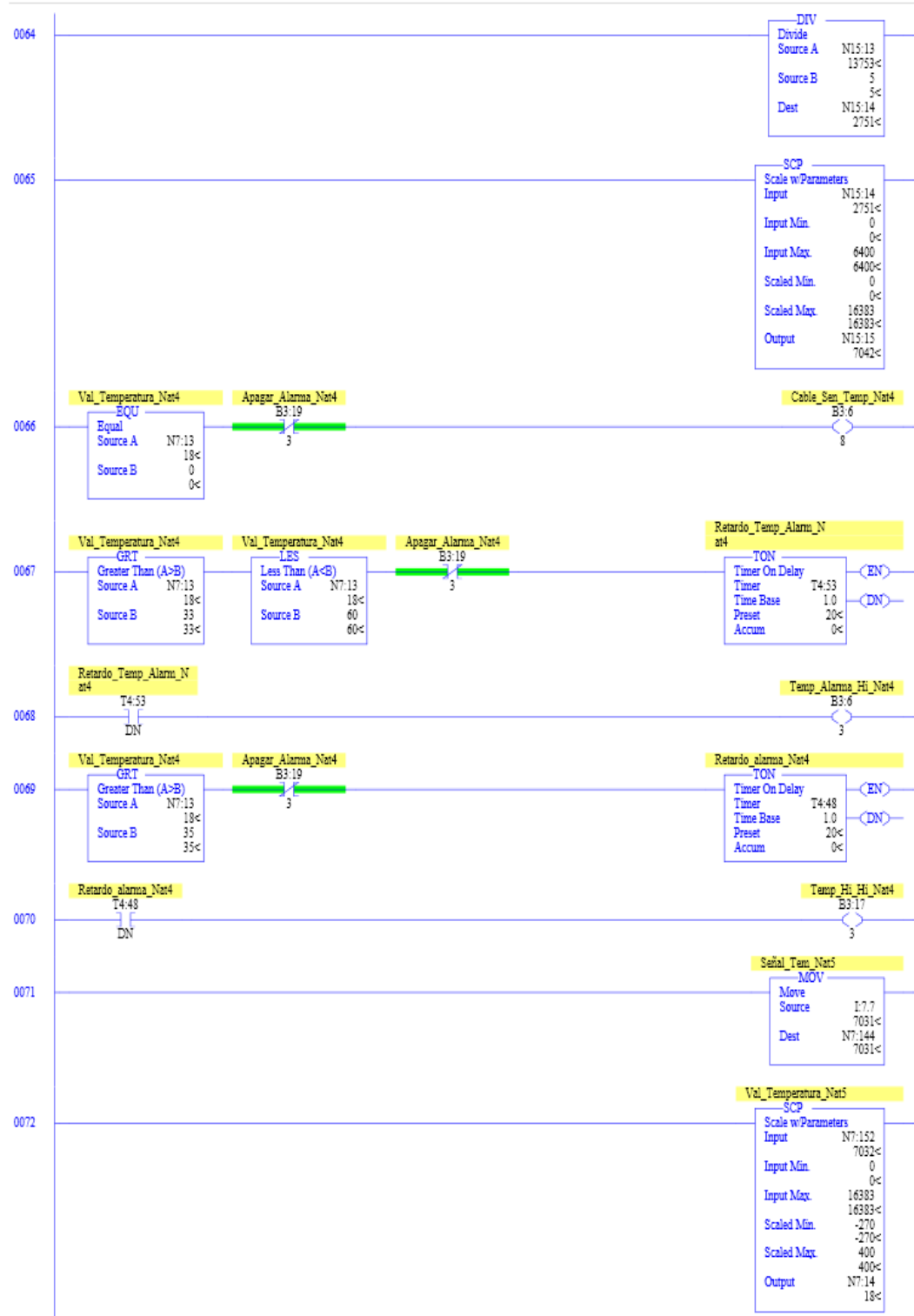
LAD 7 - ADQUI_TEMP --- Total Rungs in File = 98



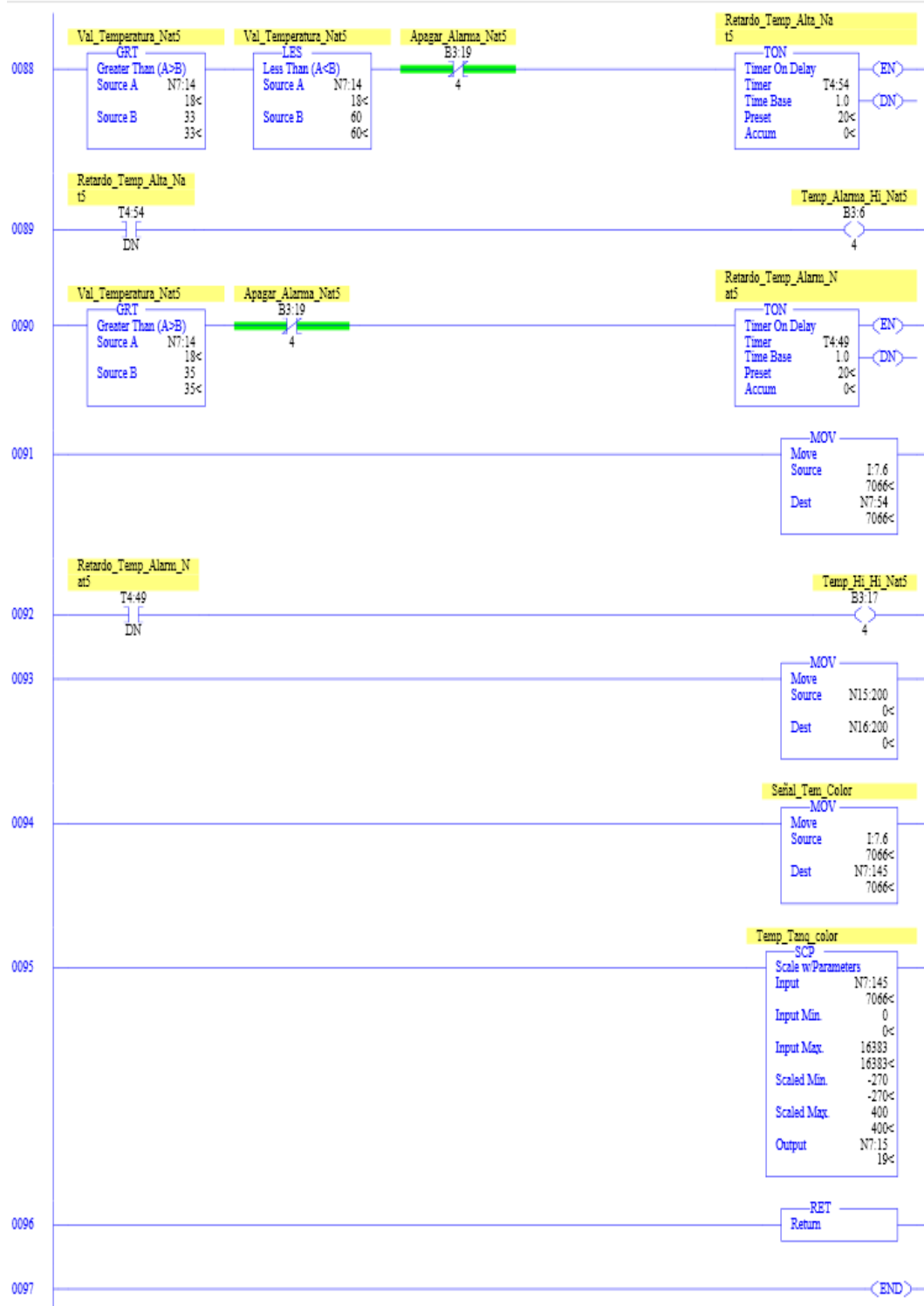
LAD 7 - ADQUI_TEMP --- Total Rungs in File = 98



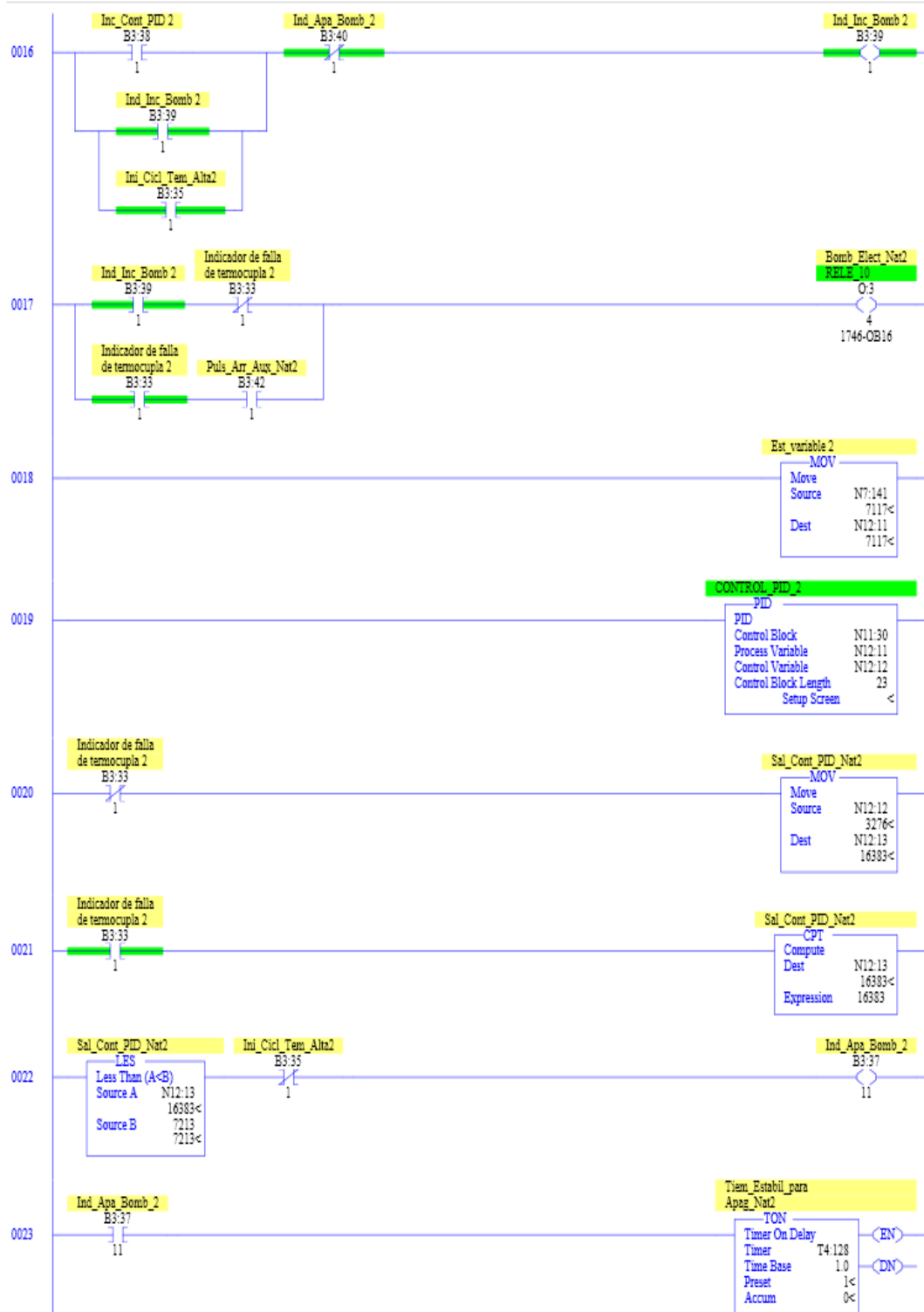
LAD 7 - ADQUI_TEMP --- Total Rungs in File = 98



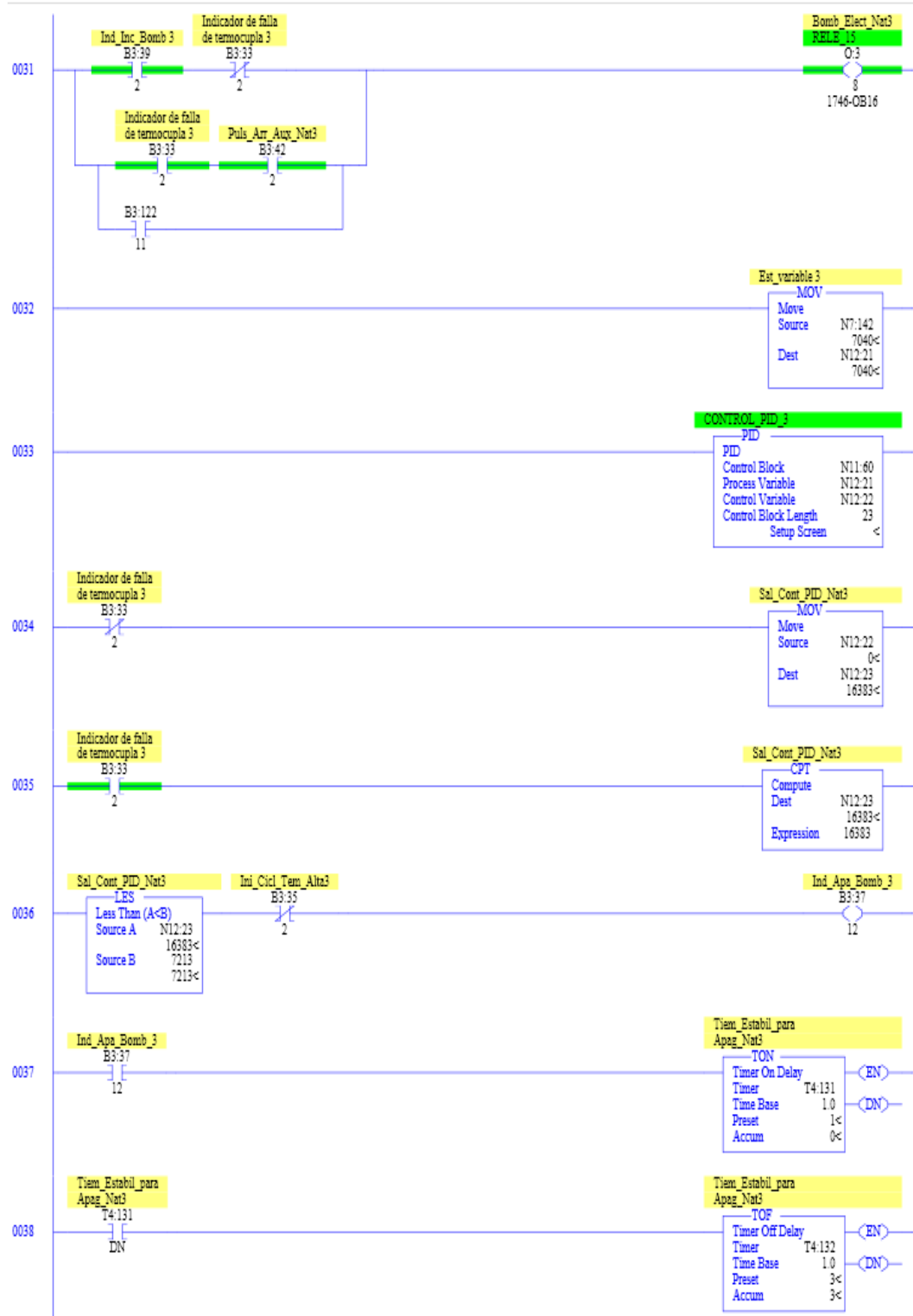
LAD 7 - ADQUI_TEMP --- Total Rungs in File = 98



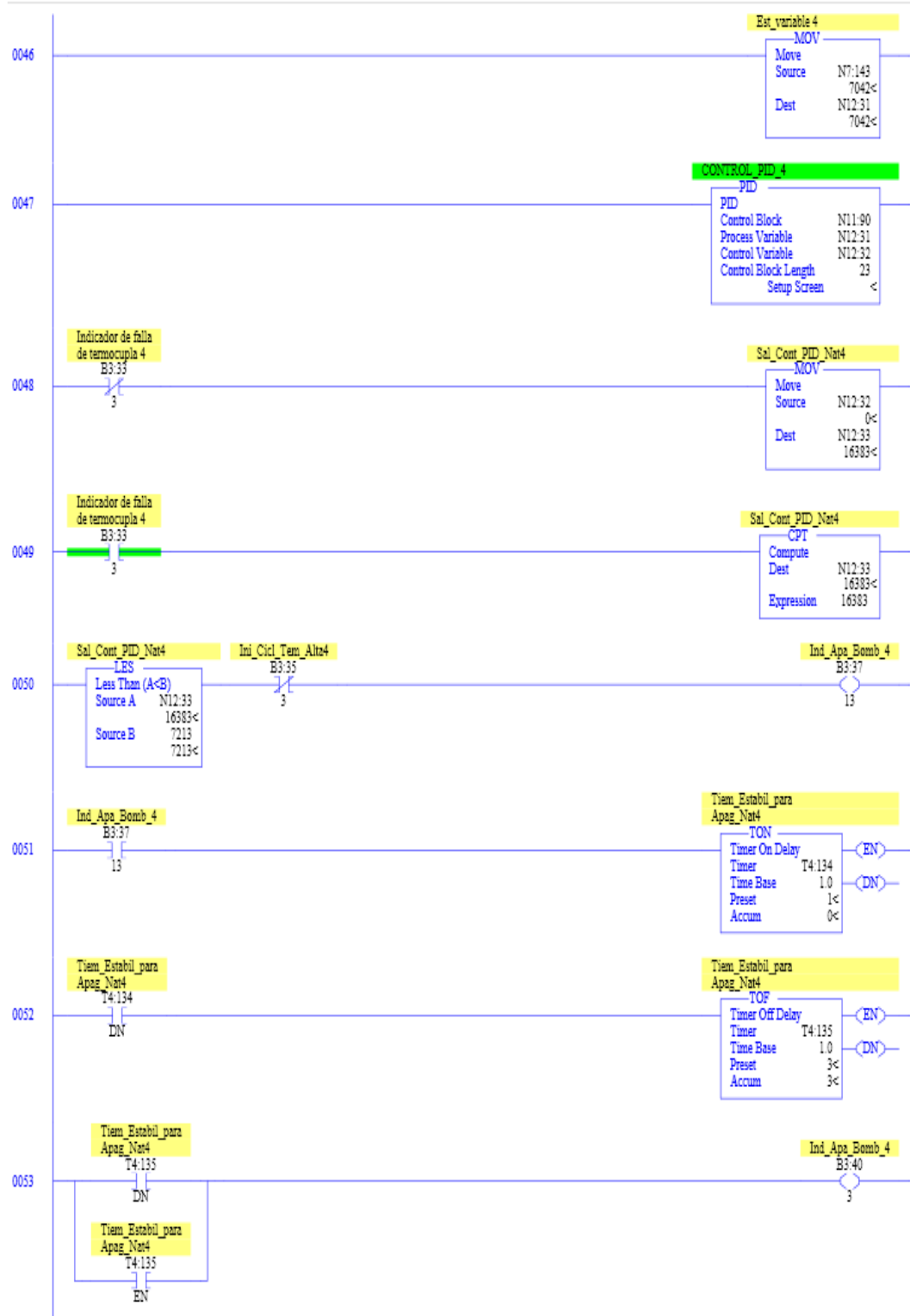
LAD 14 - CONT_PID - Control del tanque natural 1 --- Total Rungs in File = 81



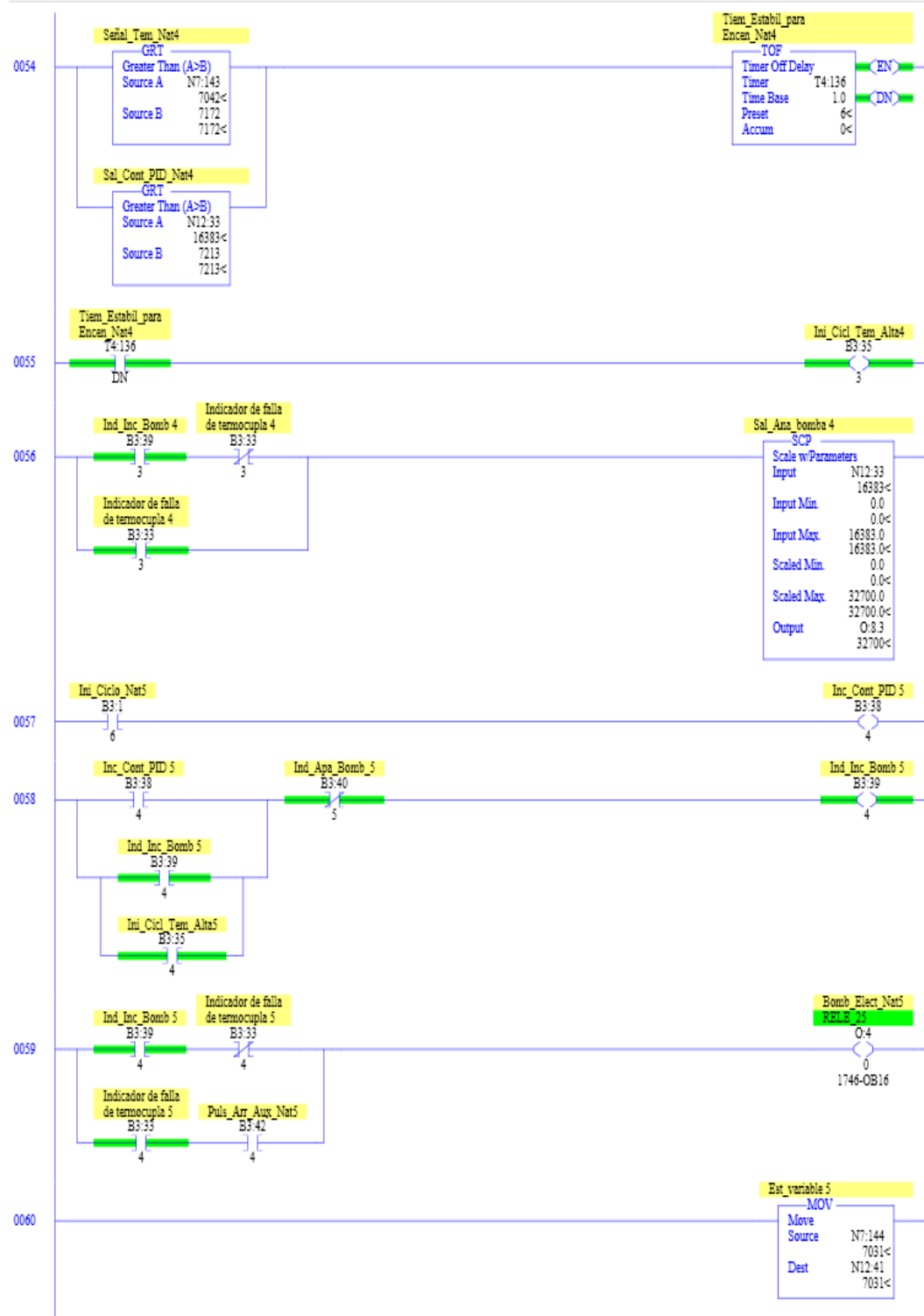
LAD 14 - CONT_PID - Control del tanque natural 1 --- Total Rungs in File = 81



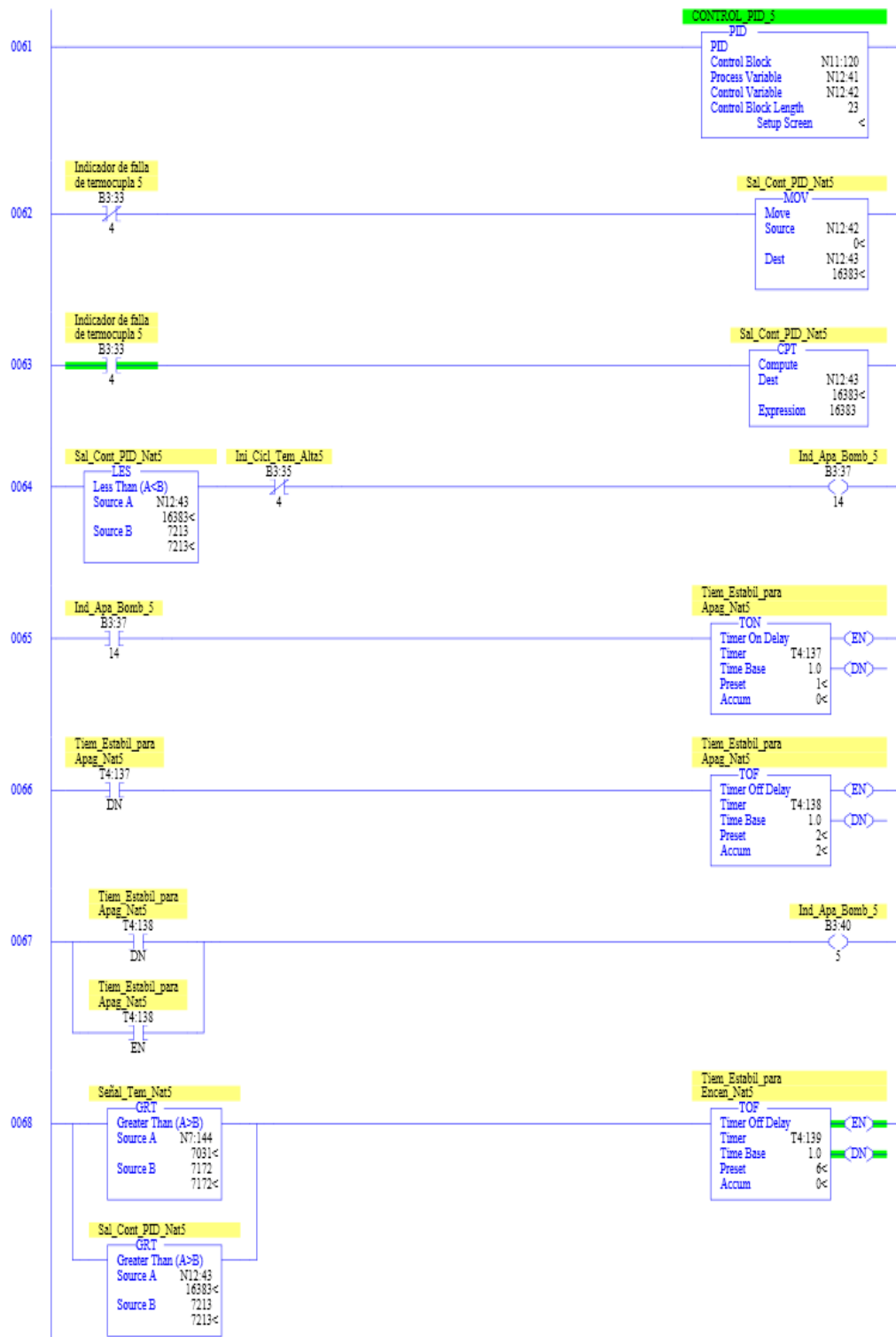
LAD 14 - CONT_PID - Control del tanque natural 1 --- Total Rungs in File = 81



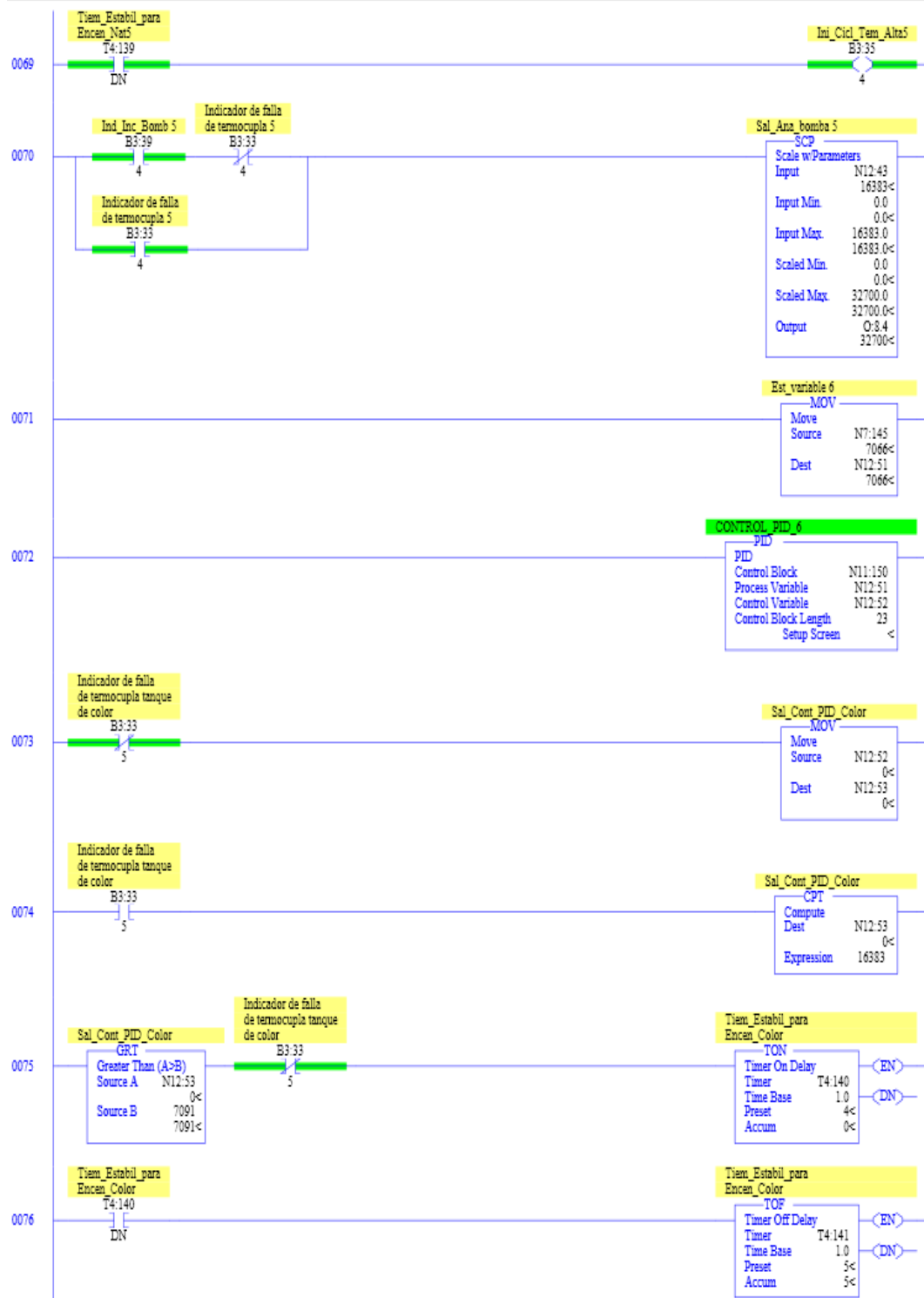
LAD 14 - CONT_PID - Control del tanque natural 1 --- Total Rungs in File = 81



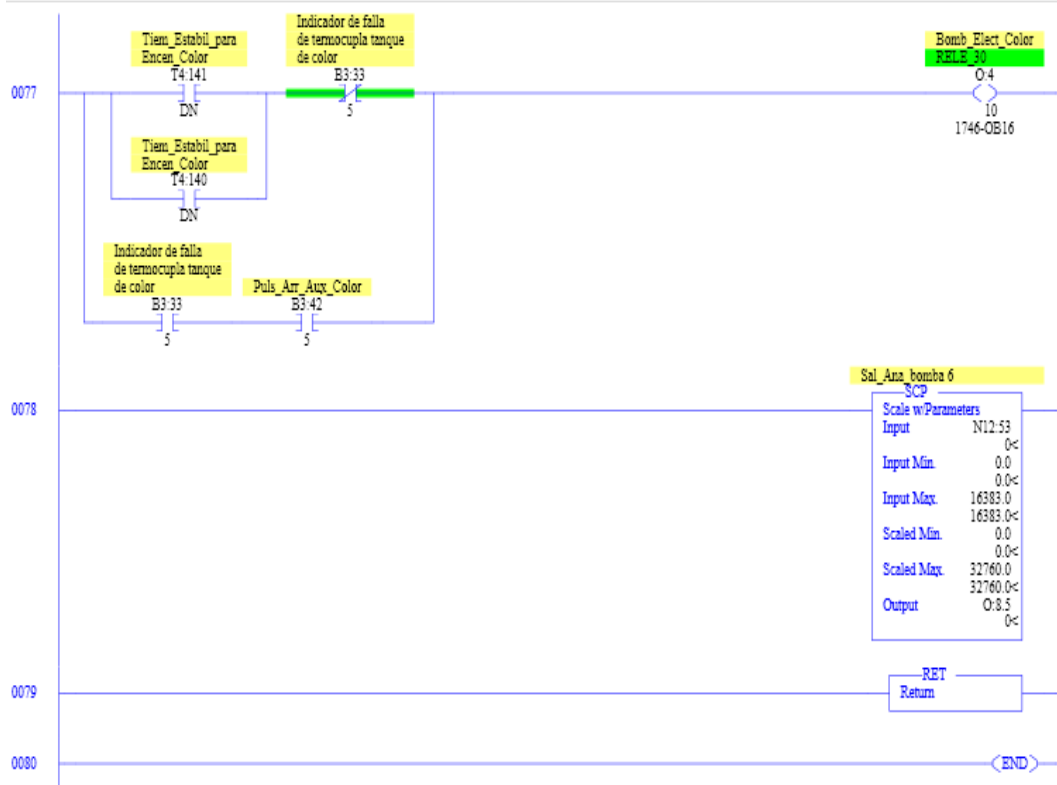
LAD 14 - CONT_PID - Control del tanque natural 1 --- Total Rungs in File = 81



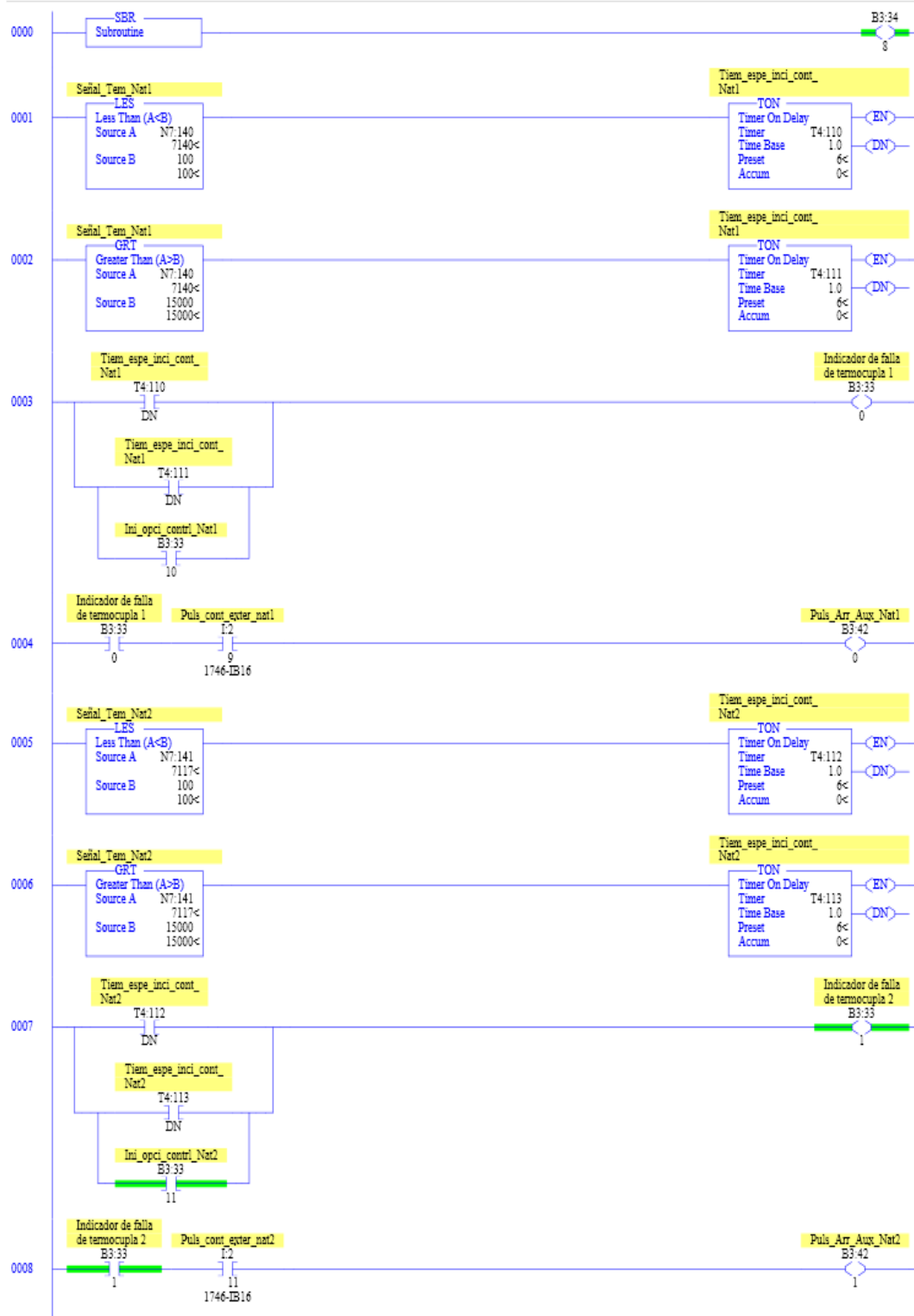
LAD 14 - CONT_PID - Control del tanque natural 1 --- Total Rungs in File = 81



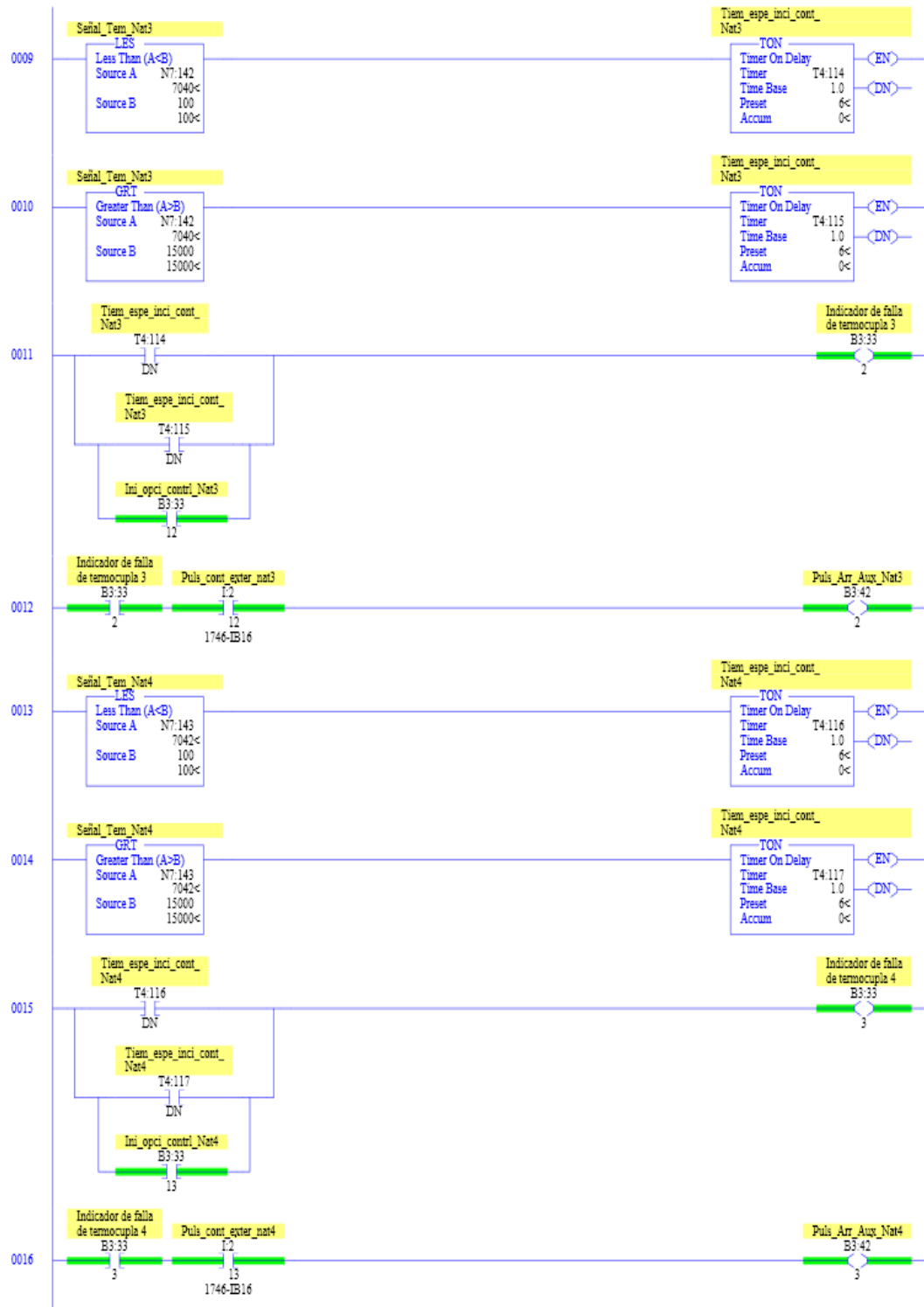
LAD 14 - CONT_PID - Control del tanque natural 1 --- Total Rungs in File = 81



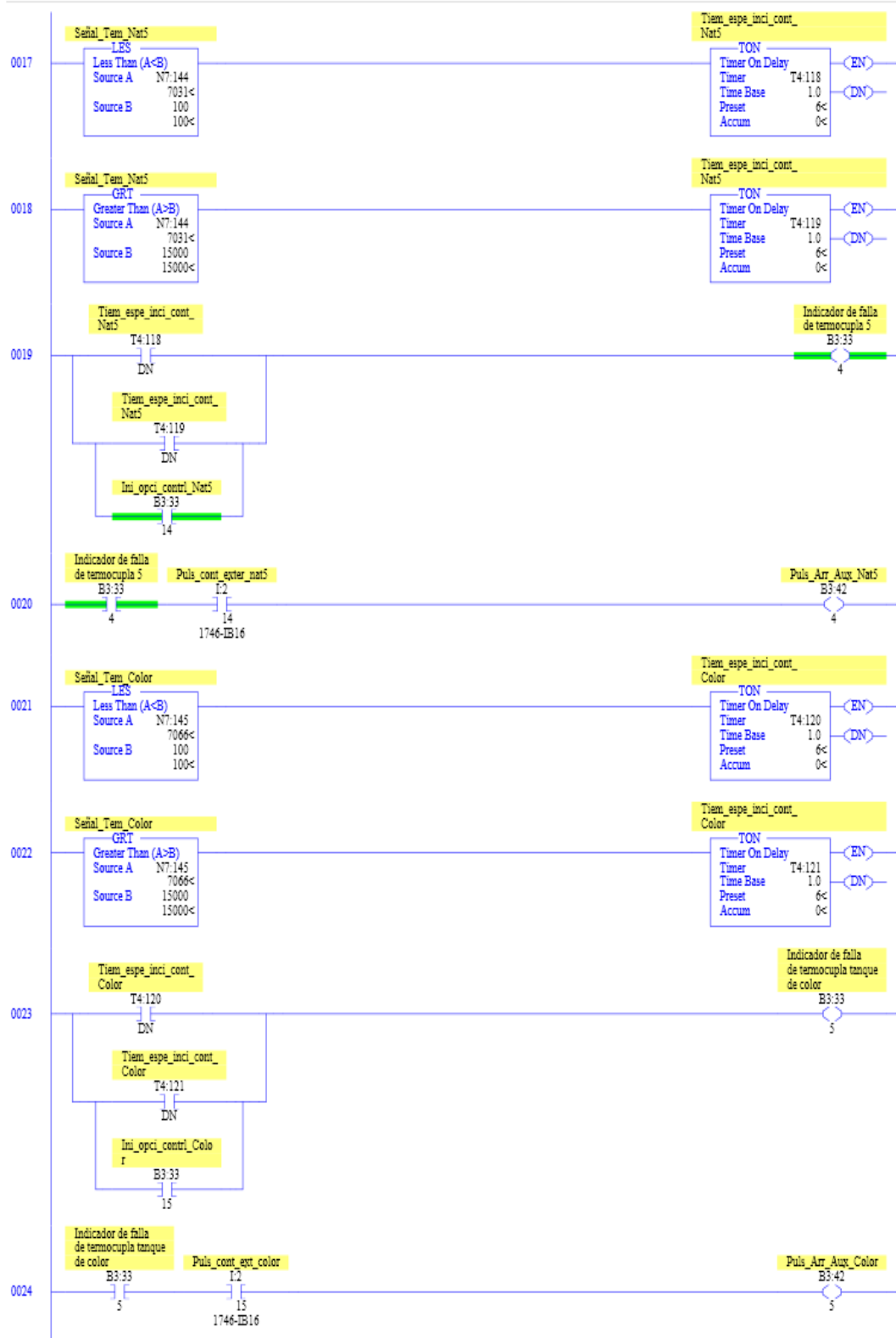
LAD 15 - CONT_AUX --- Total Rungs in File = 27



LAD 15 - CONT_AUX --- Total Rungs in File = 27



LAD 15 - CONT_AUX --- Total Rungs in File = 27



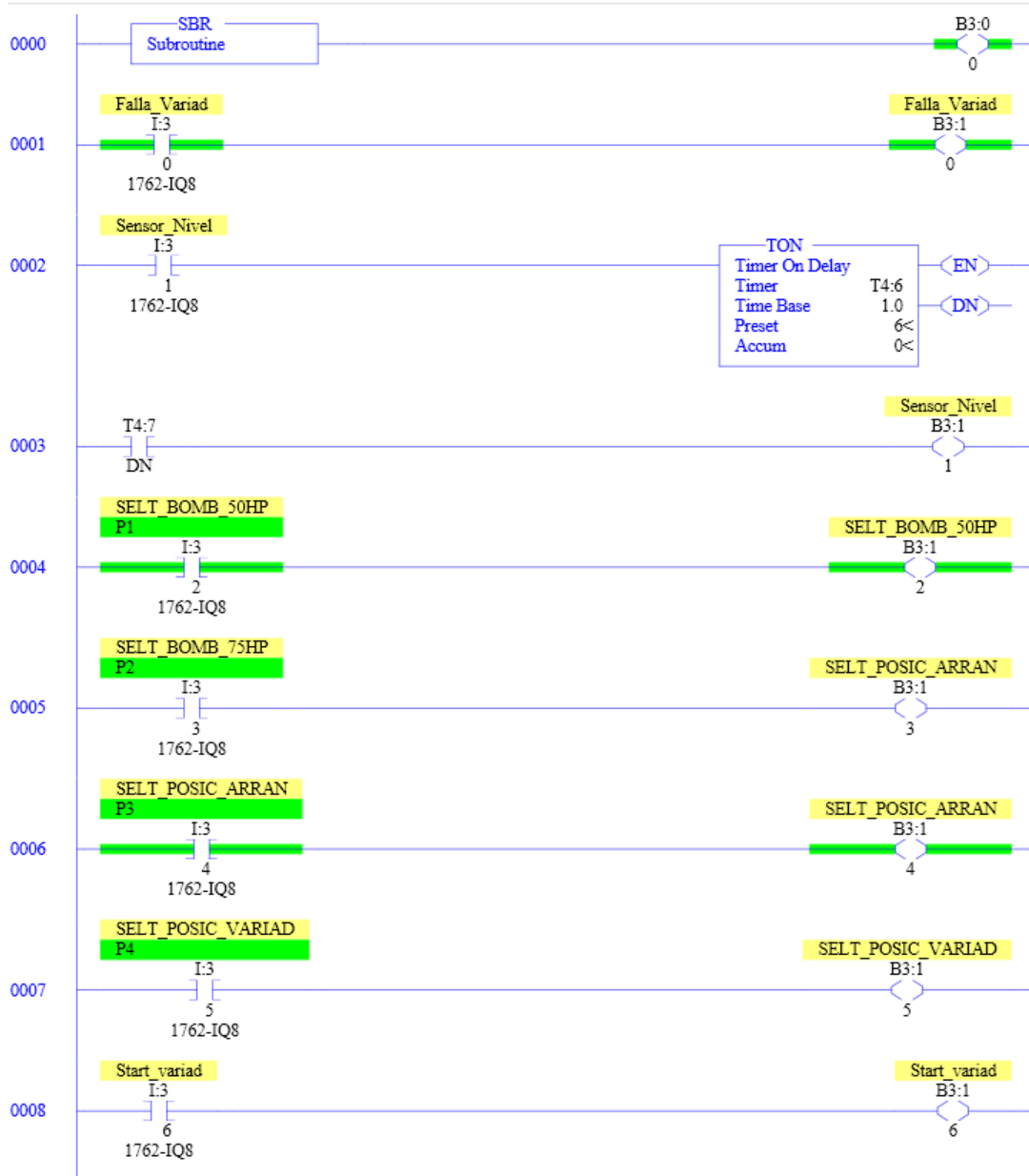
CONTROL DEL SISTEMA CHILLER-INTERCAMBIADORES

LAD 2 - PRINCIPAL --- Total Rungs in File = 9



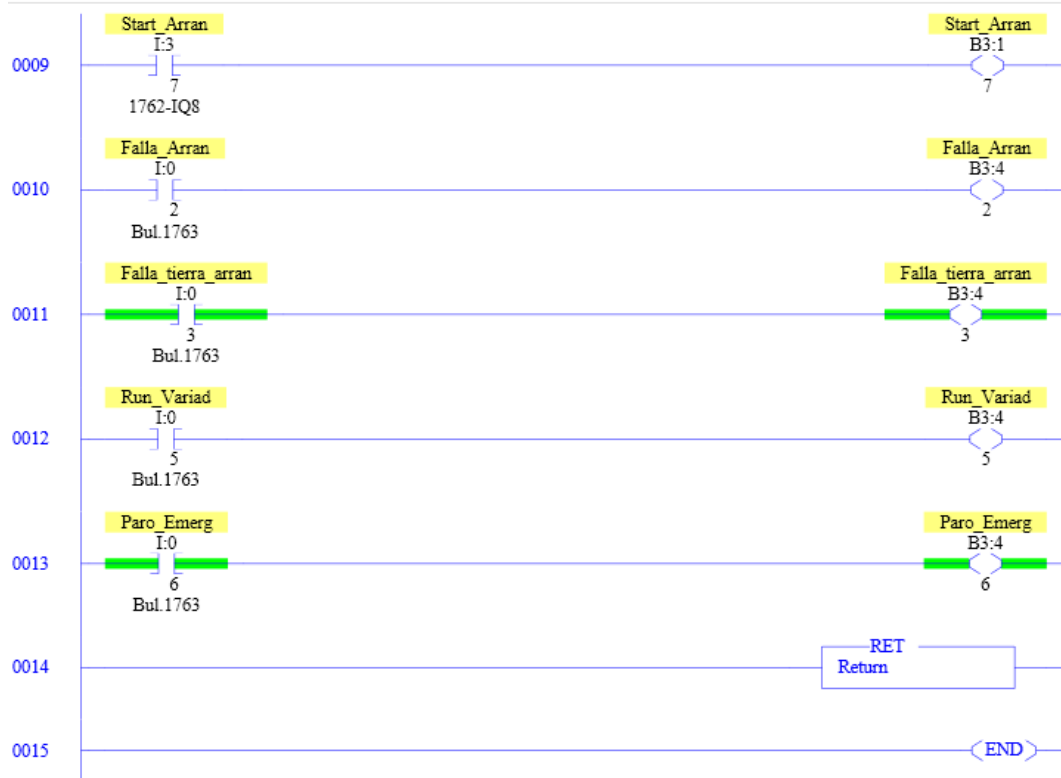
CONTROL DEL SISTEMA CHILLER-INTERCAMBIADORES

LAD 3 - ENTRADAS --- Total Rungs in File = 16



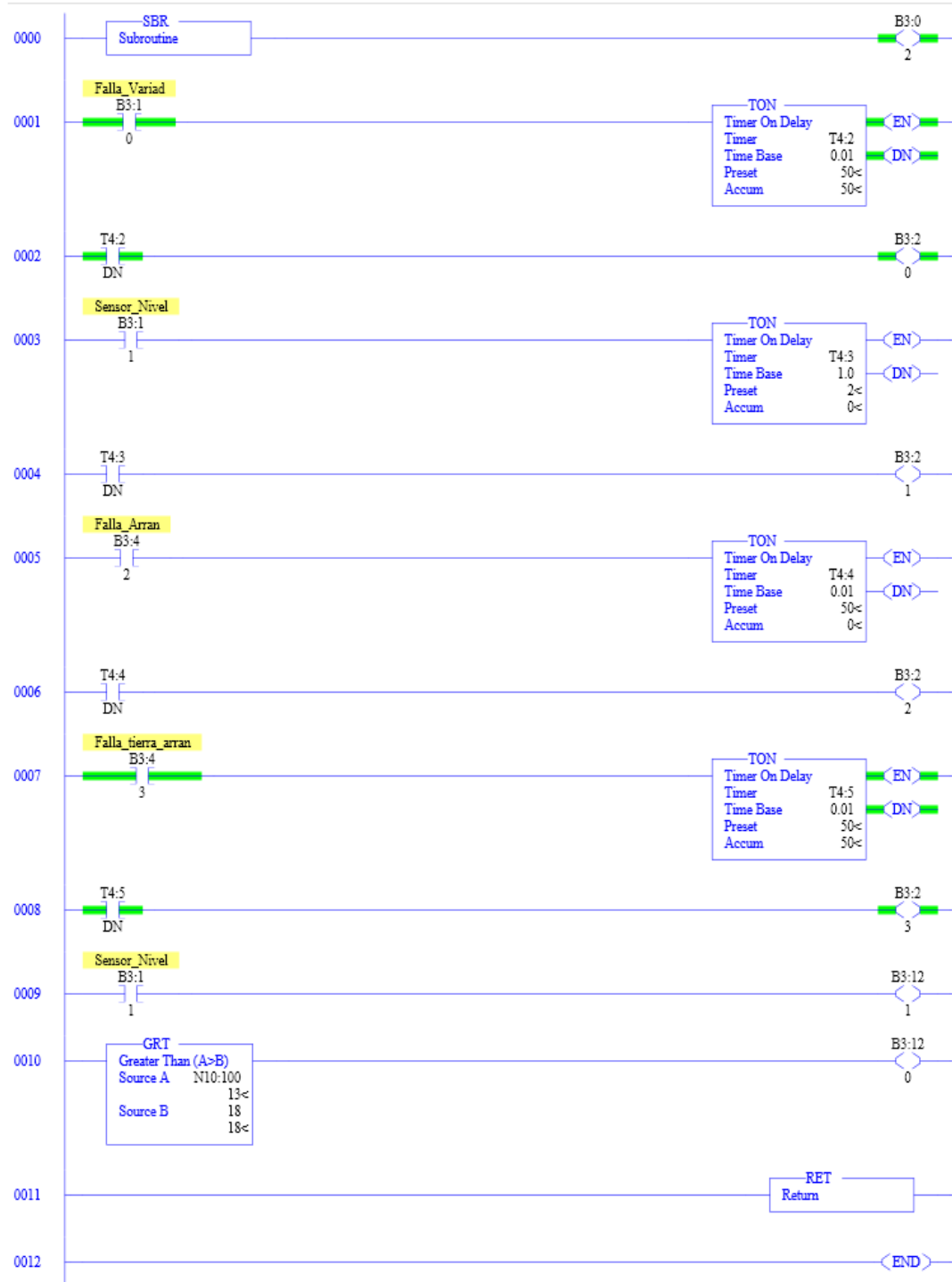
CONTROL DEL SISTEMA CHILLER-INTERCAMBIADORES

LAD 3 - ENTRADAS --- Total Rungs in File = 16



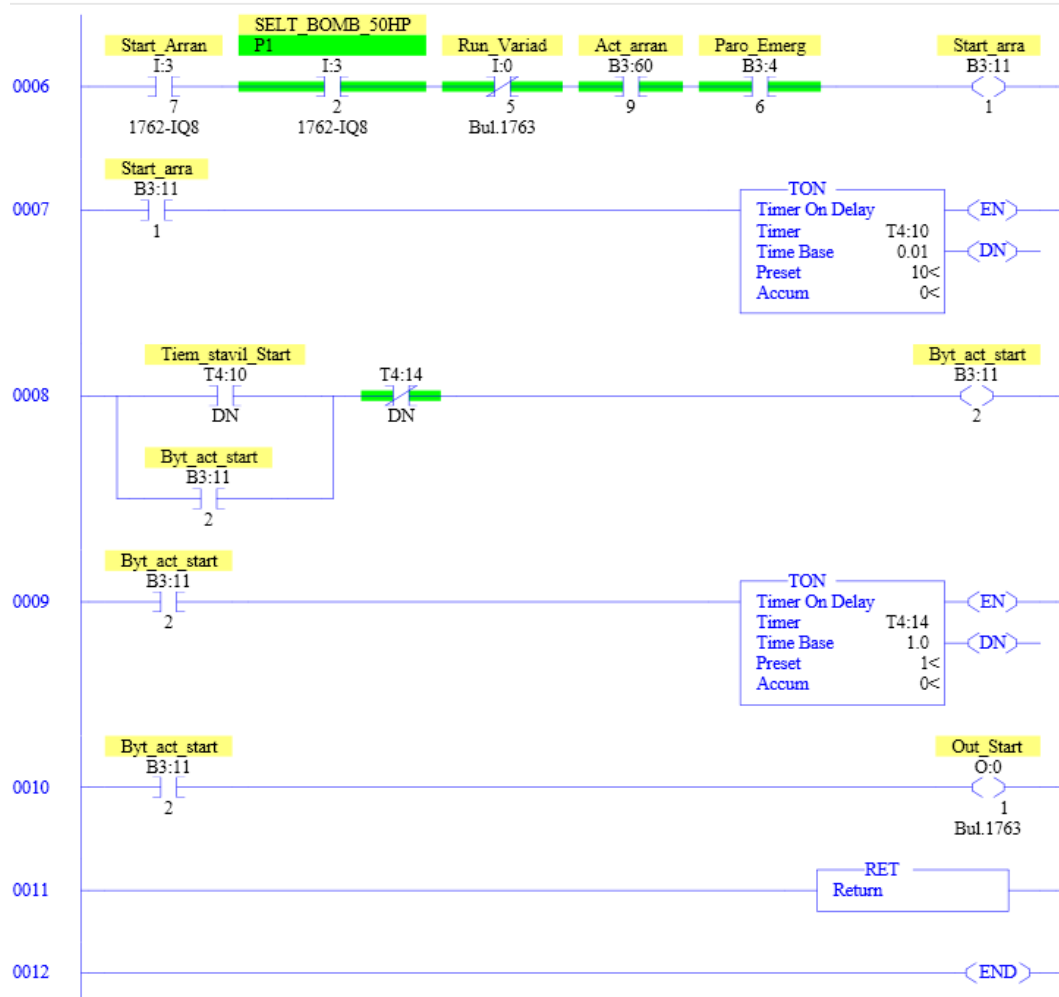
CONTROL DEL SISTEMA CHILLER-INTERCAMBIADORES

LAD 4 - ALARMAS --- Total Rungs in File = 13



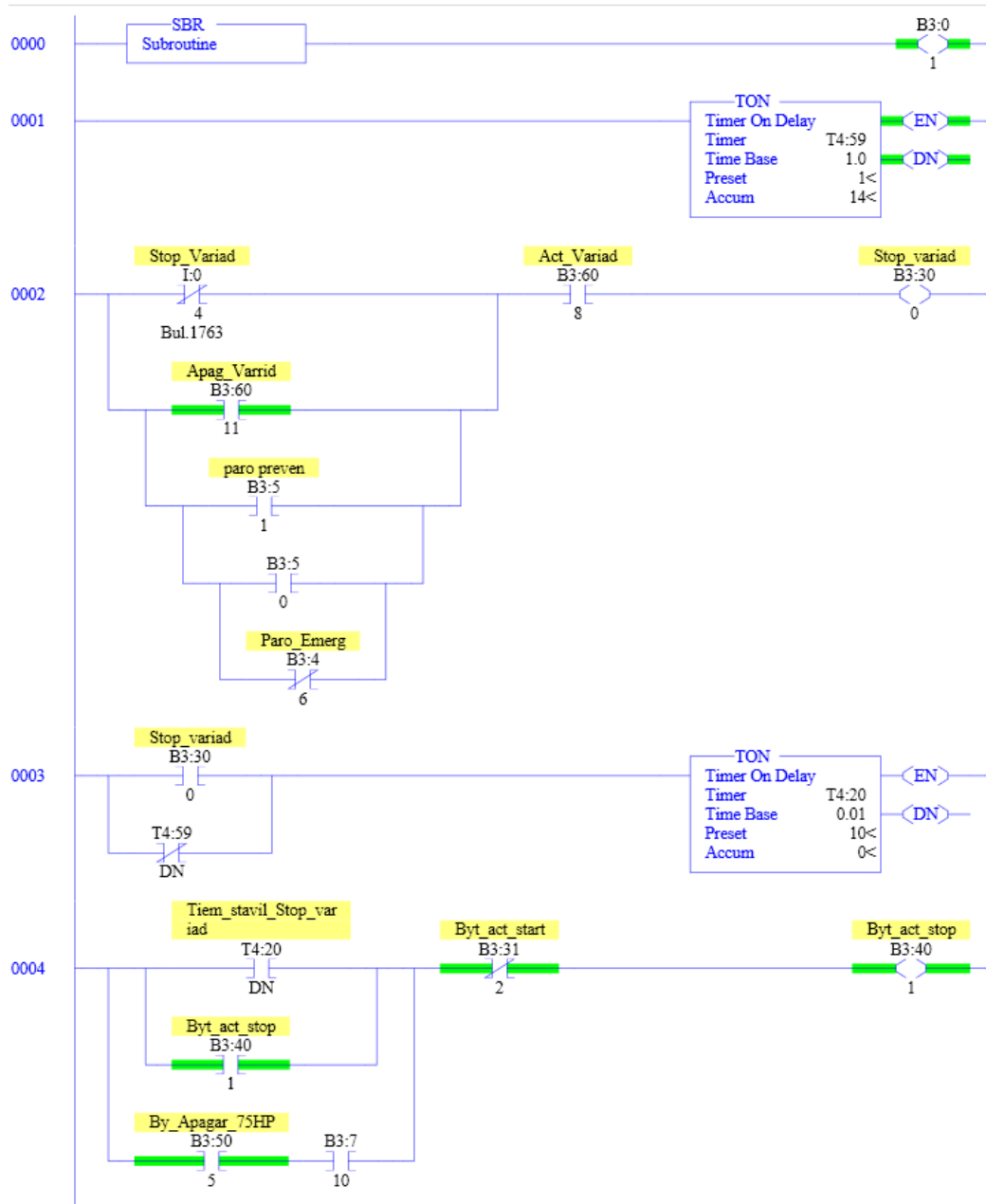
CONTROL DEL SISTEMA CHILLER-INTERCAMBIADORES

LAD 5 - CONT_ARRAN --- Total Rungs in File = 13



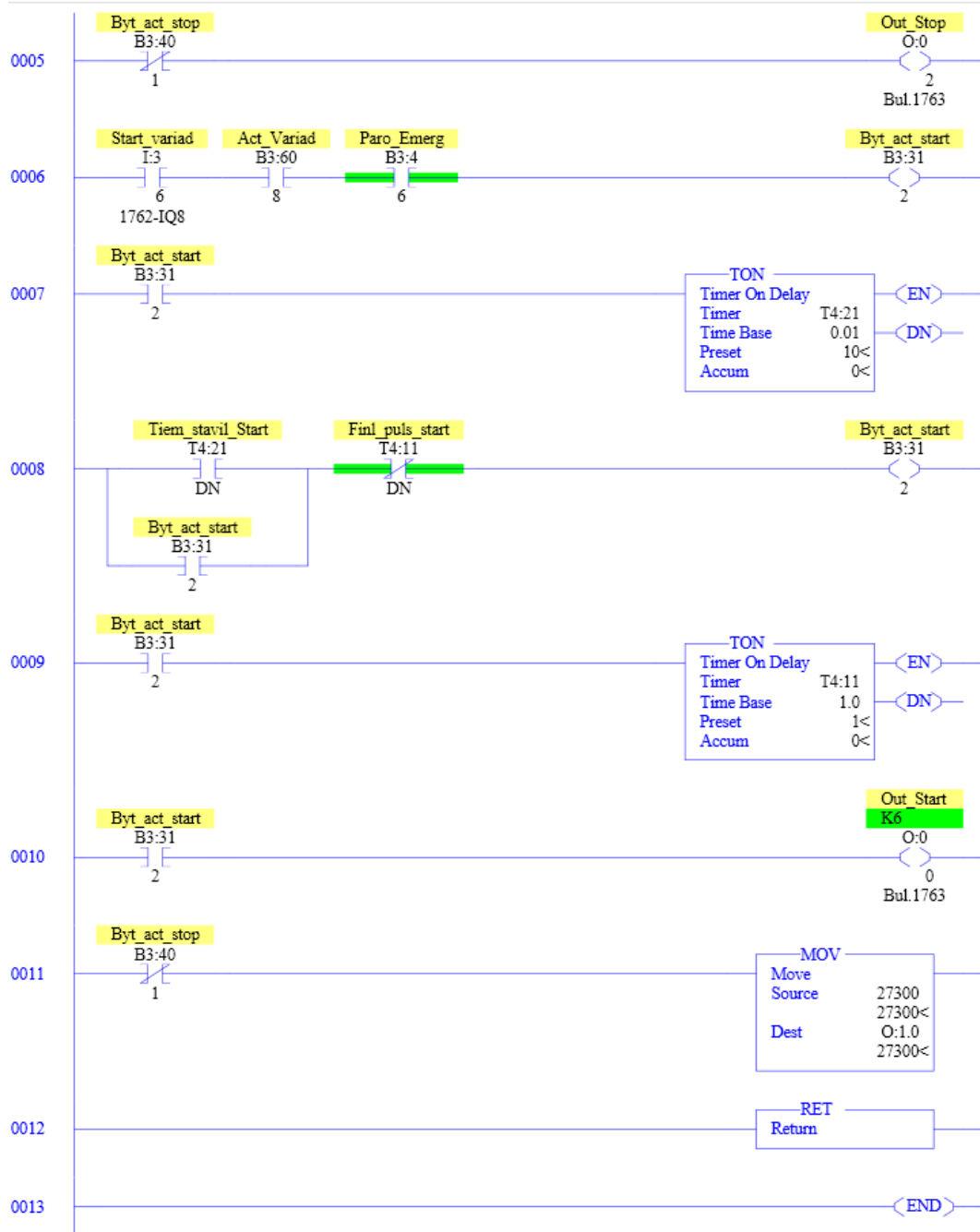
CONTROL DEL SISTEMA CHILLER-INTERCAMBIADORES

LAD 6 - CONT_VARIA --- Total Rungs in File = 14



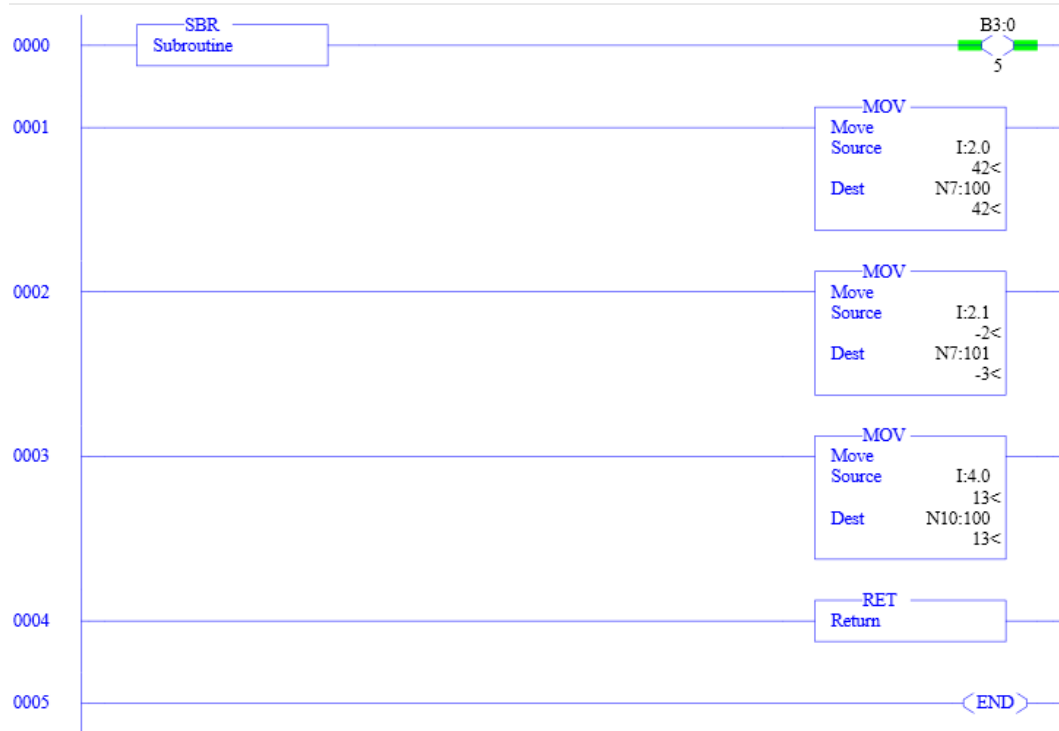
CONTROL DEL SISTEMA CHILLER-INTERCAMBIADORES

LAD 6 - CONT_VARIA --- Total Rungs in File = 14



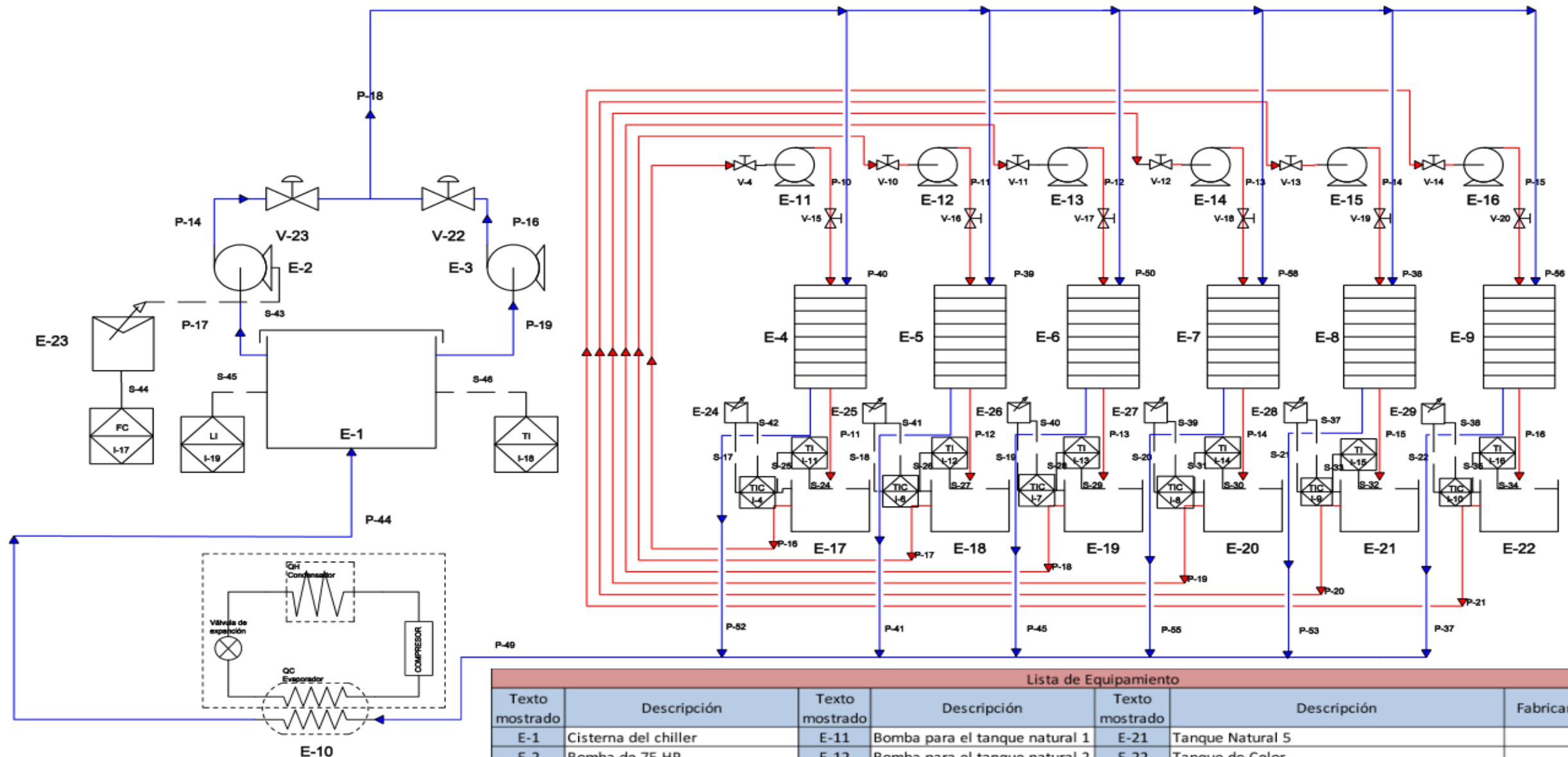
CONTROL DEL SISTEMA CHILLER-INTERCAMBIADORES

LAD 7 - ADQ_DATOS --- Total Rungs in File = 6



ANEXO C

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO TANQUES-INTERCAMBIADORES Y CHILLER-INTERCAMBIADORES

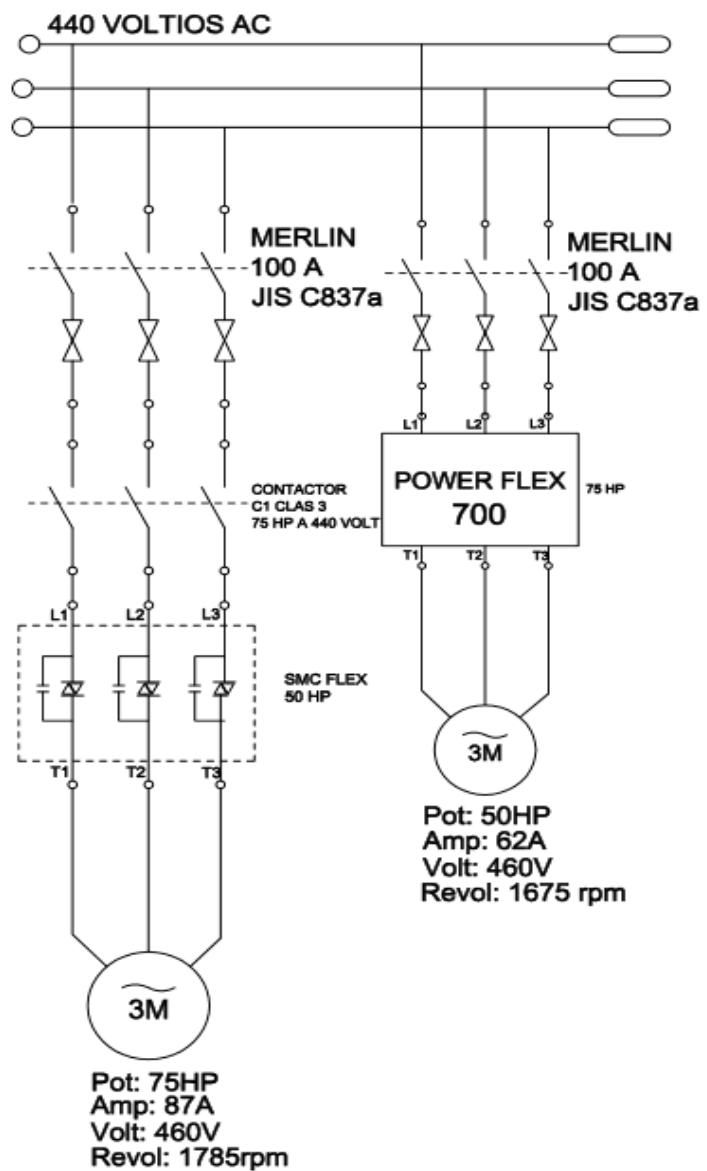


Lista de Equipamiento							
Texto mostrado	Descripción	Texto mostrado	Descripción	Texto mostrado	Descripción	Fabricante	Modelo
E-1	Cisterna del chiller	E-11	Bomba para el tanque natural 1	E-21	Tanque Natural 5		
E-2	Bomba de 75 HP	E-12	Bomba para el tanque natural 2	E-22	Tanque de Color		
E-3	Bomba de 50 HP	E-13	Bomba para el tanque natural 3	E-23	Variador para la bomba de 50 HP	Allen Bradley	Power Flex 700
E-4	Intercambiador Tanque Natural 1	E-14	Bomba para el tanque natural 4	E-24	Variador de frecuencia para el tanque natural 1	Allen Bradley	Power Flex 40
E-5	Intercambiador Tanque Natural 2	E-15	Bomba para el tanque natural 5	E-25	Variador de frecuencia para el tanque natural 2	Allen Bradley	Power Flex 40
E-6	Intercambiador Tanque Natural 3	E-16	Bomba para el tanque de color	E-26	Variador de frecuencia para el tanque natural 3	Allen Bradley	Power Flex 40
E-7	Intercambiador Tanque Natural 4	E-17	Tanque Natural 1	E-27	Variador de frecuencia para el tanque natural 4	Allen Bradley	Power Flex 40
E-8	Intercambiador Tanque Natural 5	E-18	Tanque Natural 2	E-28	Variador de frecuencia para el tanque natural 5	Allen Bradley	Power Flex 40
E-9	Intercambiador Tanque de Color	E-19	Tanque Natural 3	E-29	Variador de frecuencia para el tanque de color	Allen Bradley	Power Flex 40
E-10	Sistema de enfriamiento Chiller	E-20	Tanque Natural 4				

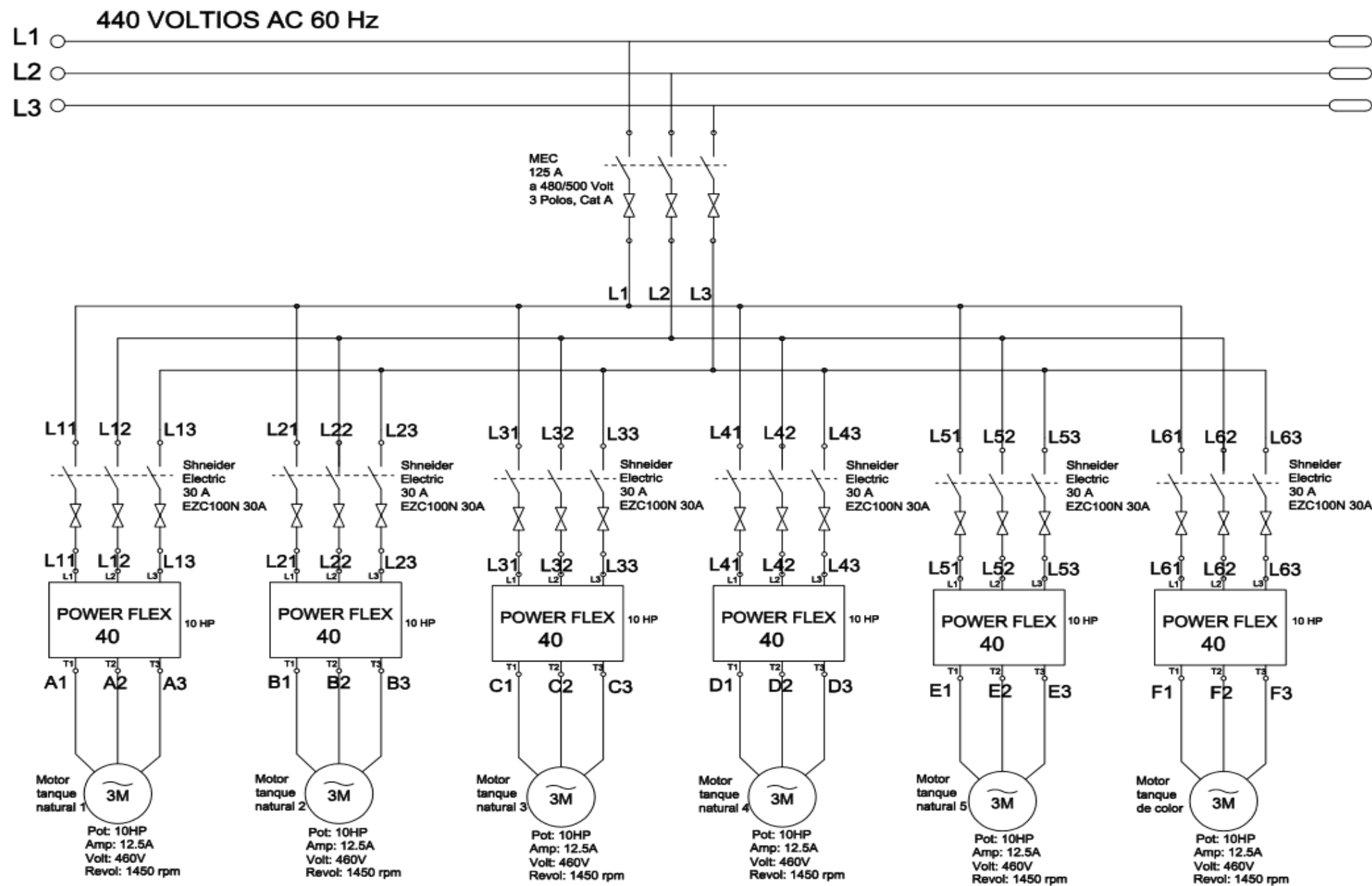
D		FECHA	27/04/2012
C		AUTOR	MONGE GUSTAVO
B		REV.	
A		APRO.	
		ANEXO	

<p>CONTROL DE DE TEMPERATURA DE LOS TANQUES DE ANODIZADO Y COLOREADO DE ALUMINIO</p> <p style="font-size: 2em; font-weight: bold;">CEDAL</p>	<p>Sistema Hidraulico y de Sensores Tanques-Intercambiadores y Chiller-Intercambiadores</p>	
	<p>FICHERO:</p> <p>ESCALA</p>	<p>Plano: CEDAL-ANOD-1</p> <p>Hoja: 1</p>

SISTEMA CHILLER-INTERCAMBIADORES



SISTEMA TANQUES-INTERCAMBIADORES



D	FECHA	27/04/2012
C	AUTOR	MONGE GUSTAVO
B	REV.	
A	APRO.	
	ANEXO	

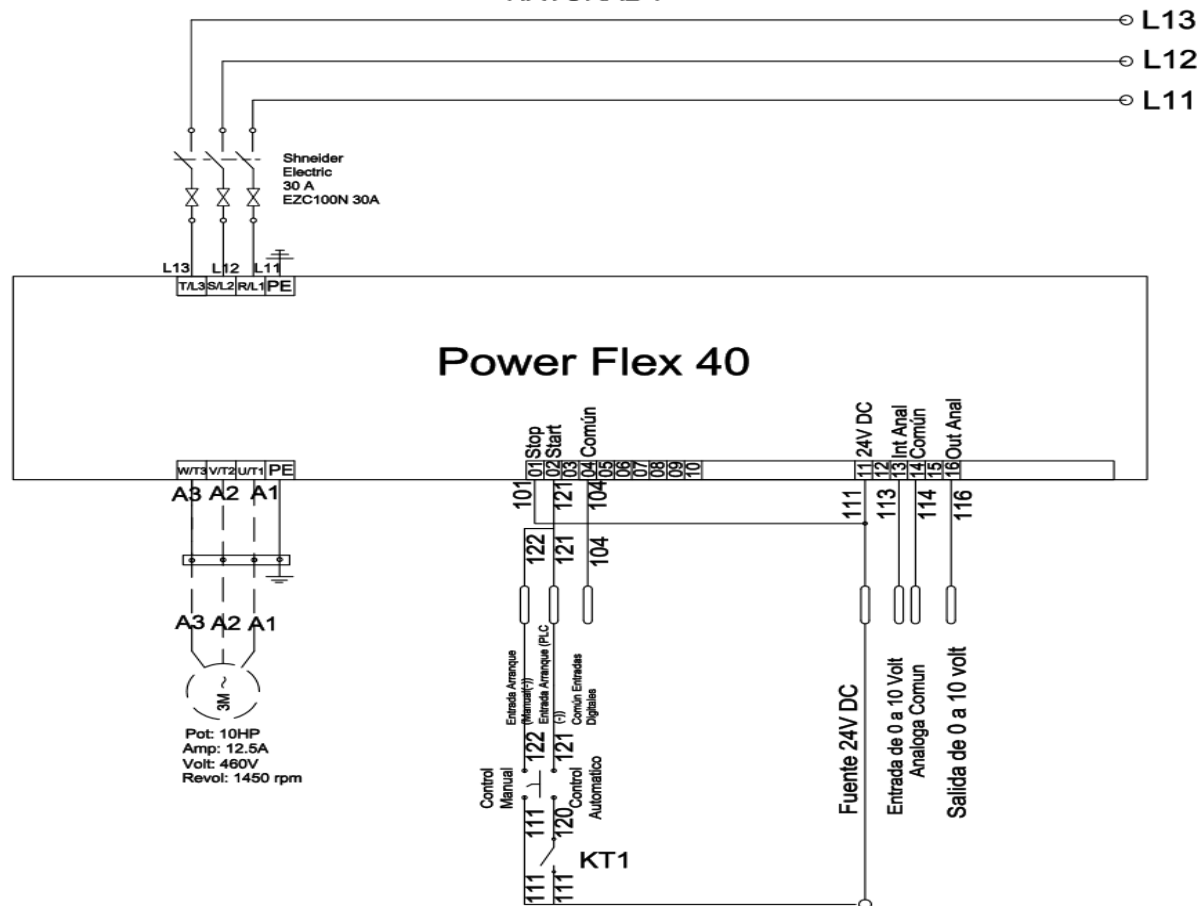
CONTROL DE DE TEMPERATURA DE LOS TANQUES DE ANODIZADO Y COLOREADO DE ALUMINIO

CEDAL

Distribución de potencia Tanques-Intercambiadores y Chiller-Intercambiadores

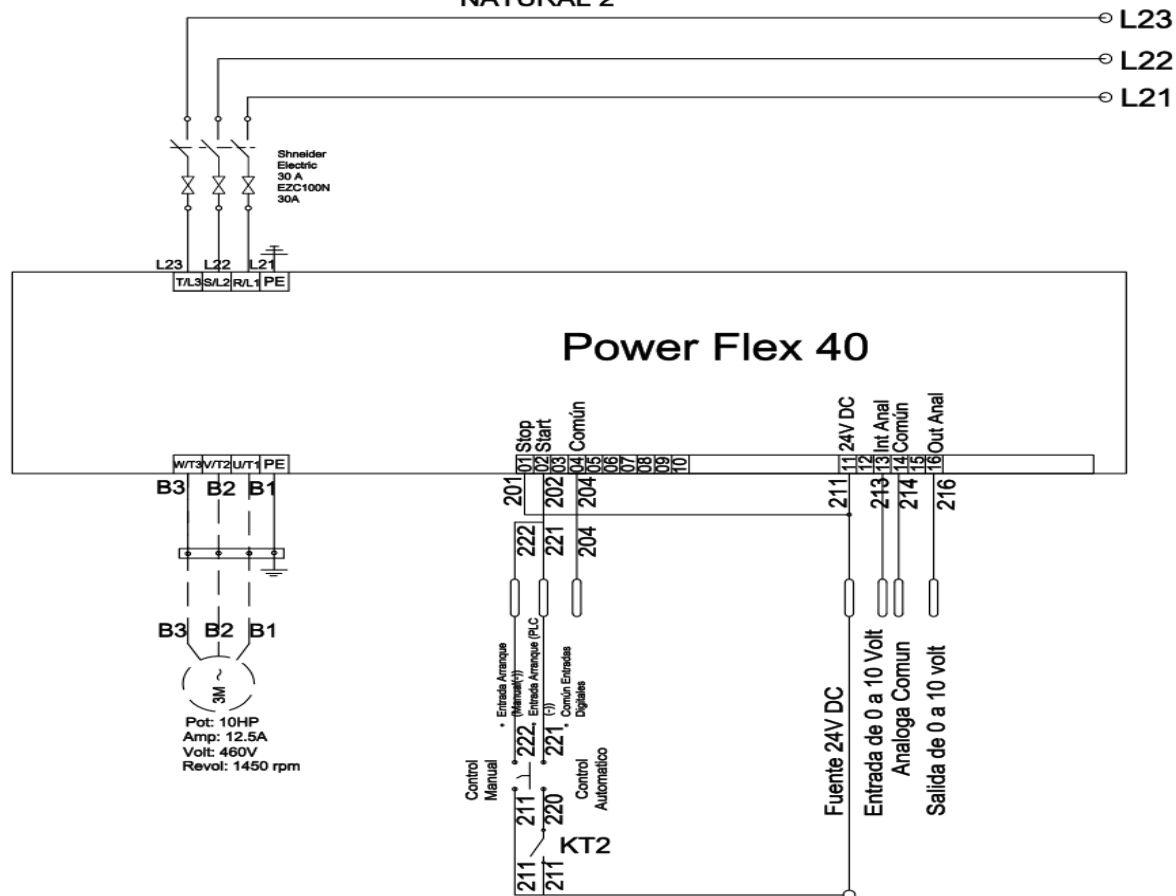
FICHERO:	Plano: CEDAL-ANOD-2
ESCALA	Hoja: 2

DIAGRAMA DE CONTROL DEL VARIADOR POWER FLEX 40
NATURAL 1



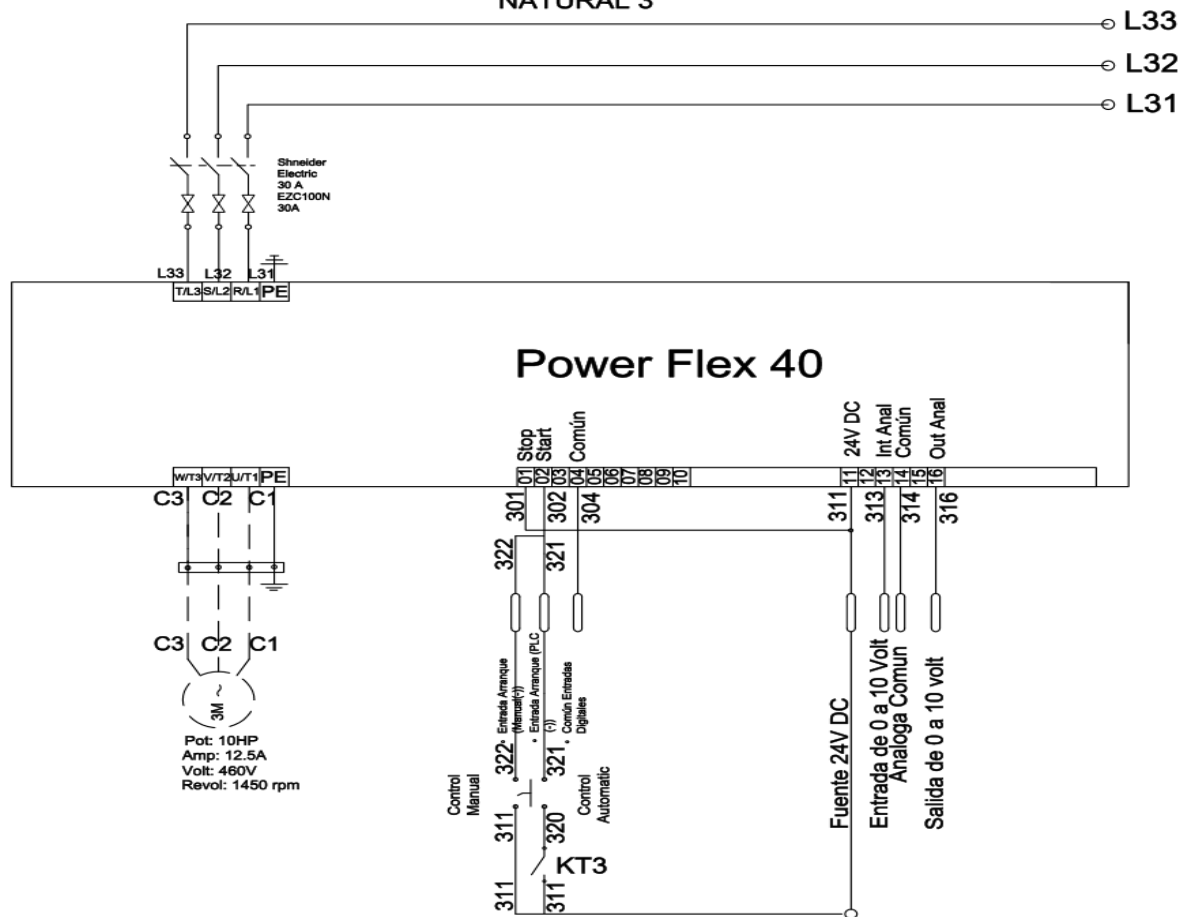
D	FECHA	18/03/2012	CONTROL DE TEMPERATURA DE LOS TANQUES DE ANODIZADO Y COLOREADO DE ALUMINIO	CONEXION POWER FLEX 40 TANQUE NATURAL 1	
C	AUTOR	MONGE GUSTAVO		FICHERO:	Plano: CEDAL-ANOD-03
B	REV.			ESCALA	Hoja: 3
A	APRO.			CEDAL	
	ANEXO				

DIAGRAMA DE CONTROL DEL VARIADOR POWER FLEX 40
NATURAL 2



D		FECHA	22/03/2012	CONTROL DE DE TEMPERATURA DE LOS TANQUES DE ANODIZADO Y COLOREADO DE ALUMINIO	CONEXION POWER FLEX 40 TANQUE NATURAL 2	
C		AUTOR	MONGE GUSTAVO		FICHERO:	Plano: CEDAL-ANOD-04
B		REV.			ESCALA	Hoja: 4
A		APRO.			CEDAL	
		ANEXO				

DIAGRAMA DE CONTROL DEL VARIADOR POWER FLEX 40
NATURAL 3



D	FECHA	10/04/2012
C	AUTOR	MONGE GUSTAVO
B	REV.	
A	APRO.	
	ANEXO	

CONTROL DE DE TEMPERATURA DE LOS
TANQUES DE ANODIZADO Y COLOREADO DE
ALUMINIO

CONEXION POWER FLEX 40 TANQUE NATURAL 3

CEDAL

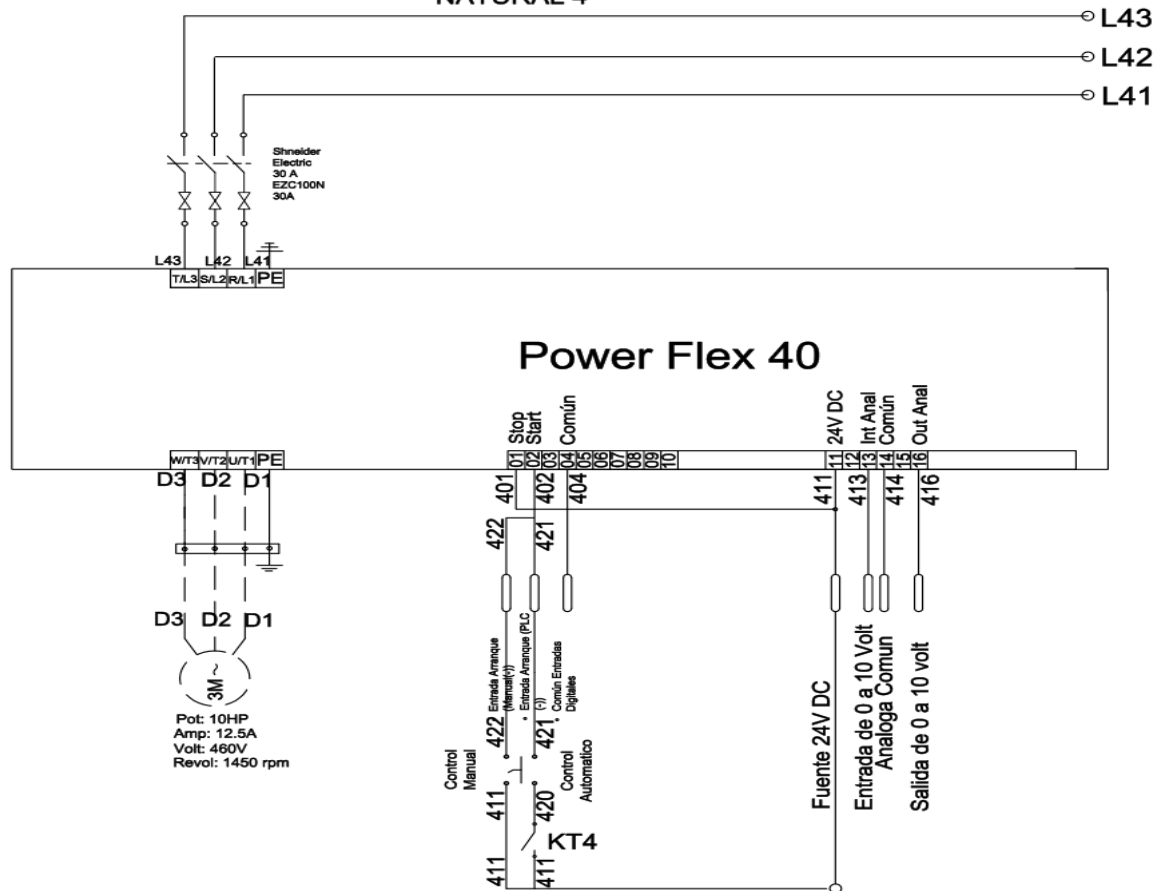
FICHERO:

Plano: CEDAL-ANOD-05

ESCALA

Hoja: 5

DIAGRAMA DE CONTROL DEL VARIADOR POWER FLEX 40
NATURAL 4



D	FECHA	12/04/2012
C	AUTOR	MONGE GUSTAVO
B	REV.	
A	APRO.	
	ANEXO	

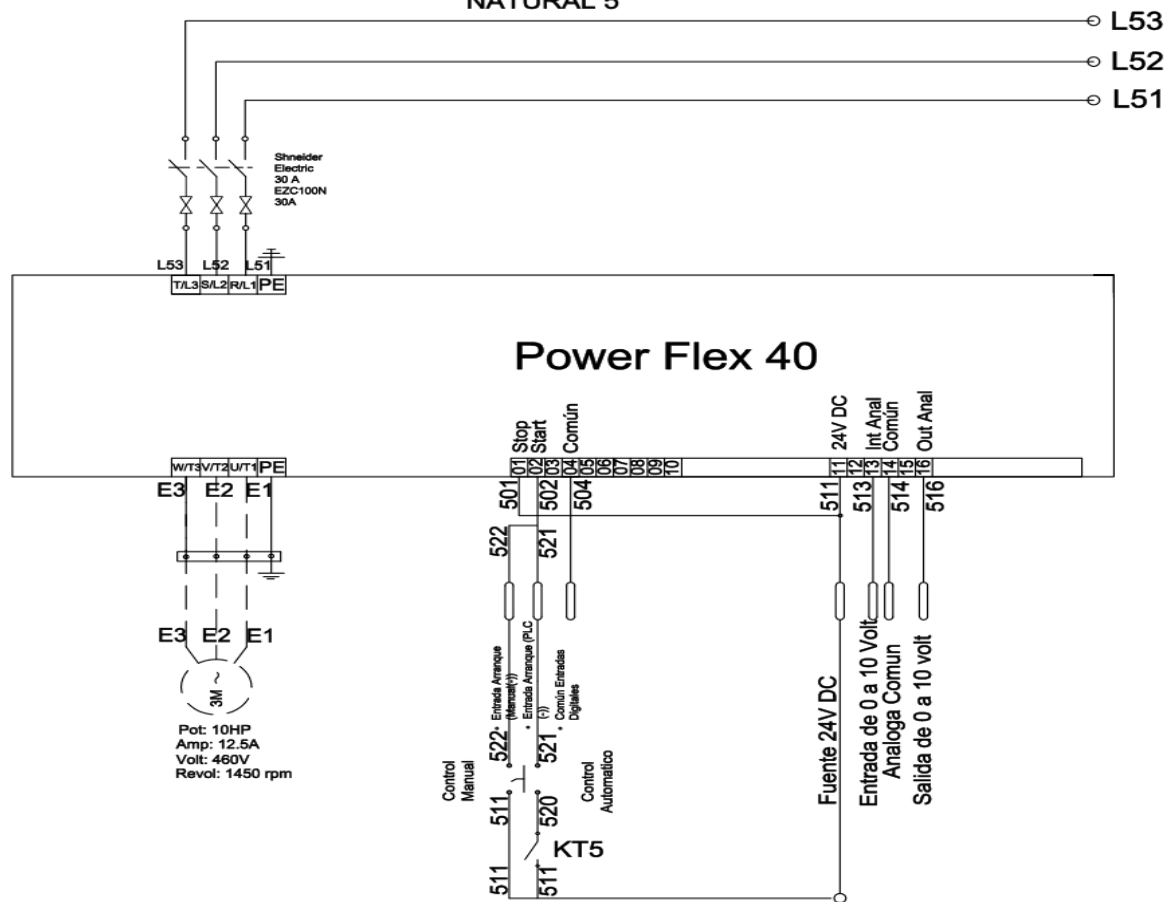
CONTROL DE DE TEMPERATURA DE LOS
TANQUES DE ANODIZADO Y COLOREADO DE
ALUMINIO

CEDAL

CONEXION POWER FLEX 40 TANQUE NATURAL 4

FICHERO:	Plano: CEDAL-ANOD-06
ESCALA	Hoja: 6

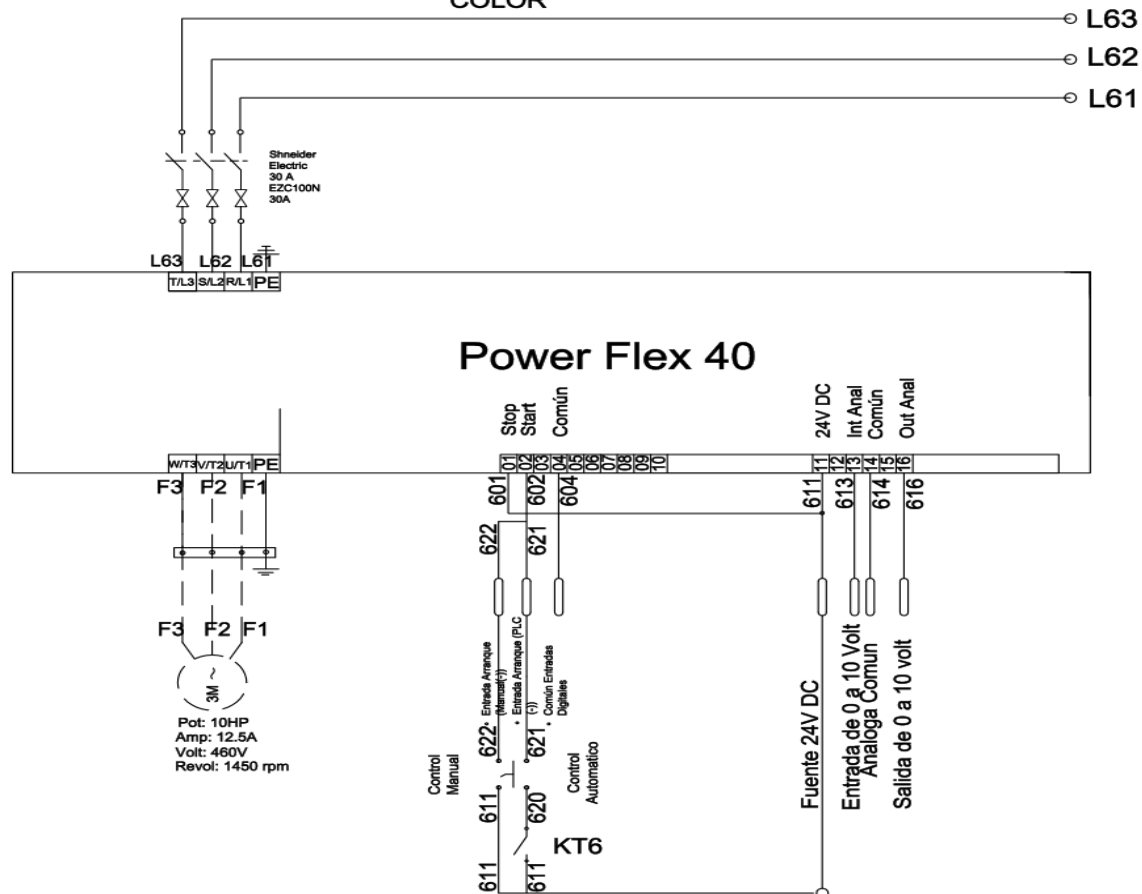
DIAGRAMA DE CONTROL DEL VARIADOR POWER FLEX 40
NATURAL 5



D		FECHA	16/04/2012	CONTROL DE DE TEMPERATURA DE LOS TANQUES DE ANODIZADO Y COLOREADO DE ALUMINIO	CONEXION POWER FLEX 40 TANQUE NATURAL 5	
C		AUTOR	MONGE GUSTAVO		FICHERO:	Plano: CEDAL-ANOD-07
B		REV.			ESCALA	Hoja: 7
A		APRO.			CEDAL	
		ANEXO				

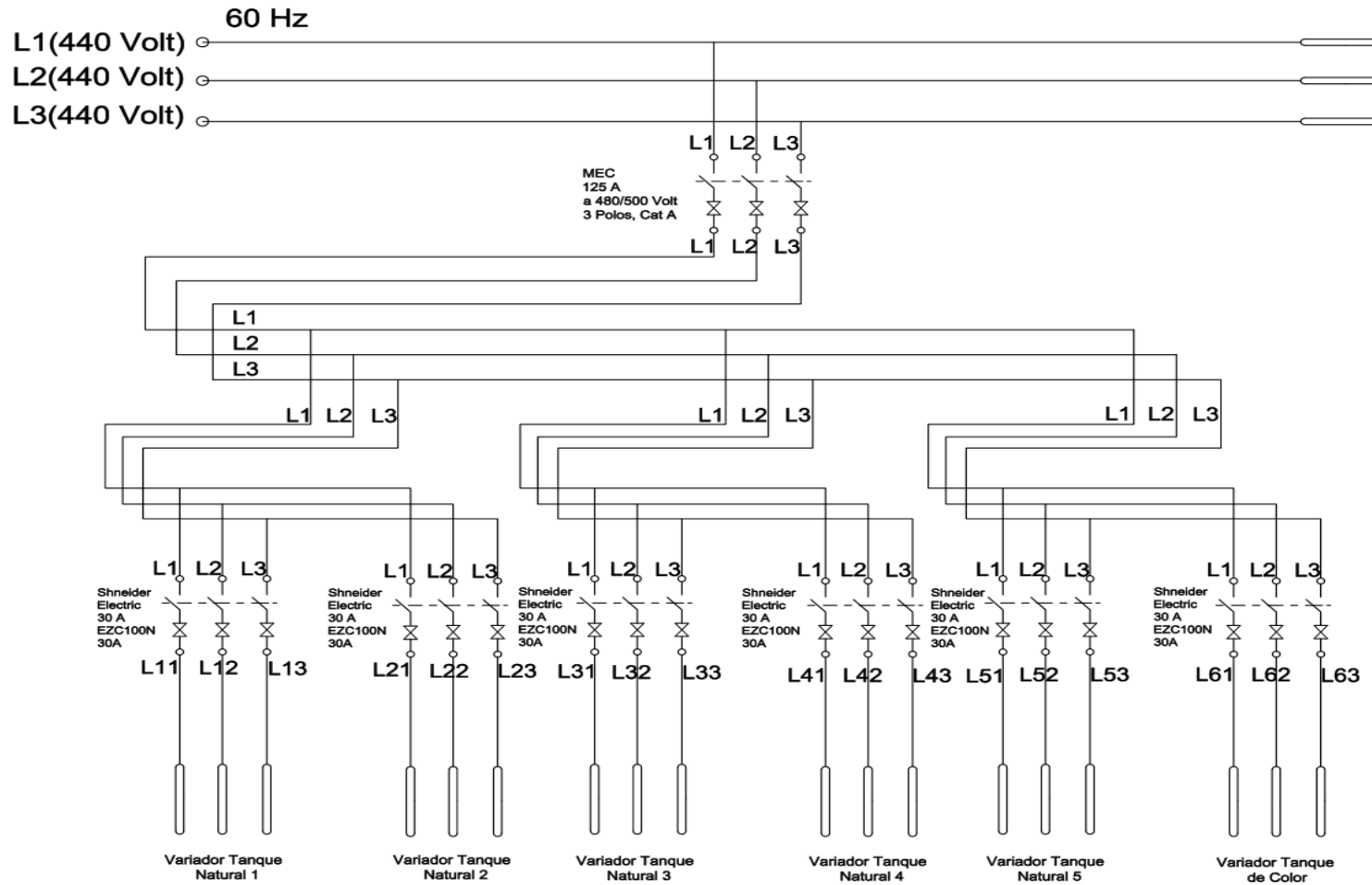
DIAGRAMA DE CONTROL DEL VARIADOR POWER FLEX 40

COLOR

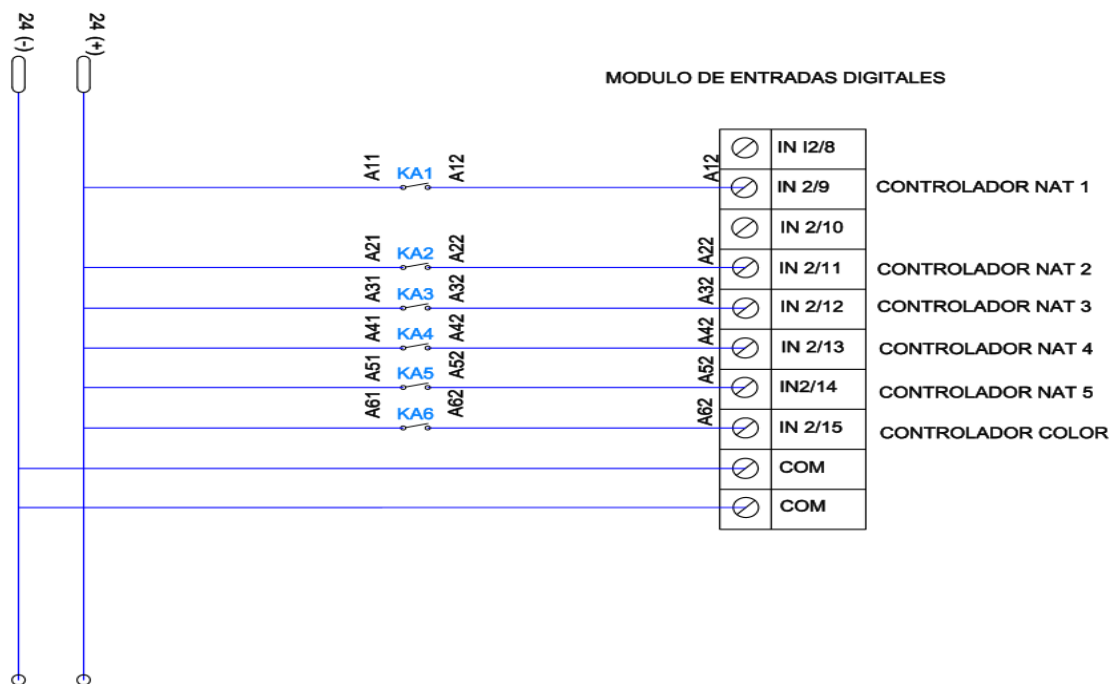


D		FECHA	16/04/2012	CONTROL DE TEMPERATURA DE LOS TANQUES DE ANODIZADO Y COLOREADO DE ALUMINIO	CONEXION POWER FLEX 40 TANQUE DE COLOR	
C		AUTOR	MONGE GUSTAVO		FICHERO:	Plano: CEDAL-ANOD-08
B		REV.			ESCALA	Hoja: 8
A		APRO.				
		ANEXO				

CEDAL

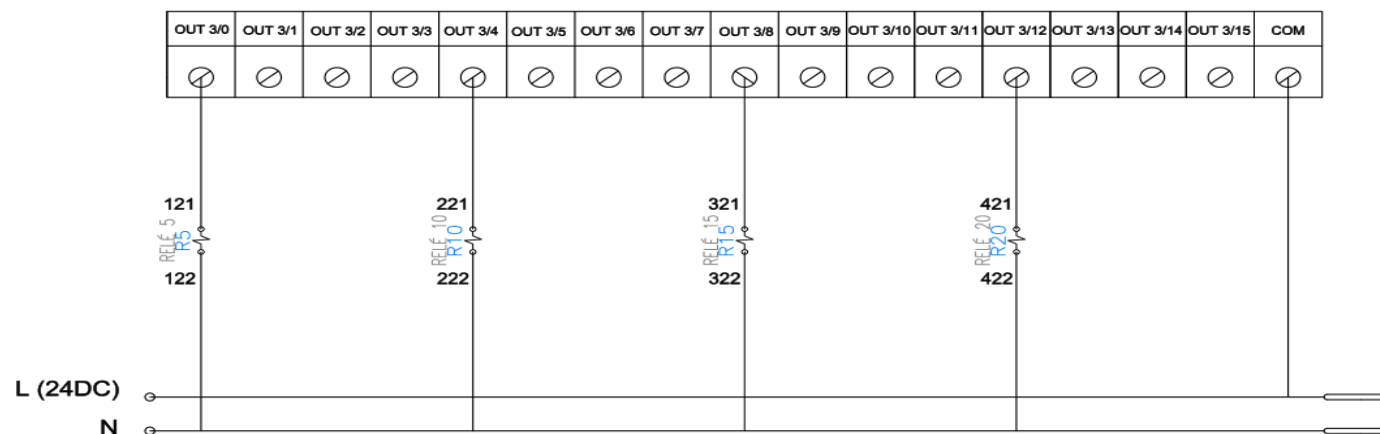


D		FECHA	19/04/2012	CONTROL DE DE TEMPERATURA DE LOS TANQUES DE ANODIZADO Y COLOREADO DE ALUMINIO	CONEXION POWER FLEX 40	
C		AUTOR	MONGE GUSTAVO		FICHERO:	Plano: CEDAL-ANOD-09
B		REV.			ESCALA	Hoja: 9
A		APRO.			CEDAL	
		ANEXO				



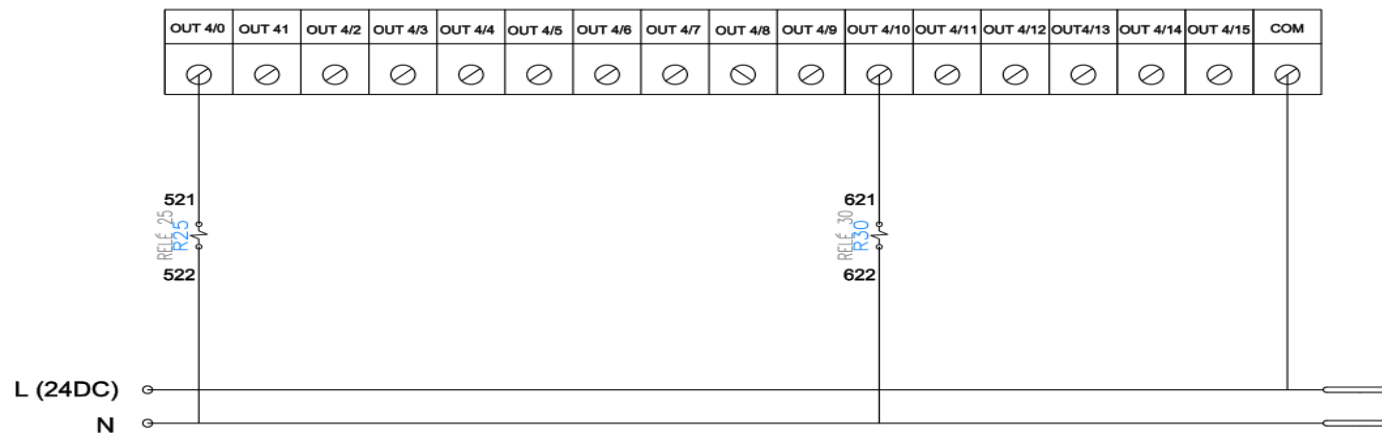
D		FECHA	22/04/2012		CONTROL DE DE TEMPERATURA DE LOS TANQUES DE ANODIZADO Y COLOREADO DE ALUMINIO	CONEXION CONTROL MODULO ENTRADAS DIGITALES PLC SLC 500	
C		AUTOR	MONJE GUSTAVO		CEDAL	FICHERO:	Plano: CEDAL-ANOD-10
B		REV.				ESCALA	Hoja: 10
A		APRO.					
		ANEXO					

MODULO DE SALIDAS DIGITALES



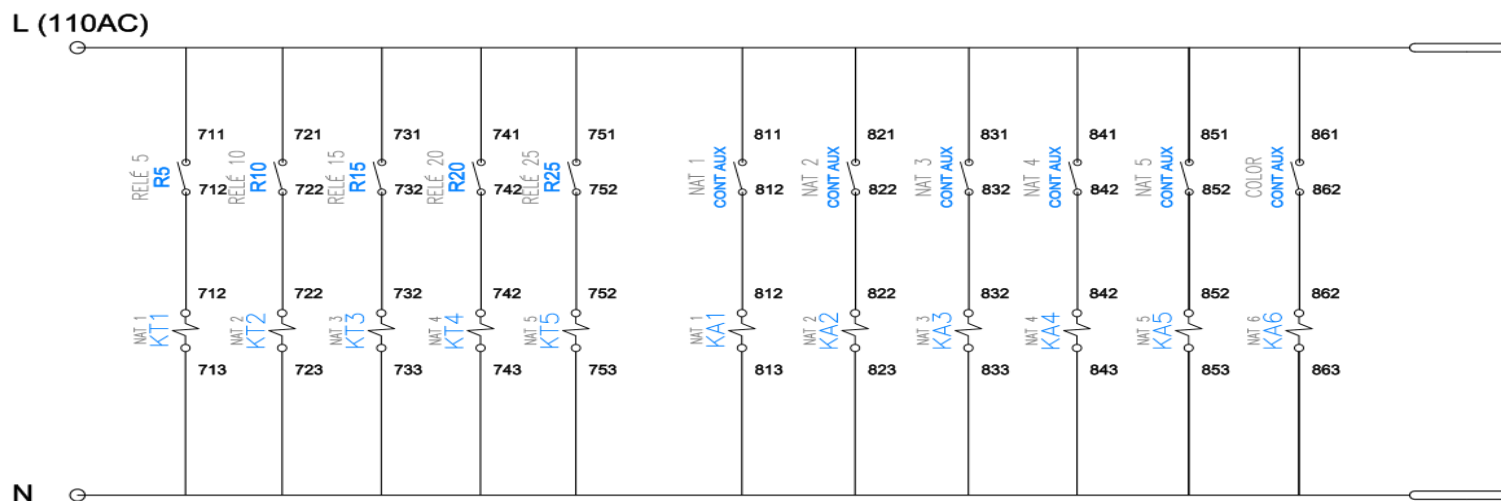
D	FECHA	25/04/2012	CONTROL DE DE TEMPERATURA DE LOS TANQUES DE ANODIZADO Y COLOREADO DE ALUMINIO	CONEXION CONTROL MODULO DE SALIDAS DIGITALES PLC SLC 500	
C	AUTOR	MONGE GUSTAVO		FICHERO:	Plano: CEDAL-ANOD-11
B	REV.			ESCALA	Hoja: 11
A	APRO.			CEDAL	
	ANEXO				

MODULO DE SALIDAS DIGITALES

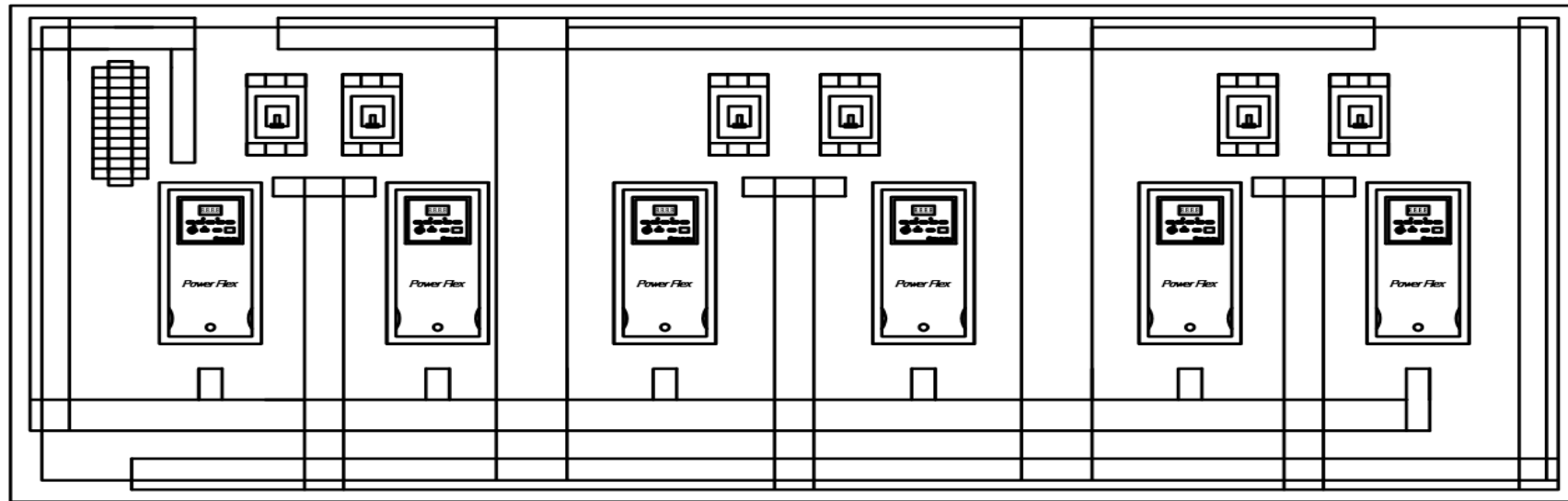


D		FECHA	26/02/2012	CONTROL DE DE TEMPERATURA DE LOS TANQUES DE ANODIZADO Y COLOREADO DE ALUMINIO	CONEXION CONTROL MODULO DE SALIDAS DIGITALES PLC SLC 500	
C		AUTOR	MONGE GUSTAVO		FICHERO:	Plano: CEDAL-ANOD-12
B		REV.			ESCALA	Hoja: 12
A		APRO.			CEDAL	
		ANEXO				

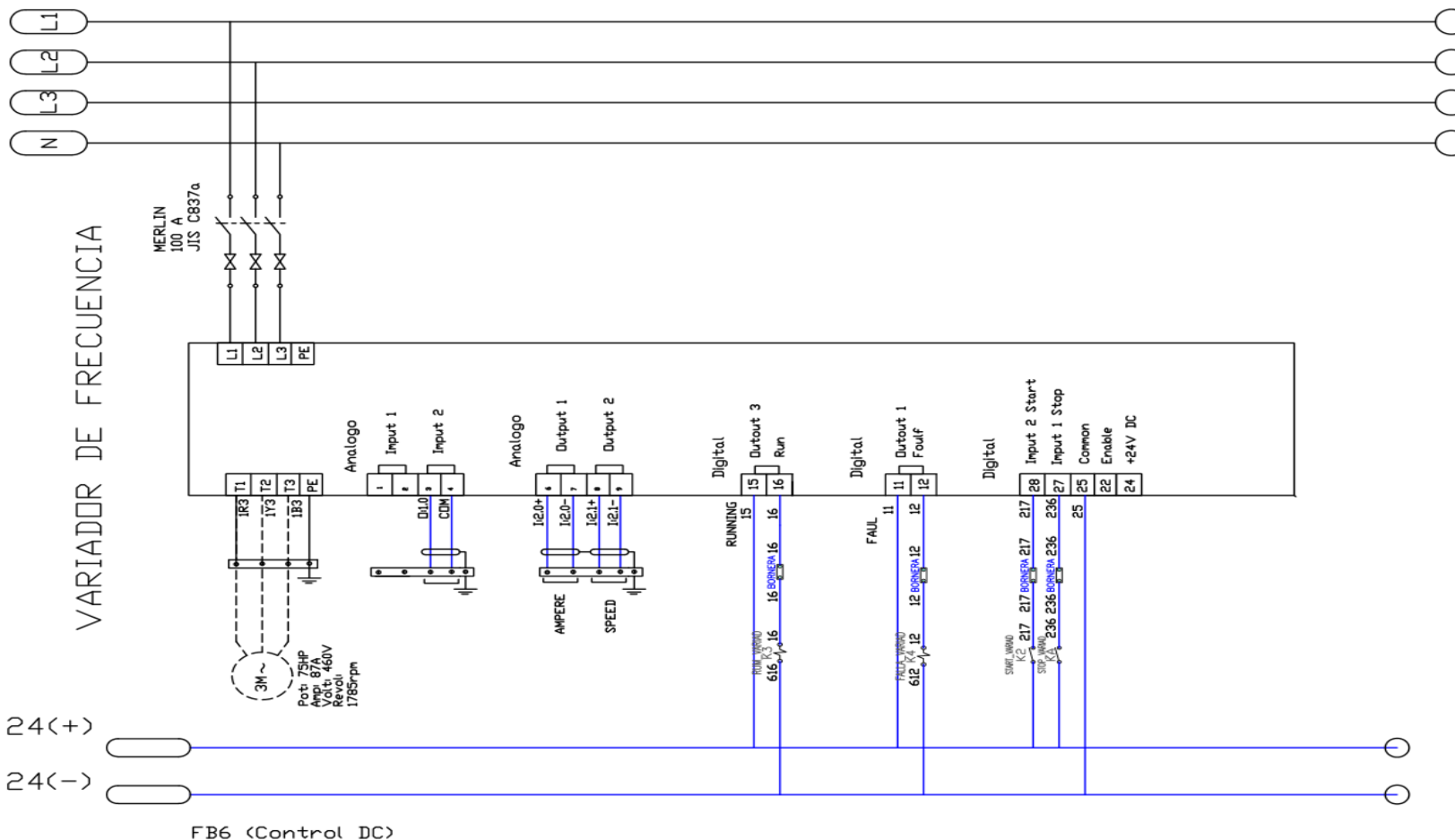
CONEXIONES ADICIONALES



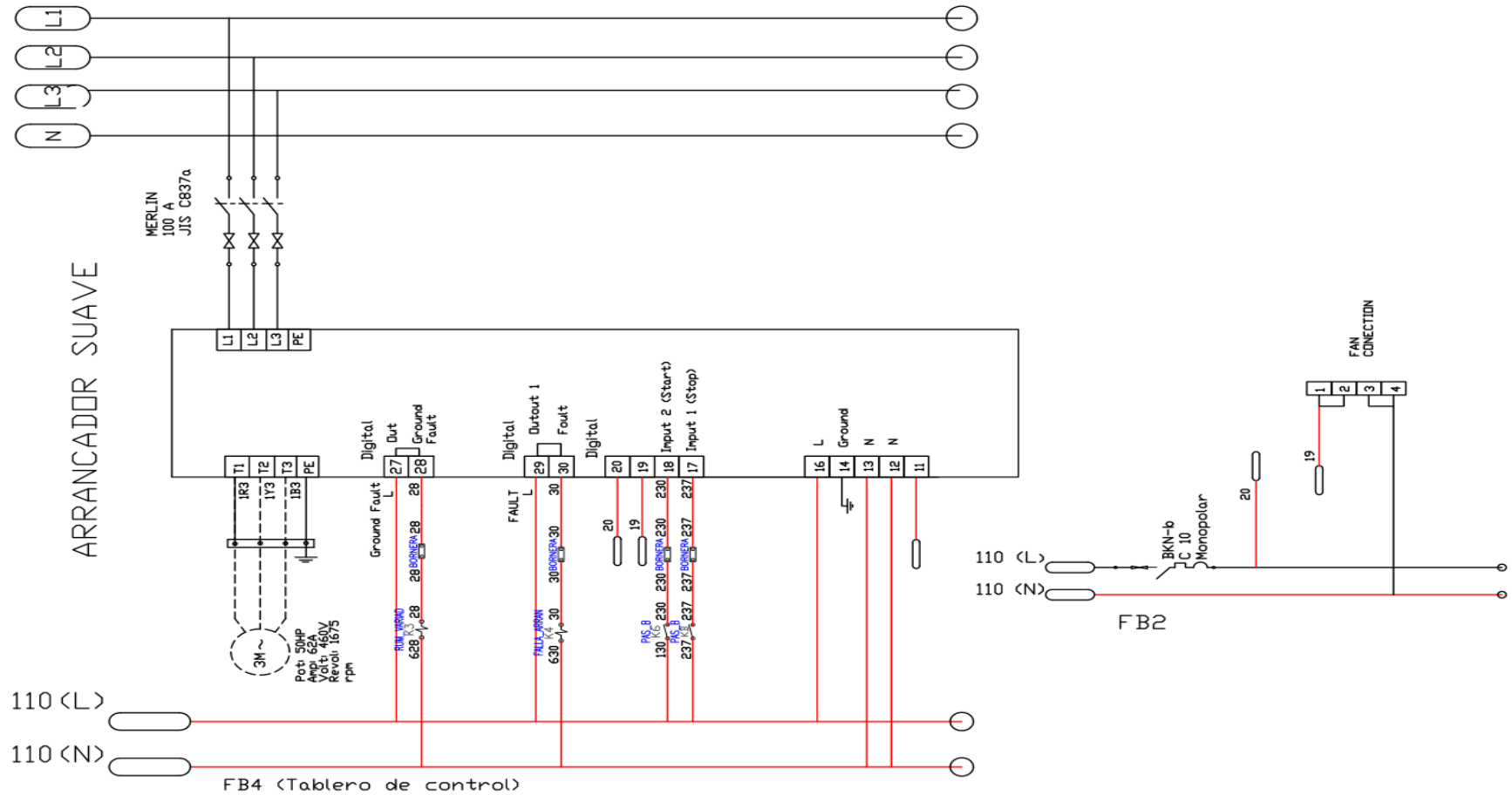
D	FECHA	27/02/2012	CONTROL DE DE TEMPERATURA DE LOS TANQUES DE ANODIZADO Y COLOREADO DE ALUMINIO	CONEXION CONTROL CONEXIONES ADICIONALES	
C	AUTOR	MONGE GUSTAVO		FICHERO:	Plano: CEDAL-ANOD-13
B	REV.			ESCALA	Hoja: 13
A	APRO.			CEDAL	
	ANEXO				



D		FECHA	28/04/2012	CONTROL DE DE TEMPERATURA DE LOS TANQUES DE ANODIZADO Y COLOREADO DE ALUMINIO	TABLERO DE VARIADORES POWER FLEX 40	
C		AUTOR	MONGE GUSTAVO		FICHERO:	Plano: CEDAL-ANOD-14
B		REV.			ESCALA	Hoja: 14
A		APRO.			CEDAL	
		ANEXO				

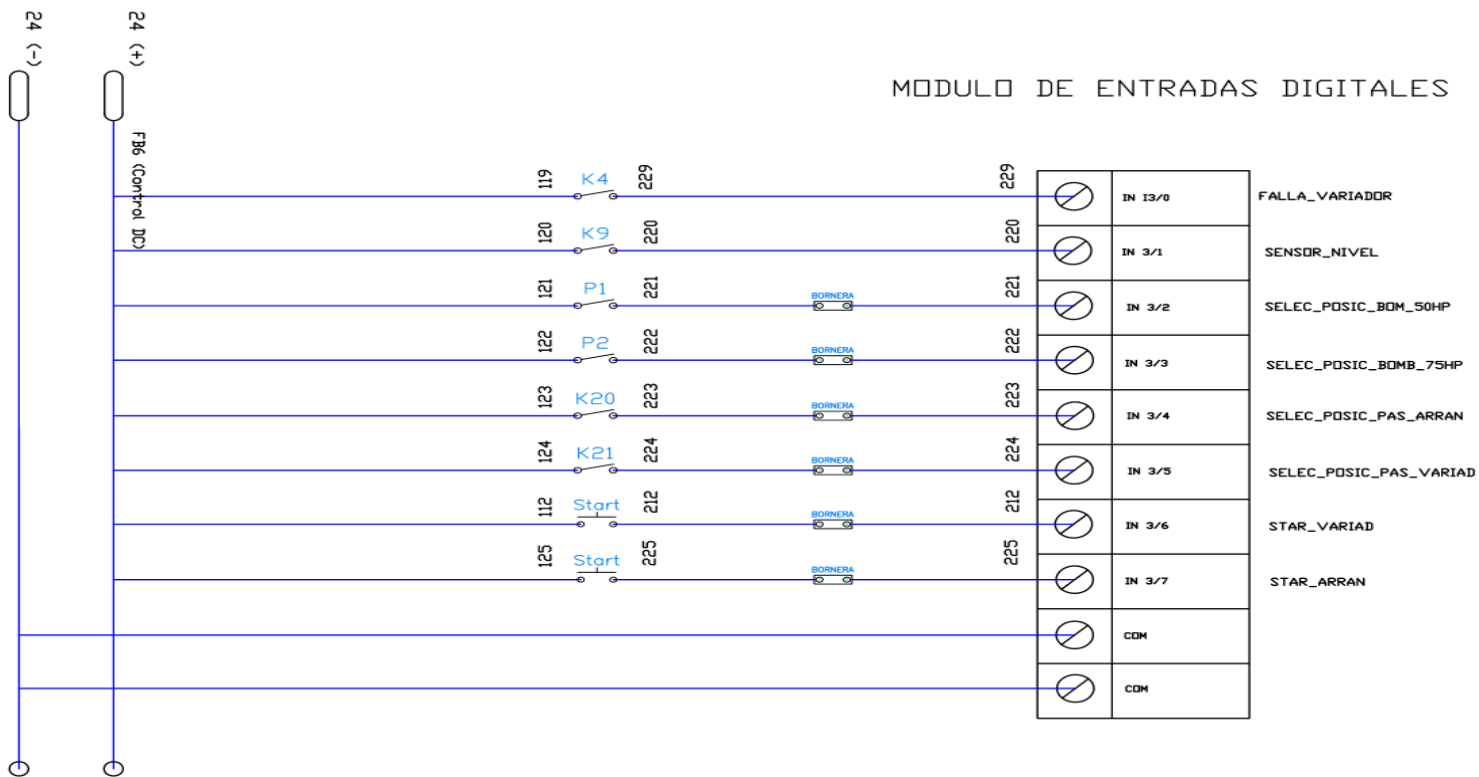


D		FECHA	10/01/2012	CONTROL DE TEMPERATURA DE LOS TANQUES DE ANODIZADO Y COLOREADO DE ALUMINIO	CONEXION CONTROL VARIADOR DE FRECUENCIA POWER FLEX 700	
C		AUTOR	MONGE GUSTAVO		FICHERO:	Plano: CEDAL-ANOD-15
B		REV.			ESCALA	Hoja: 15
A		APRO.			CEDAL	
		ANEXO				



D	FECHA	10/01/2012	CONTROL DE TEMPERATURA DE LOS TANQUES DE ANODIZADO Y COLOREADO DE ALUMINIO	CONEXION CONTROL ARRANCADOR SUAVE SMC FLEX	
C	AUTOR	MONGE GUSTAVO		FICHERO:	Plano: CEDAL-ANOD-16
B	REV.			ESCALA	Hoja: 16
A	APRO.			CEDAL	
	ANEXO				

MODULO DE ENTRADAS DIGITALES



D		FECHA	10/01/2012	CONTROL DE TEMPERATURA DE LOS TANQUES DE ANODIZADO Y COLOREADO DE ALUMINIO	CONEXION CONTROL MODULO DE ENTRADAS DIGITALES PLC MICROLOGIX 1100	
C		AUTOR	MONGE GUSTAVO		FICHERO:	Plano: CEDAL-ANOD-17
B		REV.			ESCALA	Hoja: 17
A		APRO.			CEDAL	
		ANEXO				



CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO S.A.

ANODIZADO

PLANOS SISTEMA CHILLER-INTERCAMBIADORES

Pag. 4 de 11 págs

MODULO DE SALIDAS ANÁLOGAS

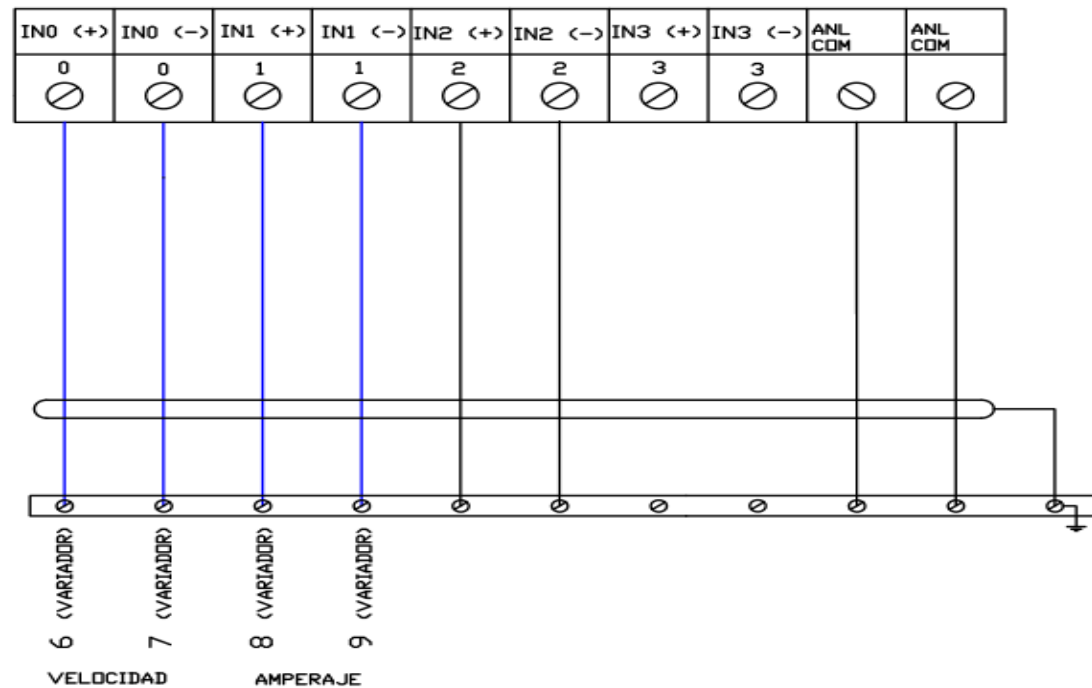
I OUT0	V OUT0	I OUT1	V OUT1	I OUT2	V OUT2	I OUT3	V OUT3	ANL CDM	ANL CDM
0	0	1	1	2	2	3	3		



VELOCIDAD
REFERENCIA

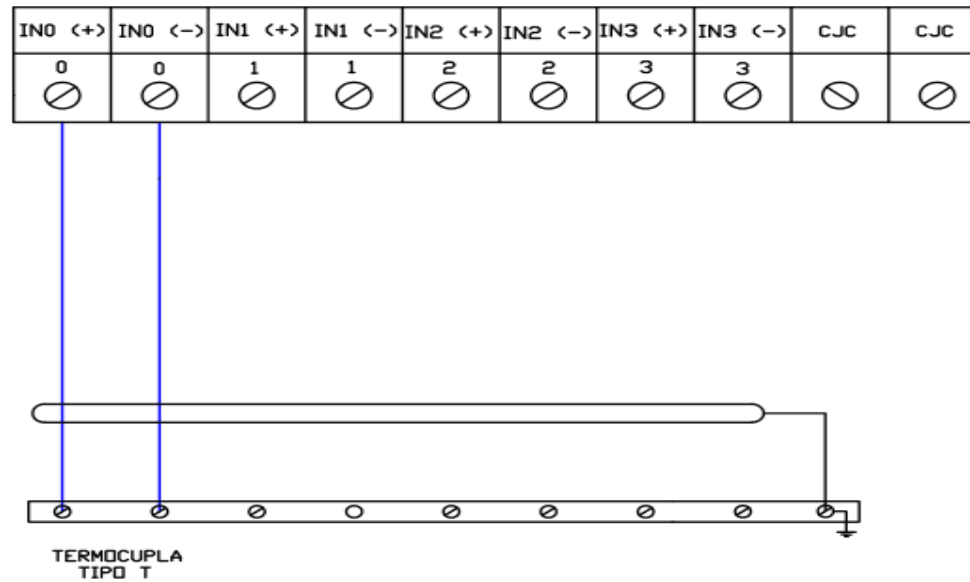
D		FECHA	11/01/2012	CONTROL DE TEMPERATURA DE LOS TANQUES DE ANODIZADO Y COLDREADO DE ALUMINIO	CONEXION CONTROL MODULO DE SALIDAS ANÁLOGAS PLC MICROLOGIX 1100	
C		AUTOR	MENGE GUSTAVO		FICHERO:	Plano: CEDAL-ANOD-18
B		REV.			ESCALA	Hoja: 18
A		APRO.			CEDAL	
		ANEXO				

MODULO DE ENTRADAS ANÁLOGAS



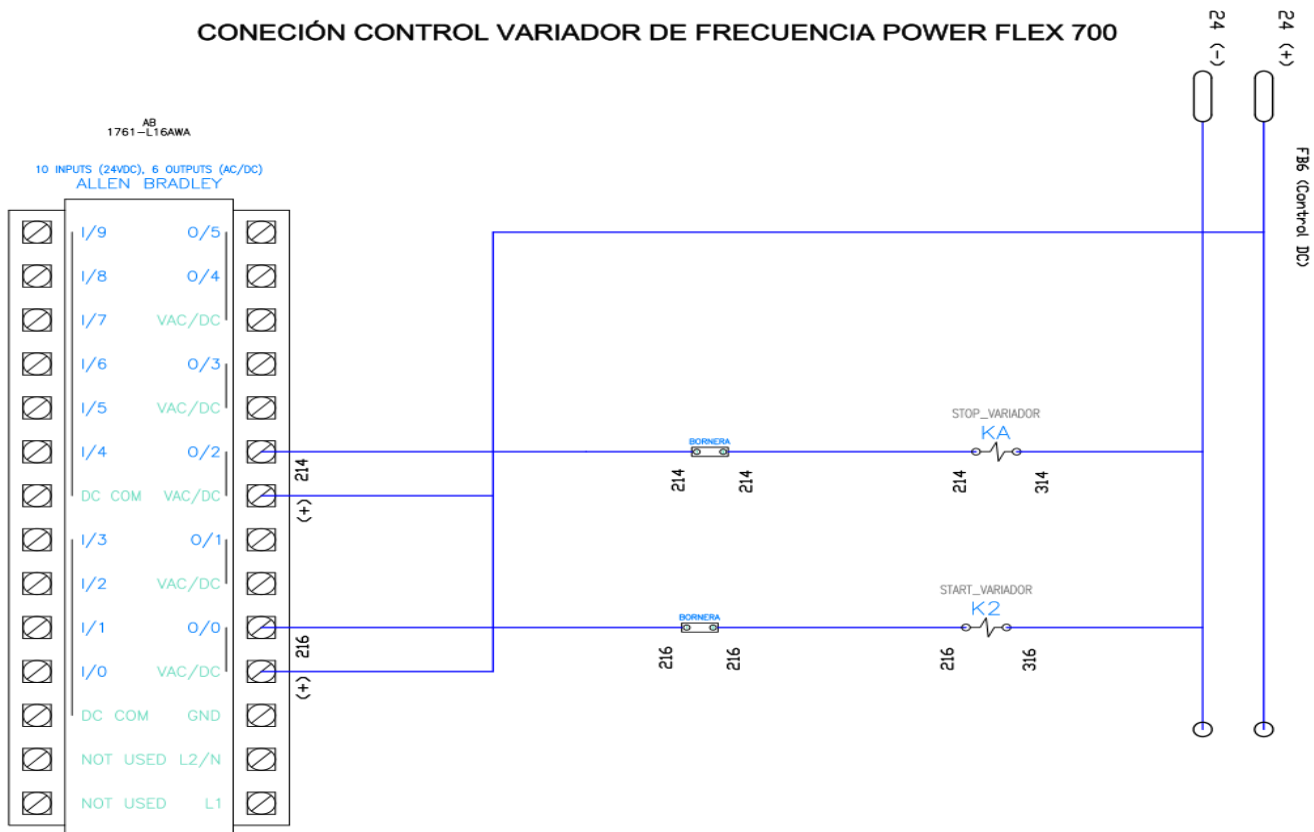
D	FECHA	22/01/2012	CONTROL DE TEMPERATURA DE LOS TANQUES DE ANODIZADO Y COLOREADO DE ALUMINIO	CONEXION CONTROL MODULO DE ENTRADAS ANÁLOGAS PLC MICROLOGIX 1100	
C	AUTOR	HONGE GUSTAVO		FICHERO:	Plano: CEDAL-ANOD-19
B	REV.			ESCALA	Hoja: 19
A	APRO.			CEDAL	
	ANEXO				

MODULO DE TERMOCUPLAS



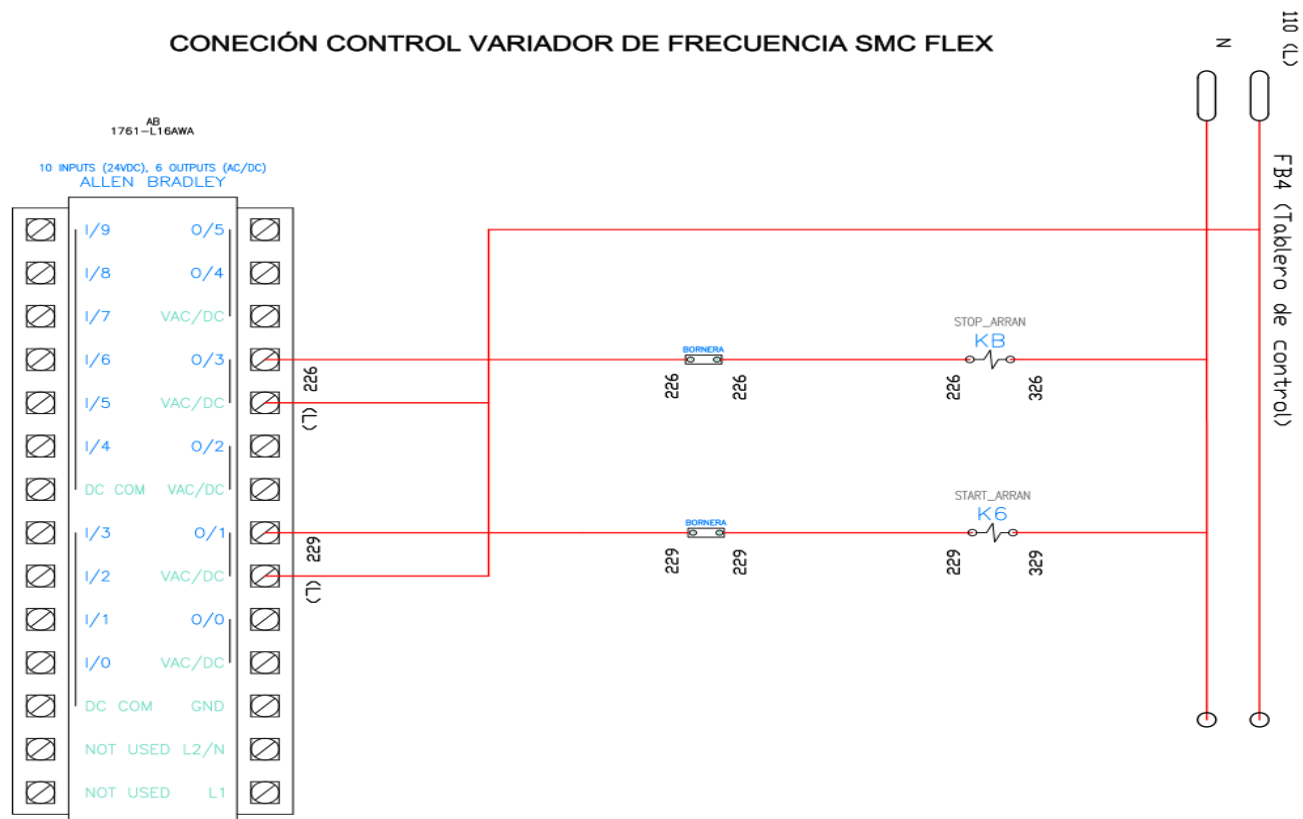
D	FECHA	14/02/2012	CONTROL DE TEMPERATURA DE LOS TANQUES DE ANODIZADO Y COLDREADO DE ALUMINIO	CONEXION CONTROL MODULO DE TERMOCUPLAS PLC MICROLOGIX 1100	
C	AUTOR	MONGE GUSTAVO	CEDAL	FICHERO:	Plano: CEDAL-ANOD-20
B	REV.			ESCALA	Hoja: 20
A	APRO.				
	ANEXO				

CONECIÓN CONTROL VARIADOR DE FRECUENCIA POWER FLEX 700



D	FECHA	17/02/2012	CONTROL DE TEMPERATURA DE LOS TANQUES DE ANODIZADO Y COLOREADO DE ALUMINIO	CONEXION CONTROL VARIADOR	
C	AUTOR	MINGE GUSTAVO		FICHERO:	Plano: CEDAL-ANOD-21
B	REV.			ESCALA	Hoja: 21
A	APRO.			CEDAL	
	ANEXO				

CONECIÓN CONTROL VARIADOR DE FRECUENCIA SMC FLEX

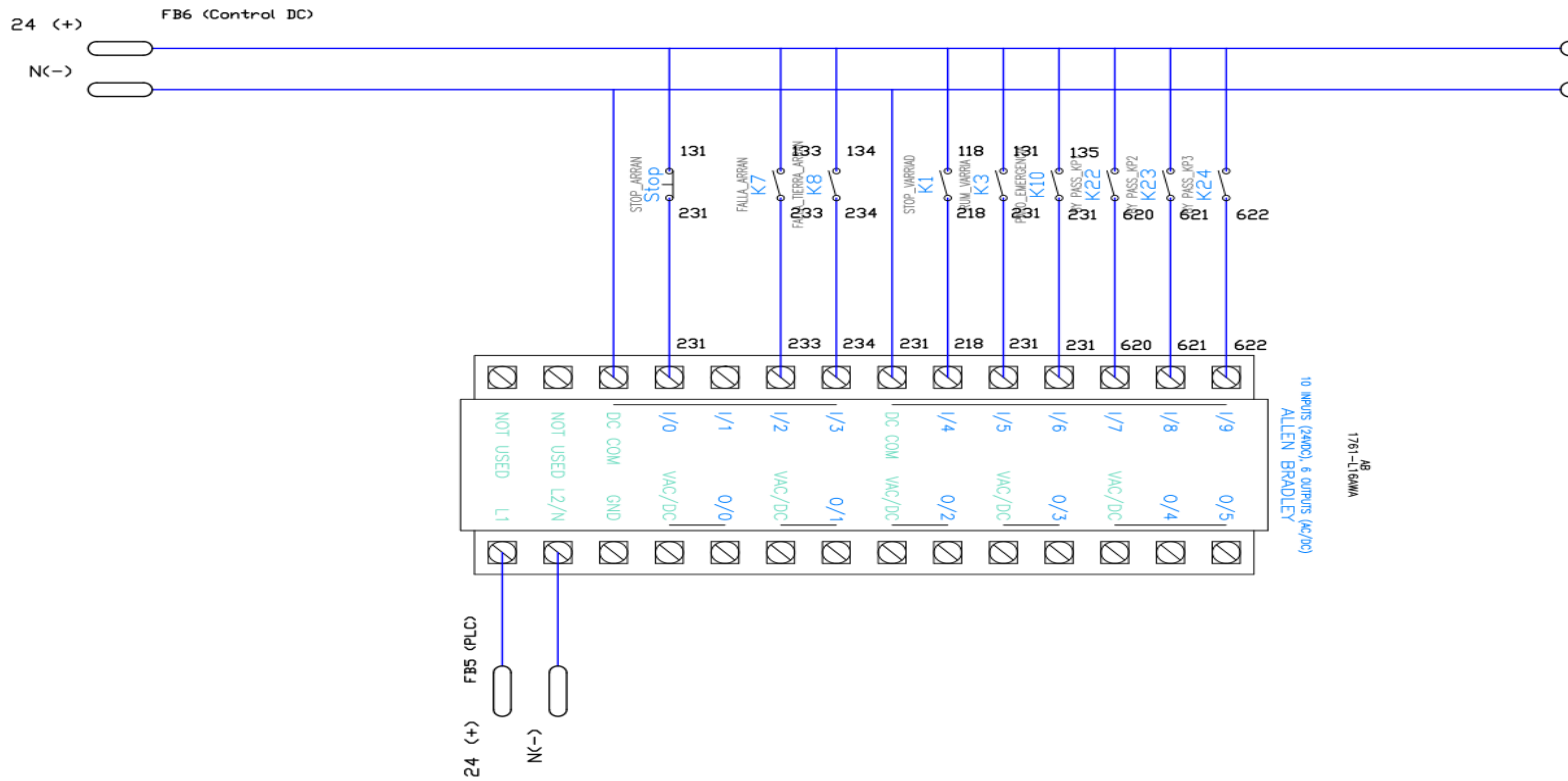


D	FECHA	22/02/2012	CONTROL DE TEMPERATURA DE LOS TANQUES DE ANODIZADO Y COLOREADO DE ALUMINIO	CONEXION CONTROL ARRANCADOR	
C	AUTOR	MONGE GUSTAVO		FICHERO:	Plano: CEDAL-ANOD-22
B	REV.			ESCALA	Hoja: 22
A	APRO.			CEDAL	
	ANEXO				

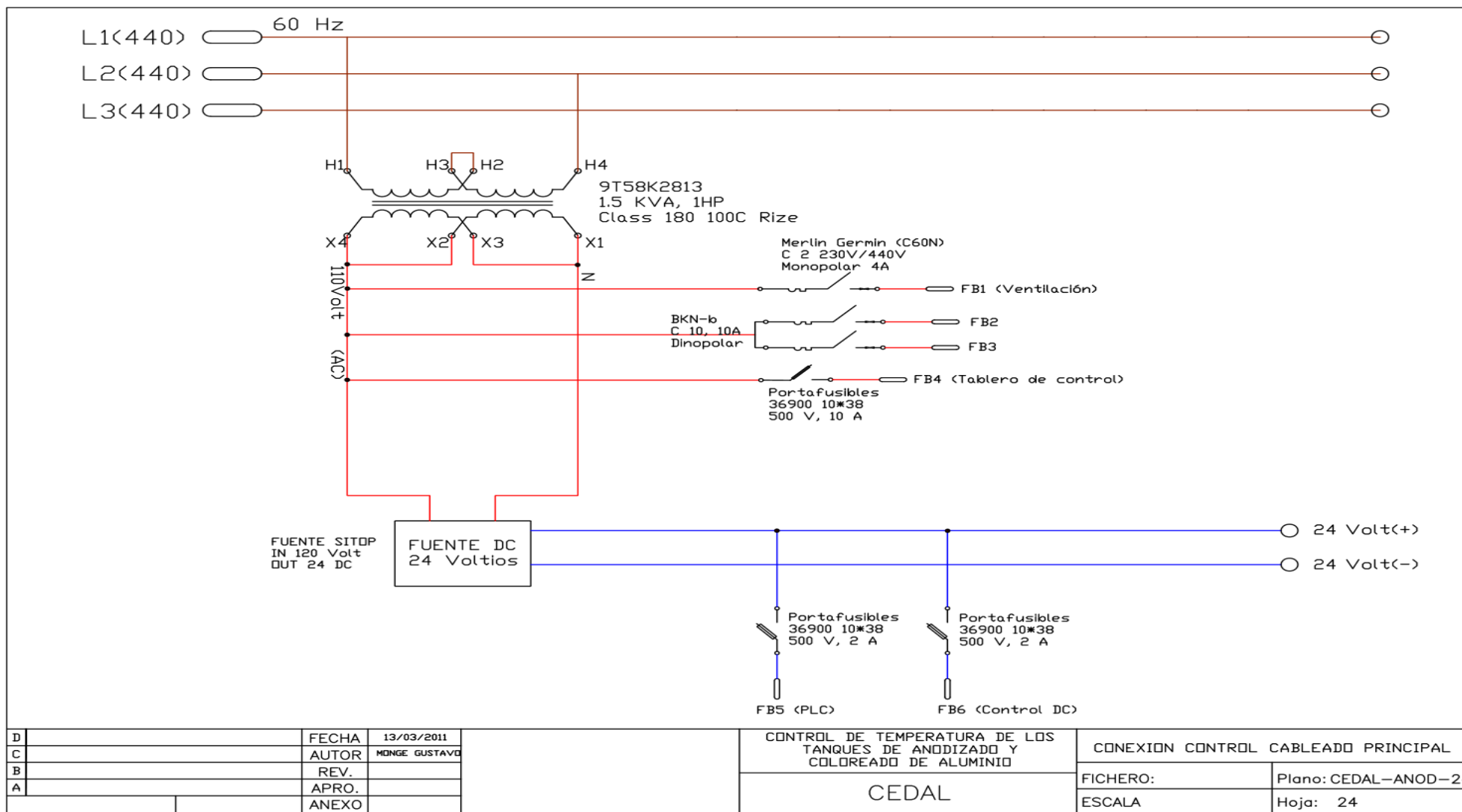


CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO S.A.

ANODIZADO



D	FECHA	13/03/2011	CONTROL DE TEMPERATURA DE LOS TANQUES DE ANODIZADO Y COLOREADO DE ALUMINIO	CONEXION CONTROL ENTRADAS DEL PLC	
C	AUTOR	MONJE GUSTAVO		FICHERO:	Plano: CEDAL-ANOD-23
B	REV.			ESCALA	Hoja: 23
A	APRO.			CEDAL	
	ANEXO				



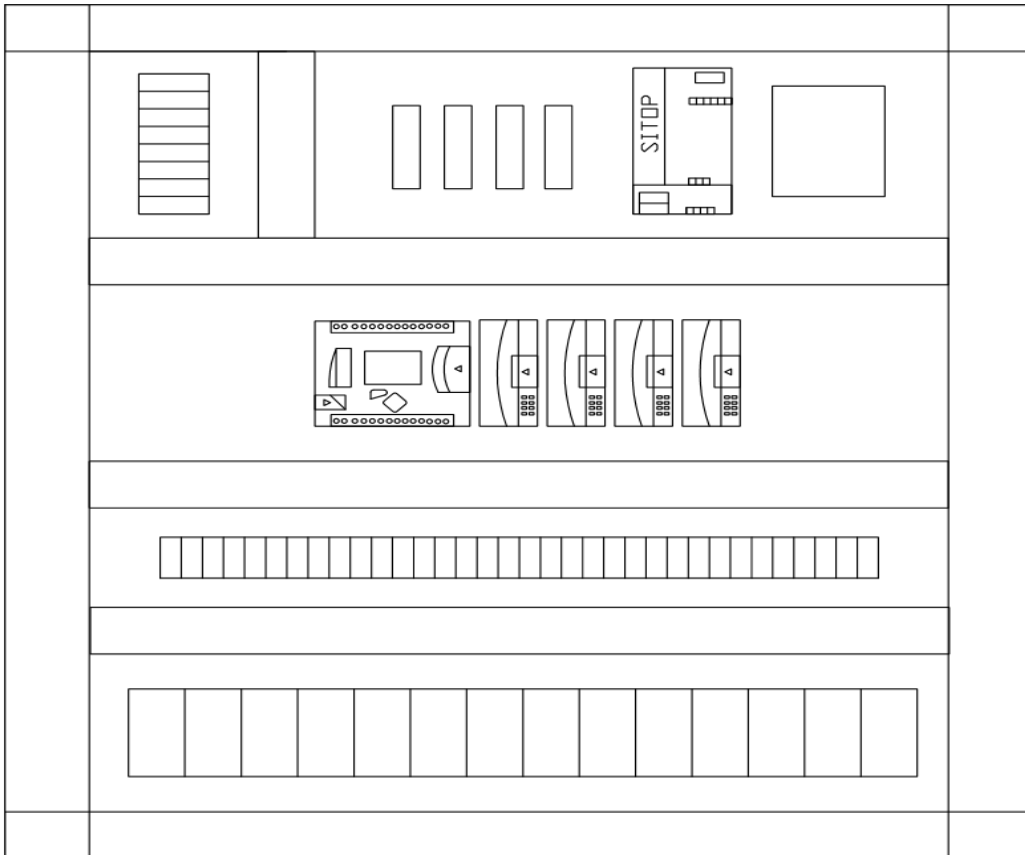


CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO S.A.

ANODIZADO

**PLANOS SISTEMA CHILLER-
INTERCAMBIADORES**

Pag. 11 de 11 págs



D	FECHA	16/03/2012	CONTROL DE TEMPERATURA DE LOS TANQUES DE ANODIZADO Y COLOREADO DE ALUMINIO	TABLERO DE CONTROL	
C	AUTOR	MONGE GUSTAVO		FICHERO:	Plano: CEDAL-ANOD-24
B	REV.			ESCALA	Hoja: 24
A	APRO.				
	ANEXO		CEDAL		

ANEXO D

TERMINAL LOCATIONS

Figure 3.2 Wiring Terminal Locations (108...480 A)

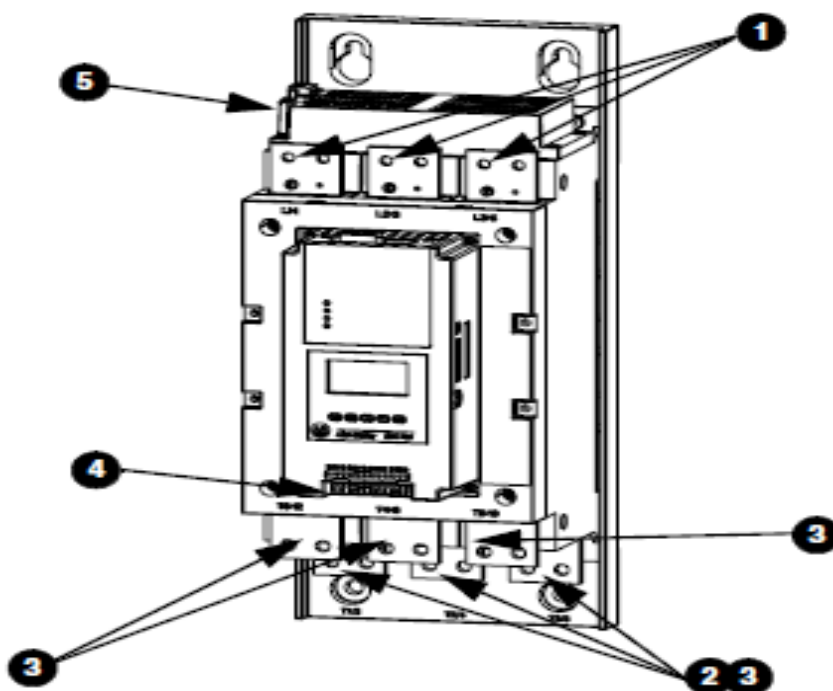


Table 3.A Wiring Terminal Locations

1	Incoming Line Termination
2	Line Motor Connections
3	Delta Motor Connections
4	Control Terminations
5	Fan Terminations

The SMC-Flex product has an integrated mechanical run contactor on each phase of the motor to minimize heat generation during run time. These contacts are pulled in sequentially in the 108...480 A units. In the 5...85 A units, these contacts are pulled in, all at once. The SMC-Flex product also has a CT, built in on each phase of the motor to provide current readings.

Fuente: SMC Flex User Manual, Bulletin 150

Control Terminal Designations

As shown in Figure 3.6, the SMC-Flex controller contains 24 control terminals on the front of the controller.

Figure 3.6 SMC-Flex Controller Control Terminals



Terminal Number	Description
11	Control Power Input ①
12	Control Power Common ①
13	Controller Enable Input ②
14	Control Module Ground
15	Option Input #2 ①②
16	Option Input #1 ①②
17	Start Input ①②
18	Stop Input ①②
19	N.O. Aux. Contact #1 (Normal/Up-to-Speed/External Bypass) ①②
20	N.O. Aux. Contact #1 (Normal/Up-to-Speed/External Bypass) ①②
21	Not Used
22	Not Used

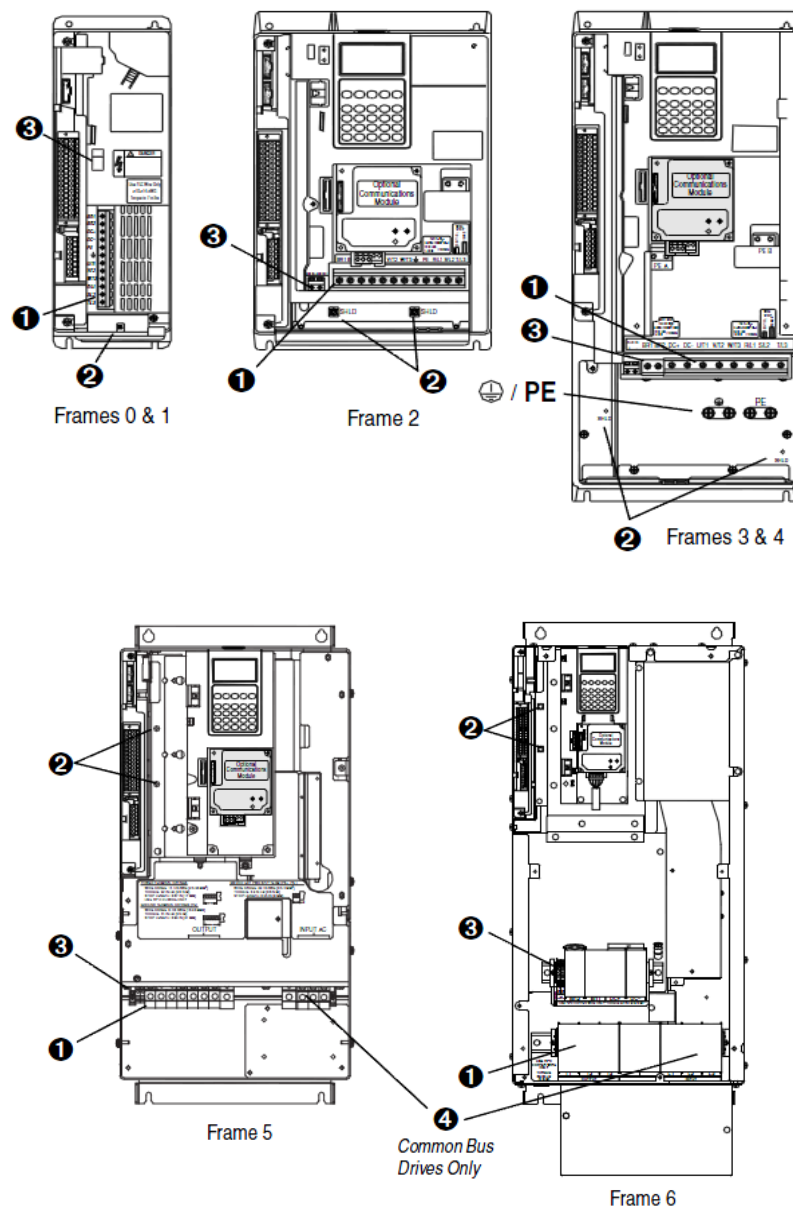
Terminal Number	Description
23	PTC Input ②
24	PTC Input ②
25	Tach Input
26	Tach Input
27	Ground Fault Transformer Input ②
28	Ground Fault Transformer Input ②
29	Fault Contact (N.O./N.C.) ①
30	Fault Contact (N.O./N.C.) ①
31	Alarm Contact (N.O./N.C.) ①
32	Alarm Contact (N.O./N.C.) ①
33	Aux Contact #2 Normal (N.O./N.C.) ①
34	Aux Contact #2 Normal (N.O./N.C.) ①

- ① RC Snubbers are required on loads connected to auxiliary.
- ② Do not connect any additional loads to these terminals. These "parasitic" loads may cause problems with operation, which may result in false starting and stopping.
- ③ External Bypass operates an external contactor and overload relay once the motor reaches full speed. The SMC-FLEX overload functionality, diagnostics and metering are disabled when the external bypass is activated. Proper sizing of the contactor and overload is required.

Fuente: SMC Flex User Manual, Bulletin 150

Diagram of Element

Figure 1.3 Typical Power Terminal Block Location



Fuente: PowerFlex 700 AC Drivers, User Manual; 20b-um002_-en-p.pdf.



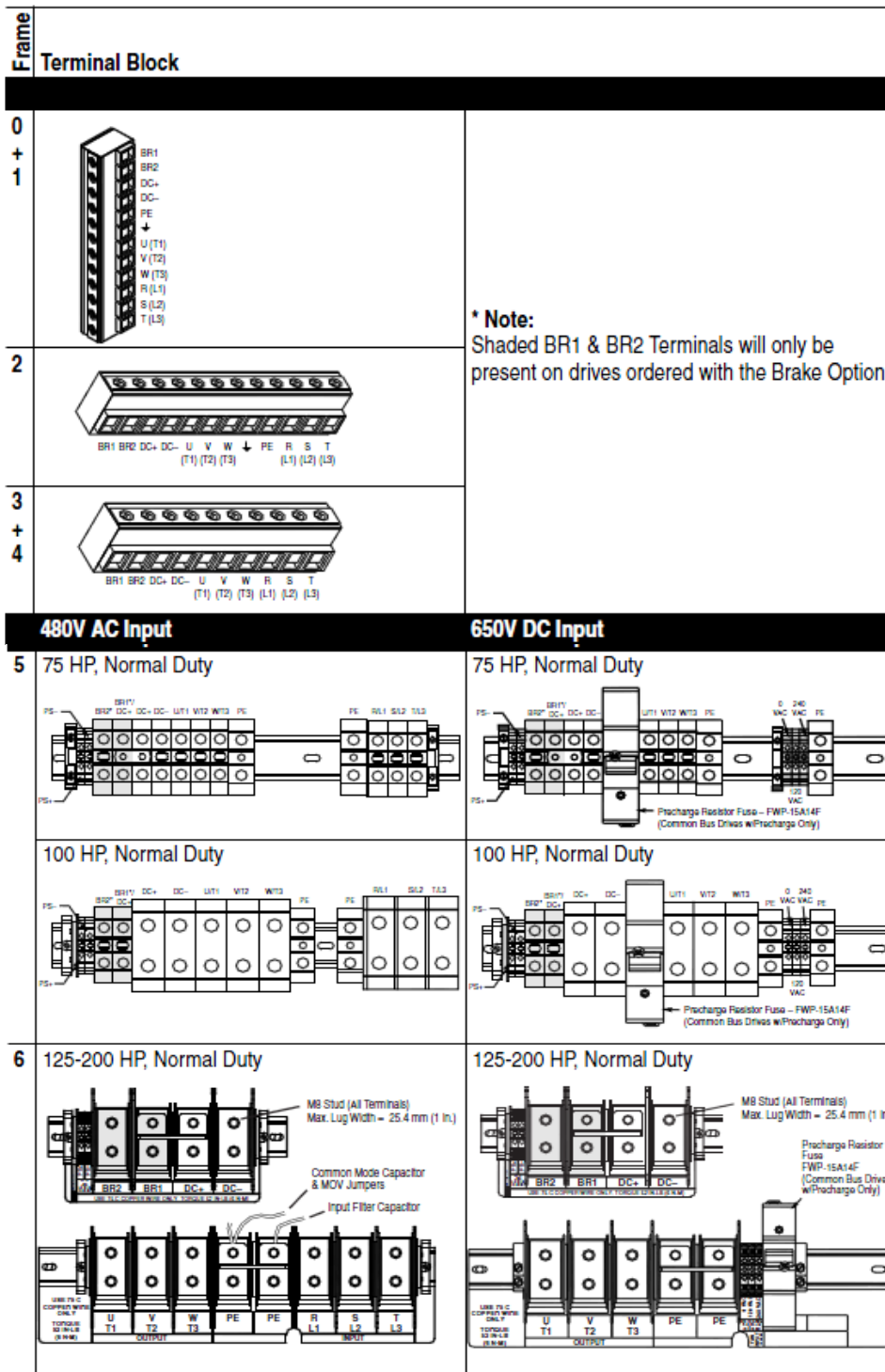
CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO S.A.

ANODIZADO

ANEXO D (VARIADOR
POWER FLEX 700)

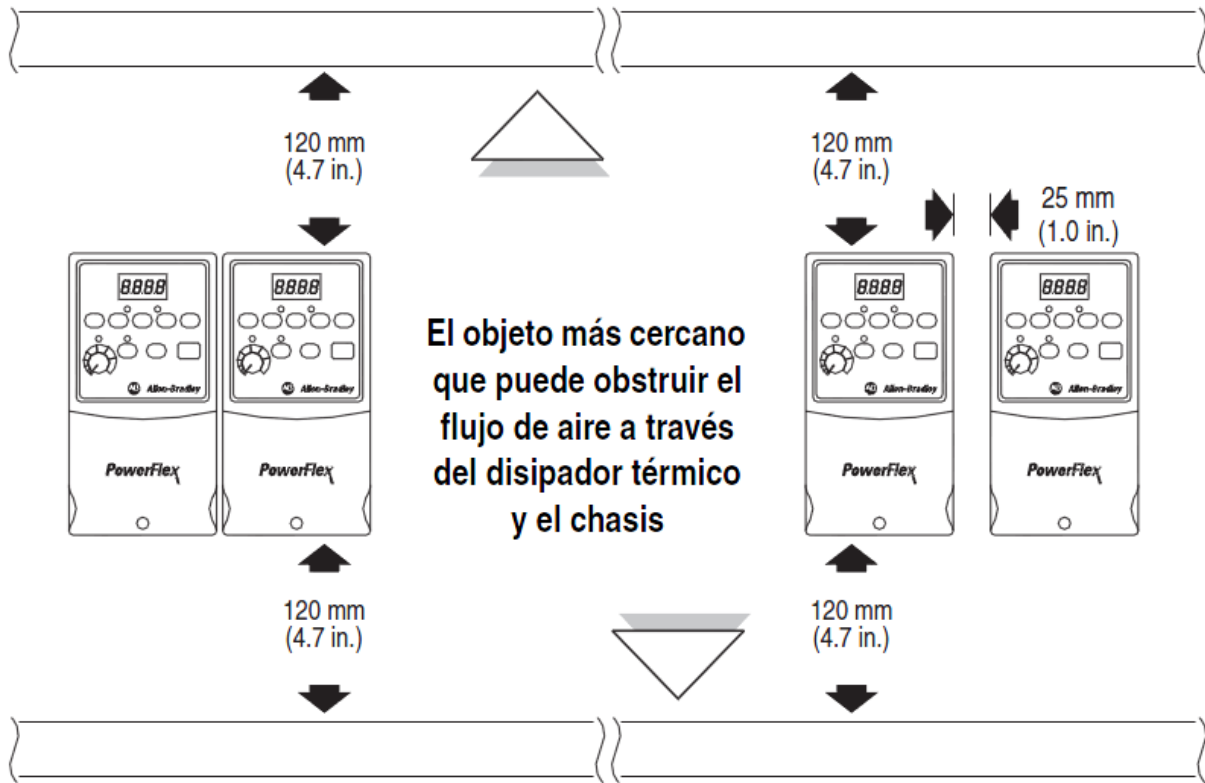
Pag. 2 de 2 págs

Figure 1.4 Power Terminal Block



Fuente: PowerFlex 700 AC Drivers, User Manual; 20b-um002_-en-p.pdf.

Espacio de Instalación



Opción de montaje A
No se requiere espacio libre entre los variadores.


Opción de montaje B

Temperatura ambiente de funcionamiento

Temperatura ambiente		Clasificación del envolvente	Espacios libres mínimos de montaje
Mínimo	Máximo		
-10 °C (14 °F)	40 °C (104 °F)	IP20, NEMA/UL Tipo abierto	Use la opción de montaje A
		IP66, NEMA/UL Tipo 4X	Use la opción de montaje A
		IP30, NEMA/UL Tipo 1 ⁽¹⁾	Use la opción de montaje B
	50 °C (122 °F)	IP20, NEMA/UL Tipo abierto	Use la opción de montaje B


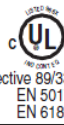

⁽¹⁾ La clasificación requiere la instalación del kit opcional IP 30, NEMA/UL Tipo 1 del PowerFlex 40P.

Fuente: PowerFlex 40, Inicio rapido; 22b-qs001_-es-p.pdf.

 CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO S.A.	ANODIZADO	Pag. 2 de 3 págs
	ANEXO D (VARIADOR POWER FLEX 40)	

Características nominales del variador

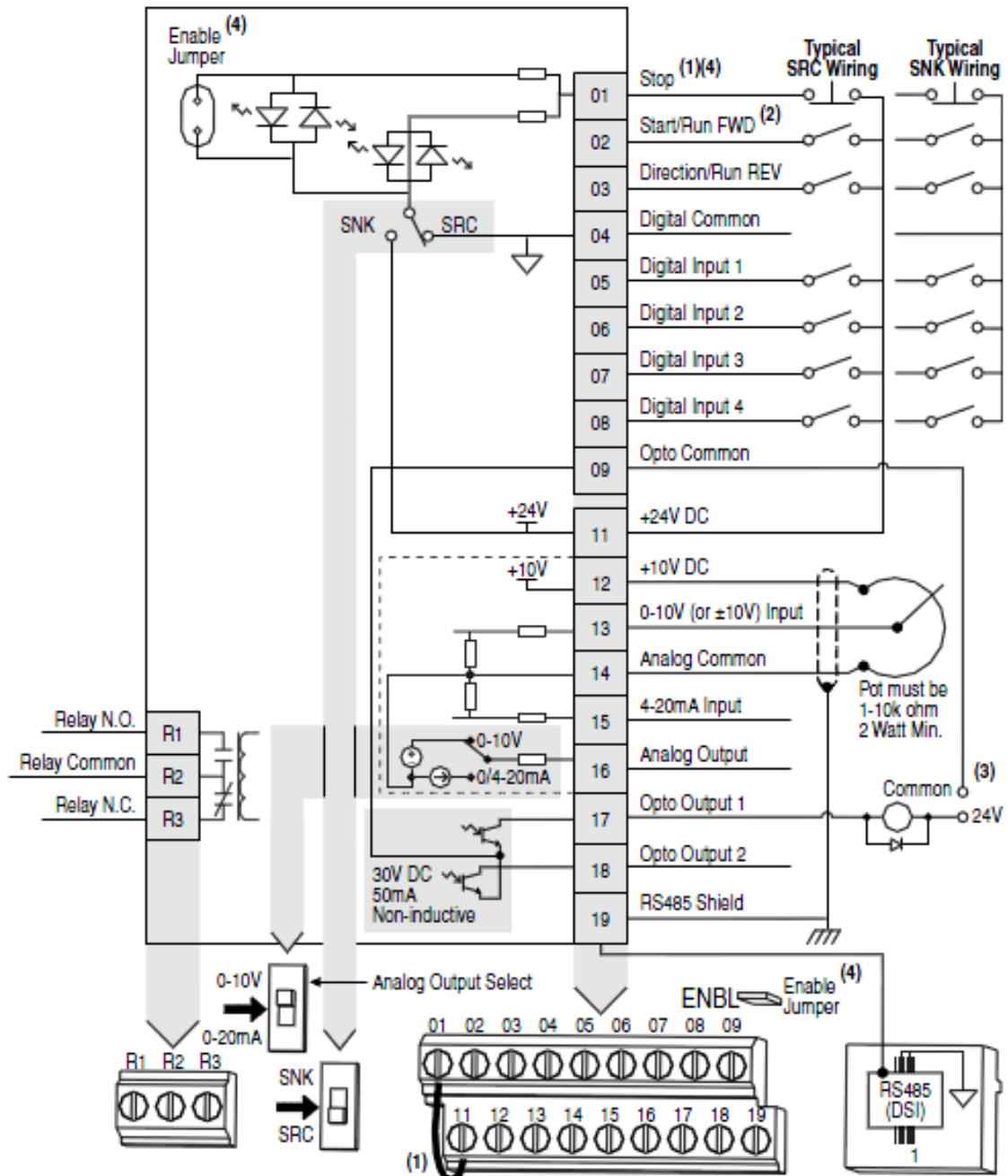
Número de catálogo ⁽¹⁾	Clasificaciones de salida		Clasificaciones de entrada			Protección de circuitos de bifurcación			Disipación de potencia IP20 abierto Watts
	kW (HP)	Amps	Rango de voltajes	kVA	Amps	Fusibles	Protectores de Motor 140M	Contactores	
Entrada trifásica 380–480 VCA (±10 %) – Salida trifásica 0–460 V									
22B-D1P4x104	0.4 (0.5)	1.4	342–528	1.4	1.8	3	140M-C2E-B25	100-C07	35
22B-D2P3x104	0.75 (1.0)	2.3	342–528	2.3	3.2	6	140M-C2E-B40	100-C07	50
22B-D4P0x104	1.5 (2.0)	4.0	342–528	4.0	5.7	10	140M-C2E-B63	100-C09	70
22B-D6P0x104	2.2 (3.0)	6.0	342–528	5.9	7.5	15	140M-C2E-C10	100-C09	100
22B-D010x104	4.0 (5.0)	10.5	342–528	10.3	13.0	20	140M-C2E-C16	100-C23	160
22B-D012x104	5.5 (7.5)	12.0	342–528	11.8	14.2	25	140M-D8E-C20	100-C23	175
22B-D017x104	7.5 (10.0)	17.0	342–528	16.8	18.4	30	140M-D8E-C20	100-C23	210
22B-D024x104	11.0 (15.0)	24.0	342–528	23.4	26.0	50	140M-F8E-C32	100-C43	300

Clasificaciones de entrada/salida <i>Frecuencia de salida:</i> 0–400 Hz (programable) <i>Eficiencia:</i> 97.5 % (típica)		Aprobaciones  UL508C  CSA 22.2  EMC Directive 89/336 LV: EN 50178, EN 60204 EMC: EN 61800-3, EN 50081-1, EN 50082-2	
Entradas de control digital (corriente de entrada = 6 mA)		Entradas de control analógico	
Modo SRC (surtidor): 18–24 V = ACTIVADO 0–6 V = DESACTIVADO	Modo SNK (drenador): 0–6 V = ACTIVADO 18–24 V = DESACTIVADO	4–20 mA analógicas: Impedancia de entrada de 250 ohms 0–10 VCC analógicas: Impedancia de entrada de 100 k ohms Pot. externo: 1–10 k ohms, 2 watts mínimo	
Salida de control			
<i>Salida programable (relé formato C)</i> Clasificación resistiva: 3.0 A a 30 VCC, 3.0 A a 125 VCA, 3.0 A a 240 VCA Clasificación inductiva: 0.5 A a 30 VCC, 0.5 A a 125 VCA, 0.5 A a 240 VCA		<i>Salidas de optoacoplador</i> 30 VCC, 50 mA No inductivas	<i>Salidas analógicas (10 bit)</i> 0–10 V, 1 k ohm mín. 4–20 mA, 525 ohm máx.
Fusibles y disyuntores			
<i>Tipo de fusible recomendado:</i> UL Clases J, CC, T o Tipo BS88; 600 V (550 V) o equivalente. <i>Disyuntores recomendados:</i> Disyuntores HMCP o equivalentes.			


Fuente: PowerFlex 40, Inicio rapido; 22b-qs001_-es-p.pdf.

Bloque de terminales de control

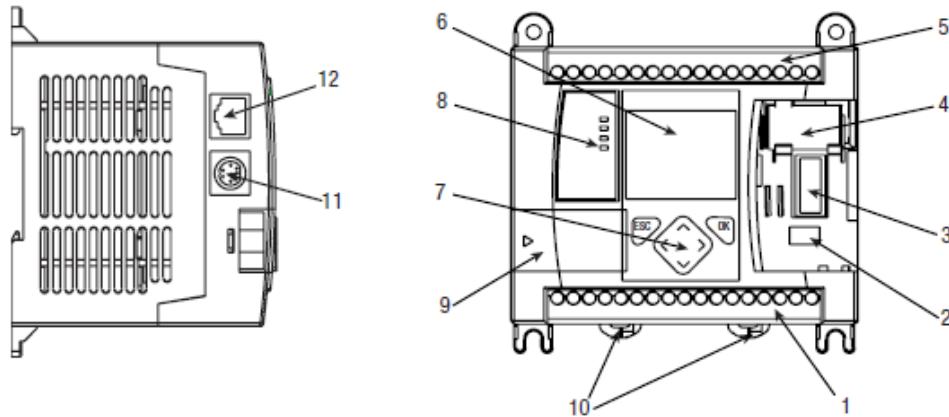
Diagrama del bloque de cableado de control



Fuente: PowerFlex 40, Inicio rapido; 22b-qs001_-es-p.pdf.


 CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO S.A.	ANODIZADO	Pag. 1 de 3 págs
	ANEXO D (PLC MICROLOGIX 1100)	

Descripción del controlador



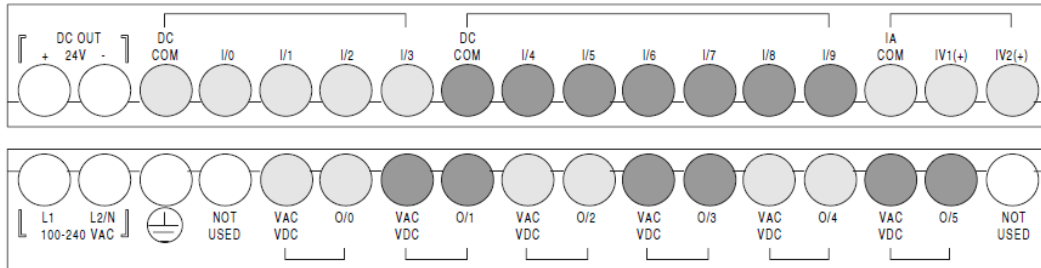
Ítem	Descripción
1	Bloque de terminales de salida
2	Conector de la batería
3	Interface del conector de bus a las E/S de expansión
4	Batería
5	Bloque de terminales de entrada
6	Pantalla de cristal líquido
7	Teclado de la pantalla de cristal líquido (ESC, OK, arriba, abajo, izquierda, derecha)
8	Indicadores LED de estado
9	Cubierta del puerto del módulo de memoria ⁽¹⁾ , o módulo de memoria ⁽²⁾
10	Seguros de riel DIN
11	Puerto de comunicación RS-232/485 (canal 0, aislado)
12	Puerto Ethernet (canal 1)

Fuente: MicroLogix 1100 Programmable Controllers, 1763'in001_-mu-p.pdf.

 CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO S.A.	ANODIZADO	Pag. 2 de 3 págs
	ANEXO D (PLC MICROLOGIX 1100)	

1763-L16BWA

Bloque de terminales de entrada



Bloque de terminales de salida

Especificaciones de salida para los lugares normales (no peligrosos) solamente

Consideraciones generales

Descripción	1763	
	-L16AWA, -L16BWA, -L16DWD	-L16BBB
Salidas de relé y FET		
Carga controlada máxima	1440 VA	720 VA
Corriente máxima en régimen permanente:		
Corriente por común de grupo	5 A	5 A
Corriente por controlador	a 150 V máx	30 A o total de cargas por punto, cualquiera que sea menos
	a 240 V máx	20 A o total de cargas por punto, cualquiera que sea menos
Salidas de relé		
Tiempo de activación/tiempo de desactivación	10 ms (máximo) ⁽¹⁾	
Corriente de carga	10 mA (mínimo)	

Fuente: MicroLogix 1100 Programmable Controllers, 1763'in001_-mu-p.pdf.

 CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO S.A.	ANODIZADO	Pag. 3 de 3 págs
	ANEXO D (PLC MICROLOGIX 1100)	

Especificaciones

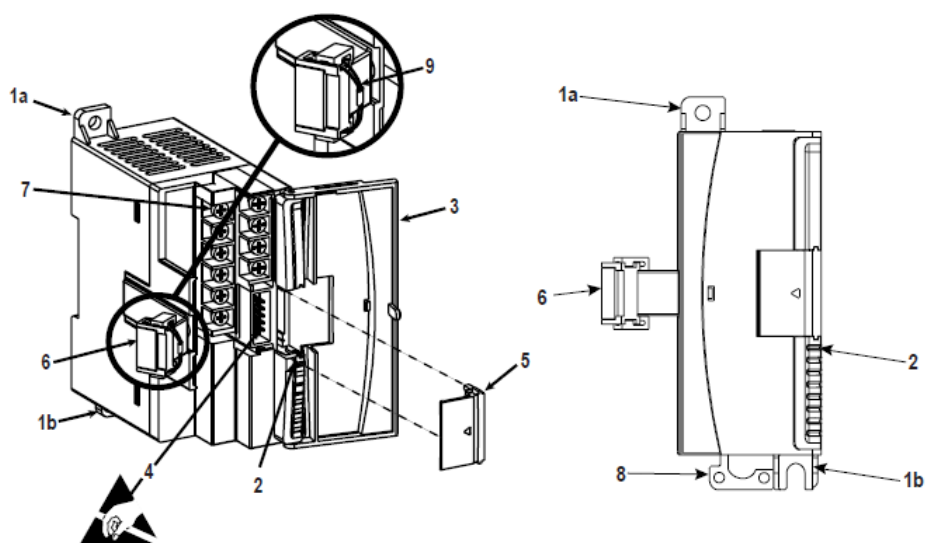
Especificaciones generales

Descripción	1763-			
	L16AWA	L16BWA	L16BBB	L16DWD
Dimensiones	Altura 90 mm (3.5 pulg.), 104 mm (4.09 pulg.) (con seguro DIN abierto) Ancho: 110 mm (4.33 pulg.), Prof.: 87 mm (3.43 pulg.)			
Peso de envío	0.9 kg (2.0 lb)			
Número de E/S	12 entradas (10 digitales y 2 analógicas) y 6 salidas			
Voltaje de la fuente de alimentación eléctrica	100...240 VCA (-15 %, +10 %) a 47...63 Hz		24 VCC (-15 %, +10 %) Clase 2 SELV	12 a 24 VCC (-15 %, +10 %) Clase 2 SELV
Disipación de calor	Consulte el Manual del usuario del controlador programable MicroLogix 1100, publicación 1763-UM001-ES.			
Corriente de entrada al momento del arranque de la fuente de alimentación eléctrica	120 VCA: 25 A durante 8 ms 240 VCA: 40 A durante 4 ms		24 VCC: 15 A durante 20 ms	
Consumo de potencia	46 VA	52 VA	35 W	
Alimentación de 24 VCC del sensor	ninguna	24 VCC a 250 mA 400 µF máx.	ninguna	
Tipo de circuito de entrada	Digital: 120 VCA Analógico: 0...10 VCC	Digital: 24 VCC drenador/surtidor (estándar y alta velocidad) Analógico: 0...0 VCC	Digital: 24 VCC drenador/surtidor (estándar y alta velocidad) Analógico: 0...10 VCC	Digital: 12/24 VCC drenador/surtidor (estándar y alta velocidad) Analógico: 0...10 VCC
Tipo de circuito de salida	Relé	Relé	Relé/FET	Relé
Temperatura de funcionamiento	-20...+65 °C (-4...+149 °F)			
Temperatura de almacenamiento	-40...+85 °C (-40...+185 °F)			
Humedad relativa	5...95 % sin condensación			

Fuente: MicroLogix 1100 Programmable Controllers, 1763-in001_-mu-p.pdf.

Rango Temperatura

Accepted Inputs	Range
Thermocouple Type J	-210 to +1200°C (-346 to +2192°F)
Thermocouple Type K	-270 to +1370°C (-454 to +2498°F)
Thermocouple Type T	-270 to +400°C (-454 to +752°F)
Thermocouple Type E	-270 to +1000°C (-454 to +1832°F)
Thermocouple Type R	0 to +1768°C (+32 to +3214°F)
Thermocouple Type S	0 to +1768°C (+32 to +3214°F)
Thermocouple Type B	+300 to +1820°C (+572 to +3308°F)
Thermocouple Type N	-210 to +1300°C (-346 to +2372°F)
Thermocouple Type C	0 to +2315°C (+32 to + 4199°F)
millivolt inputs	-50 to +50 mV
	-100 to +100 mV

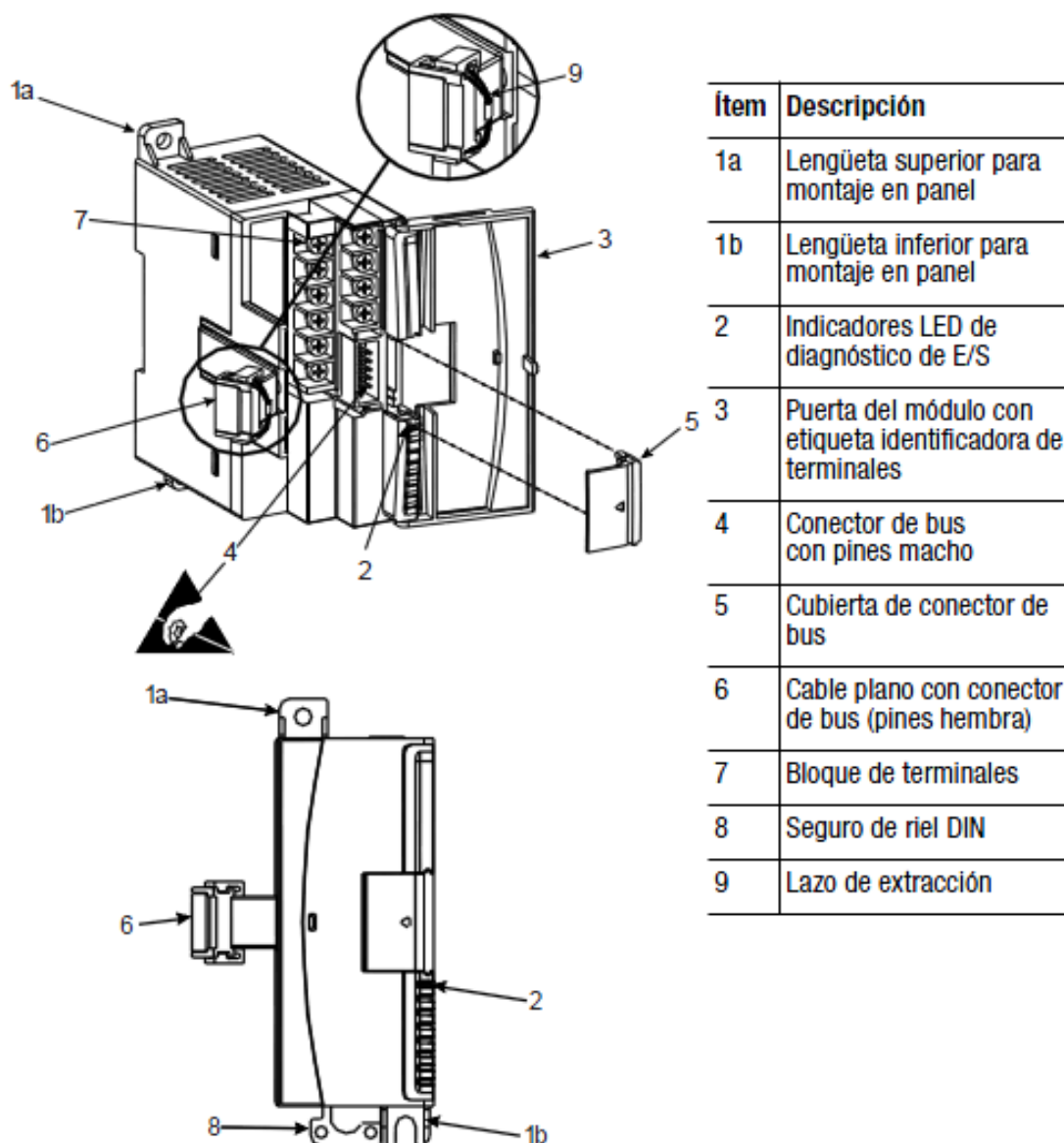


Item	Description	Item	Description
1a	upper panel mounting tab	5	bus connector cover
1b	lower panel mounting tab	6	flat ribbon cable with bus connector (female)
2	power diagnostic LED	7	terminal block
3	module door with terminal identification label	8	DIN rail latch
4	bus connector with male pins	9	pull loop

Fuente: MicroLogix™ 1200 Thermocouple/mV Input Module, 1762-IN013A-EN-P

 CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO S.A.	ANODIZADO	Pag. 1 de 1 págs
	ANEXO D (MÓDULO 1762-IQ8)	

Descripción



Fuente: Módulo de entrada 1762-IQ8, Instrucciones para la instalación, 1762-in004_-es-p.pdf.



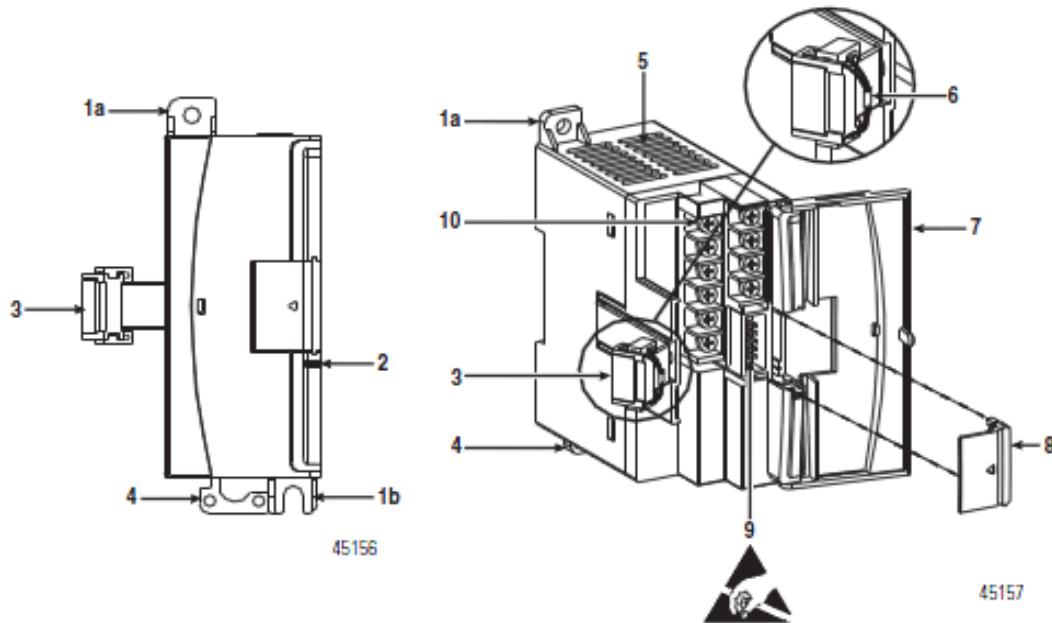
CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO S.A.

ANODIZADO

ANEXO D (MÓDULO 1762-IF4)

Pag. 1 de 2 págs

Module Description



This equipment is sensitive to electrostatic discharge (ESD).
Follow ESD prevention guidelines when handling this equipment.

Front view

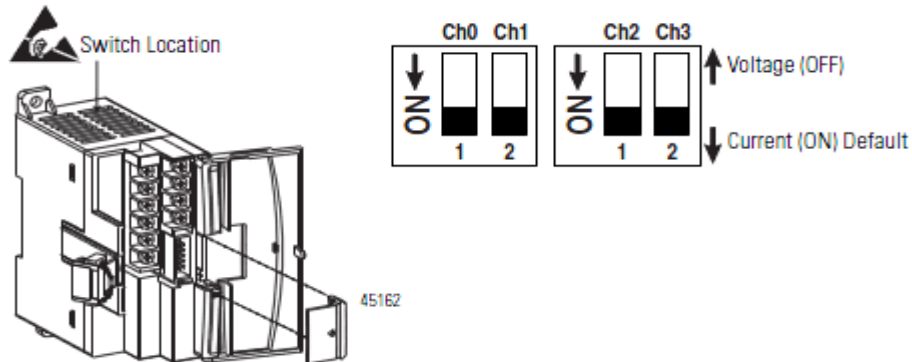
Left side view

Description		Description	
1a	upper panel mounting tab	5	input type selector switch
1b	lower panel mounting tab	6	pull loop
2	power diagnostic LED	7	module door with terminal identification label
3	flat ribbon cable with bus connector (female)	8	bus connector cover
4	DIN rail latch	9	bus connector with male pins
		10	terminal block

Fuente: Installation Instructions, MicroLogix 1762-IF4 Analog Input Module, 1762-in012_-2n-p.pdf.

Input Type Selection

Select the input type, current or voltage, using the switch located on the module's circuit board *and* the input type/range selection bits in the Configuration Data File (see page 19). You can access the switch through the ventilation slots on the top of the module. The factory default setting for all switches is Current. Switch positions are shown below.



Specifications

Input

Attribute	Value
Number of inputs	4 differential (bipolar)
A/D converter type	Sigma-Delta
Common mode voltage range ⁽¹⁾	±27V
Common mode rejection ⁽²⁾	> 55 dB at 50 and 60 Hz
Non-linearity (in percent full scale)	±0.12%
Typical overall accuracy ⁽³⁾	±0.32% full scale at -20...65 °C (-4 °F...149 °F) ±0.24% full scale at 25 °C (77 °F)
Input impedance	Voltage terminal: 200KΩ Current terminal: 275Ω
Current input protection	±32 mA
Voltage input protection	±30V
Channel diagnostics	Over or under range or open circuit condition by bit reporting for analog inputs.

Fuente: Installation Instructions, MicroLogix 1762-IF4 Analog Input Module, 1762-in012_-2n-p.pdf.



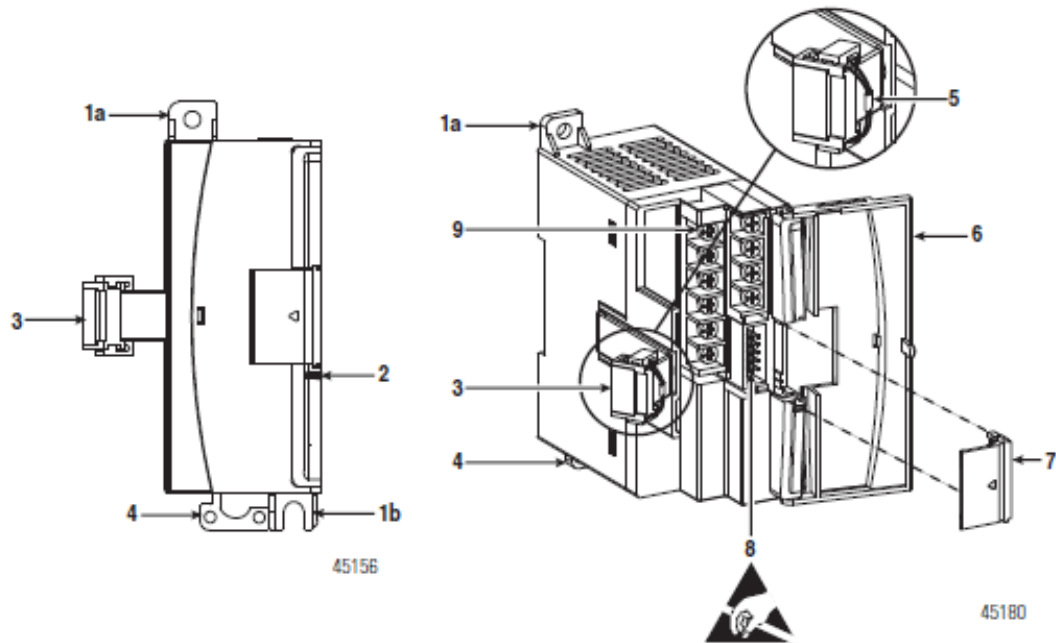
CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO S.A.

ANODIZADO

ANEXO D (MÓDULO 1762-0F4)

Pag. 1 de 2 págs

Module Description



This equipment is sensitive to electrostatic discharge (ESD).
Follow ESD prevention guidelines when handling this equipment.

Front view

Left side view

Front view		Left side view	
	Description		Description
1a	upper panel mounting tab	5	pull loop
1b	lower panel mounting tab	6	module door with terminal identification label
2	power diagnostic LED	7	bus connector cover
3	flat ribbon cable with bus connector (female)	8	bus connector with male pins
4	DIN rail latch	9	terminal block

Fuente: *Installation Instructions*, MicroLogix 1762-0F4 Analog Output Module, 1762-in016_-en-p.pdf.

 CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO S.A.	ANODIZADO	Pag. 2 de 2 págs
	ANEXO D (MÓDULO 1762-OF4)	

Specifications


Output

Attribute	Value
Number of outputs	4 single-ended (unipolar)
D/A converter type	R-2R Ladder Voltage Switching
Module update time	2.5 ms
Resistive load on current output	0 ... 500 Ω (includes wire resistance)
Load range on voltage output	> 1K Ω
Reactive load, current output	< 0.1 mH
Reactive load, voltage output	< 1 μ F
Typical overall accuracy ⁽¹⁾	\pm 1.17% full scale at -20 °C...65 °C (-4 °F...149 °F) \pm 0.5% full scale at 25 °C (77 °F)
Output ripple range 0 ... 500 Hz (referred to output range)	< \pm 0.1%
Non-linearity (in percent full scale)	< \pm 0.59%
Open and short-circuit protection	Continuous
Output protection	\pm 32 mA

General




Attribute	Value
Dimensions HxWxD	90 x 40.4 x 87 mm (3.54 x 1.59 x 3.43 in.)
Approximate shipping weight (with carton)	235 g (8.28 oz)
Bus current draw, max	40 mA at 5V DC 165 mA at 24V DC
Analog normal operating range	Voltage: 0 ... 10V DC Current: 4 ... 20 mA
Full scale ⁽¹⁾ analog ranges	Voltage: 0 ... 10.5V DC Current: 0 ... 21 mA

Fuente: *Installation Instructions*, MicroLogix 1762-OF4 Analog Output Module, 1762-in016_-en-p.pdf.

 CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO S.A.	ANODIZADO	Pag. 1 de 1 págs
	ANEXO D (FUENTE SITOP)	

Intensidad de salida 5 A

Sinopsis


Producto	SITOP modular	SITOP smart	SITOP smart
Fuente de alimentación, tipo	5 A	5 A	5 A
Referencia	6EP1 333-3BA00 ¹⁽²⁾	6EP1 333-2A A01	6EP1 333-2BA01
<p>Los productos de cada línea se muestran en el mismo color.</p> <p>Las líneas de productos se describen en el capítulo 1, en las páginas 1/8 a 1/12.</p>	 <p>La fuente de alimentación modular con entrada de rango amplio monofásica y bifásica para aplicación universal; con característica de salida conmutable; ampliación funcional mediante módulos adicionales al efecto.</p>	 <p>Fuente de alimentación monofásica para aplicación universal; conforme con la Directiva de la UE 94/9/CE (ATEX 100a); anchura reducida; con un 50% de potencia extra durante 5 s y un 120% de potencia nominal hasta 45 °C; sin limitación de armónicos en red.</p>	 <p>Fuente de alimentación monofásica para aplicación universal; conforme con la Directiva de la UE 94/9/CE (ATEX 100a); anchura reducida; con un 50% de potencia extra durante 5 s y un 120% de potencia nominal hasta 45 °C.</p>
Opciones de ampliación	Módulos de ampliación y módulo de redundancia o módulo de selectividad para proteger derivaciones de 24 V (capítulo 11) así como DC-USV para protección adicional ante cortes de red (capítulo 12)		

Datos técnicos

Producto	SITOP modular	SITOP smart	SITOP smart
Entrada			
Tensión nominal U_E nom	Monofásicas y bifásicas AC 120-230/230-500 V AC ajustable por conmutador integrado	Monofásica AC 120/230 V AC ajustable por conmutador integrado	Monofásica AC 120/230 V AC ajustable por conmutador integrado
Rango de tensión	85 ... 264/176 ... 500 V (arranque a partir de U_E 90/180 V)	85 ... 132 V/170 ... 264 V	85 ... 132 V/170 ... 264 V
Resistencia a sobretensiones Puenteo de fallos de red con Is nom	1300 V _{pico} , 1,3 ms > 25 ms con $U_E = 120/230$ V	$2,3 \times U_E$ nom., 1,3 ms > 20 ms con $U_E = 93/187$ V	$2,3 \times U_E$ nom., 1,3 ms > 20 ms con $U_E = 93/187$ V
Frecuencia nominal de red; rango	50/60 Hz; 47 ... 63 Hz	50/60 Hz; 47 ... 63 Hz	50/60 Hz; 47 ... 63 Hz
Intensidad nominal I_E nom	2,2-1,2/1,2-0,61 A	2,1/1,15 A	2,1/1,15 A
Limitación de intens. de conexión (+25 °C) F_t	< 35 A < 1,7 A ² s	< 32 A, tip. 3 ms < 0,8 A ² s	< 32 A, tip. 3 ms < 0,8 A ² s
Fusible de entrada incorporado Magnetotérmico (IEC 898) recomendado en la línea de alimentación	3,15 A, lento (no accesible) A partir de 6 A (10 A), curva C (B); obligatorio con entrada bifásica; magnetotérmico con dos polos acoplados o interruptor automático 3RV2011-1EA10 (ajustado a 3,8 A) ó 3RV2711-1ED10 (UL 489) con 230 V; 3RV2011-1DA10 (ajustado a 3 A) ó 3RV2711-1DD10 (UL 489) con 400/500 V	3,15 A/250 V, lento (no accesible) A partir de 6 A, curva C	3,15 A/250 V, lento (no accesible) A partir de 6 A, curva C
Salida			
Tensión nominal U_E nom	Tensión continua estabilizada y aislada galvánicamente 24 V DC	Tensión continua estabilizada y aislada galvánicamente 24 V DC	Tensión continua estabilizada y aislada galvánicamente 24 V DC
Tolerancia total	± 3 %	± 3 %	± 3 %
• Comp. estática variación de red	Aprox. 0,1 %	Aprox. 0,1 %	Aprox. 0,1 %
• Comp. estática variación de carga	Aprox. 0,1 %	Aprox. 0,5 %	Aprox. 0,5 %
Ondulación residual	< 50 mV _{pp}	< 150 mV _{pp} (tip. 50 mV _{pp})	< 150 mV _{pp} (tip. 50 mV _{pp})
Spikes (ancho de banda: 20 MHz)	< 200 mV _{pp}	< 240 mV _{pp} (tip. 150 mV _{pp})	< 240 mV _{pp} (tip. 150 mV _{pp})
Rango de ajuste	24 ... 28,8 V	22,8 ... 28 V	22,8 ... 28 V
Indicador de funcionamiento	LED verde para 24 V O.K.	LED verde para 24 V O.K.	LED verde para 24 V O.K.
Comportamiento al conectar/desconectar	Rebase transitorio de U_E en aprox. 3%	Rebase transitorio de U_E en aprox. 4%	Rebase transitorio de U_E en aprox. 4%
Retardo/subida de tensión en arranque	< 1 s / < 50 ms	< 0,1 s con 230 V AC / tip. 50 ms	< 0,1 s con 230 V AC / tip. 50 ms
Intensidad nominal I_E nom	5 A	5 A	5 A
Rango de intensidad	0 ... 5 A	0 ... 5 A	0 ... 5 A
• Hasta +60 °C	> 60 °C	0 ... 6 A (hasta +45 °C)	0 ... 6 A (hasta +45 °C)
• Derating			
Sobrecorriente dinámica con	Intensidad constante, aprox. 5,5 A	Tip. 17 A durante 100 ms	Tip. 17 A durante 100 ms
• Arranque contra cortocircuito	Tip. 15 A durante 25 ms	Tip. 17 A durante 200 ms	Tip. 17 A durante 200 ms
• Cortocircuito en funcionamiento			
Posibilidad de conex. en paralelo	Si, 2 unidades (caract. conmutable)	Si, 2 unidades	Si, 2 unidades

Fuente: Fuente de alimentación SITOP, Catálogo KT 10.1 • 2012, E86060-K2410-A111-A8-7800_KT10_1_2012_sp.

ANEXO E

 <small>CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO S.A.</small>	ANODIZADO	
	MANUAL DE MANTENIMIENTO	

Contenido

1. MANUAL DE PROCEDIMIENTO Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA	E2
1.1 MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS DE POTENCIA	E2
1.1.1 Mantenimiento de los variadores de frecuencia Power Flex 40	E2
1.1.2 Mantenimiento del variador de frecuencia Power Flex 700.....	E4
1.1.3 Mantenimiento del arrancador suave	E7
1.1.4 Mantenimiento de los ventiladores	E8
1.2 MANTENIMIENTO DE LOS TABLEROS.....	E8
1.3 Mantenimiento predictivo	E9

 CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO S.A.	ANODIZADO	Pag. 1 de 9
	MANUAL DE MANTENIMIENTO	

1. MANUAL DE PROCEDIMIENTO Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA

Este manual tiene el fin de dar información que facilite el desarrollo de mantenimiento de los equipos.

1.1 MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS DE POTENCIA

En general estos tipos de equipo no necesitan de mantenimiento constante, debido a que son diseñados para funcionar con normalidad en ambientes industriales.

1.1.1 Mantenimiento de los variadores de frecuencia Power Flex 40

El mantenimiento a estos equipos se lo realiza en la parada anual de la empresa, consiste en el desmontaje del equipo y la limpieza de sus componentes.

Pasos de desmontaje:

- 1) Se baja el breaker principal, luego los breakers de cada uno de los variadores y se desconecta las borneras de los portafusibles de las entradas a los variadores de 0 a 10 voltios.
- 2) Espere tres minutos para que los condensadores se descarguen a niveles seguros de tensión.

- 3) Mediante la ayuda de un multímetros se verifica que los equipos estén completamente des-energizados.
- 4) Saque las tapas protectoras (Figura E.1) y desconecte los cables de potencia y de control del variador, dejando la parte descubierta de los cables, protegidos con un aislante para evitar contratiempos.

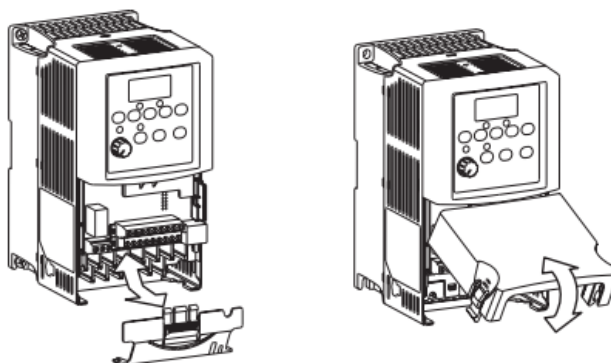


Figura E.1 Tapas de protección del cableado de control y potencia

- 5) Afloje los tornillos de sujeción del variador y desmonte el equipo, tenga cuidado al momento del desmontaje de posibles golpes.
- 6) Limpie los equipos del polvo y verifique el estado de los mismos.

Cambio del ventilador

Se coloca el variador en un ambiente con una buena iluminación y libre de partículas suspendidas en el ambiente como polvo, agua o virutas.

Se presionan los sujetadores del ventilador y se lo retira (Figura E.2). Desconecte el conector del ventilador con la placa.

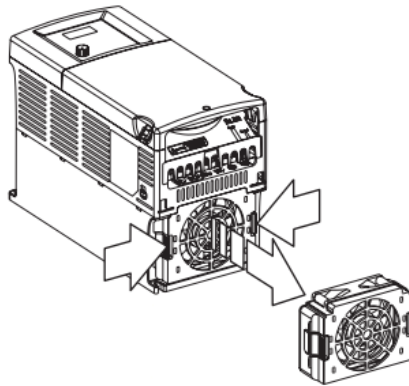


Figura E.2 Desmontaje del ventilador

Fuente: Manual de mantenimiento 22-in007_-mu-p.pdf

1.1.2 Mantenimiento del variador de frecuencia Power Flex 700

Reemplazo del transformador

Retire la R, S & T cables de alimentación desde el bloque de terminales. Quite el tornillo de la placa de cubierta. Ver Figura E.3.

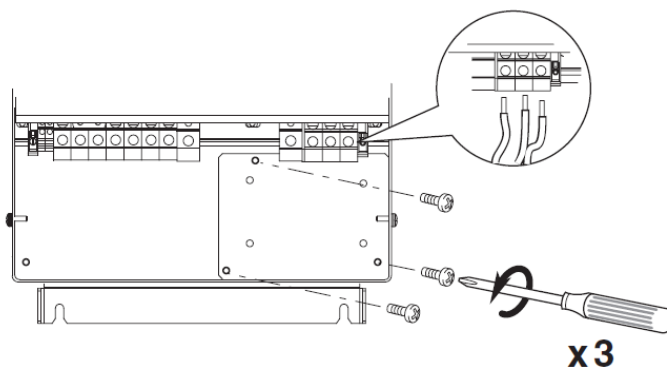


Figura E.3 desenergización del variador Power Flex 700

Levante la tapa y retírela, desconecte el conector de la placa de circuito. Coloque la placa / la placa de cubierta para permitir el acceso al transformador. Véase la Figura E.4.

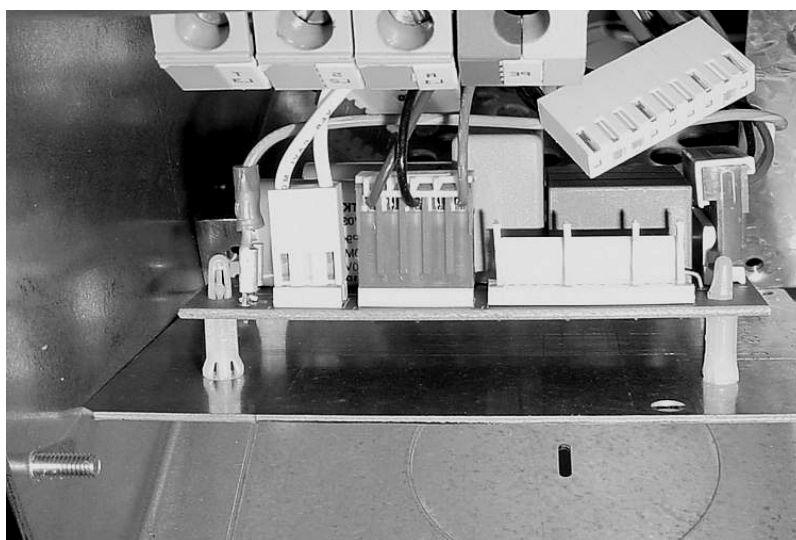


Figura E.4 Desconexión de la placa del circuito

Obtenga acceso a los dos tornillos del transformador de reposicionamiento del bloque de terminales y / o ferrocarril. El riel puede ser movido ligeramente. Una ranura en el chasis (por debajo de terminales bloque) permite el acceso al tornillo de nuevo transformador.

Retire los dos tornillos que sujetan el transformador. Retire el transformador y observe la colocación del puente. Correcta posición del puente sobre el nuevo transformador. Posición y el transformador nuevo seguro para chasis con tornillos previamente eliminado. Vuelva a montar la unidad en el orden inverso. Todos los tornillos deben ser apretados a 3,2 Nm (28 lb-pulg).

Reemplazo del ventilador (Figura E.5)

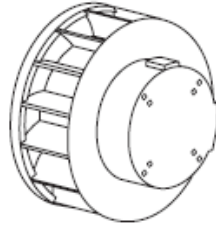


Figura E.5 Ventilador del variador Power Flex 700

Retire los cuatro tornillos que sujetan el plástico protector y HIM panel. Quite el escudo y asiente el HIM Panel a un lado. Quite el cable de tierra y MOV, ver la Figura E.6.

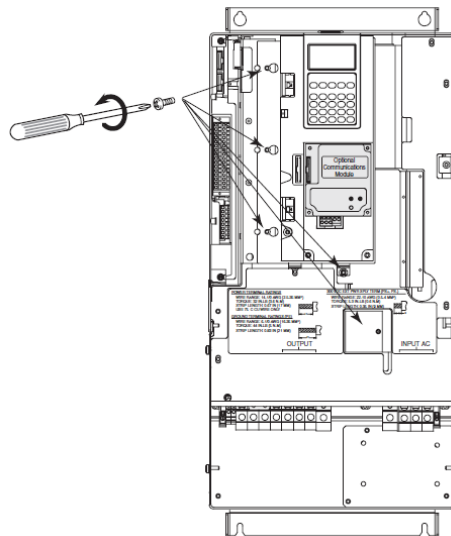


Figura E.6 Desmontaje del HMI panel

Saque el tornillo que asegura la cubierta del ventilador. Retire el conector del ventilador. Deslice recinto del ventilador hacia abajo y hacia fuera (Figura E.7)



Figura E.7 Placa de montaje del ventilador del variador

Retire el conjunto de ventilador y remplace el ventilador.

Vuelva a montar en el orden inverso. Compruebe que encaje la muesca de la parte inferior de las líneas de montaje donde esta recorte del chasis.

Verifique la alineación de precarga en conjunto. Apriete todos los tornillos a 3,2 N-m (28 lb-pulg).

Fuente: Instrucciones de mantenimiento ra-in009_-en-p.pdf

1.1.3 Mantenimiento del arrancador suave

El mantenimiento del arrancador suave se lo realiza en la parada anual o cuando el equipo presente problemas.

Los pasos para realizar mantenimiento al equipo son:

- 1) Se bajan los breaker de potencia y de control del equipo.
- 2) Mediante la ayuda de un multímetro se comprueba que el equipo este desenergizado por completo.

	ANODIZADO	Pag. 7 de 9
	MANUAL DE MANTENIMIENTO	

- 3) Se desconectan las conexiones de control y de potencia.
- 4) Se desarma el equipo y se limpia sus elementos.
- 5) Se prueba su funcionamiento en vacío y con carga.
- 6) Se monta el equipo y se realiza las conexiones de control y de potencia.

1.1.4 Mantenimiento de los ventiladores

En el caso de los ventiladores se pueden presentar dos tipos de problemas:

- El primero se da cuando el ventilador no funciona constantemente o funciona a velocidad inferior a la normal, en este caso se hace es el cambio completo del ventilador mejorando la ventilación del tablero.
- La limpieza de los filtros es una actividad constante para el funcionamiento del sistema de ventilación, aproximadamente una vez cada tres meses se recomienda desmontar los filtros para limpiarlos.

1.2 MANTENIMIENTO DE LOS TABLEROS

Los tableros no representan un gran problema en lo que corresponde a su mantenimiento, se tiene que realizar una limpieza periódica de acumulación de polvo u otras sustancias en los equipos.

1.3 Mantenimiento predictivo

Para el caso de la búsqueda y la solución de errores, se plantean los siguientes casos y las posibles soluciones para los mismos.

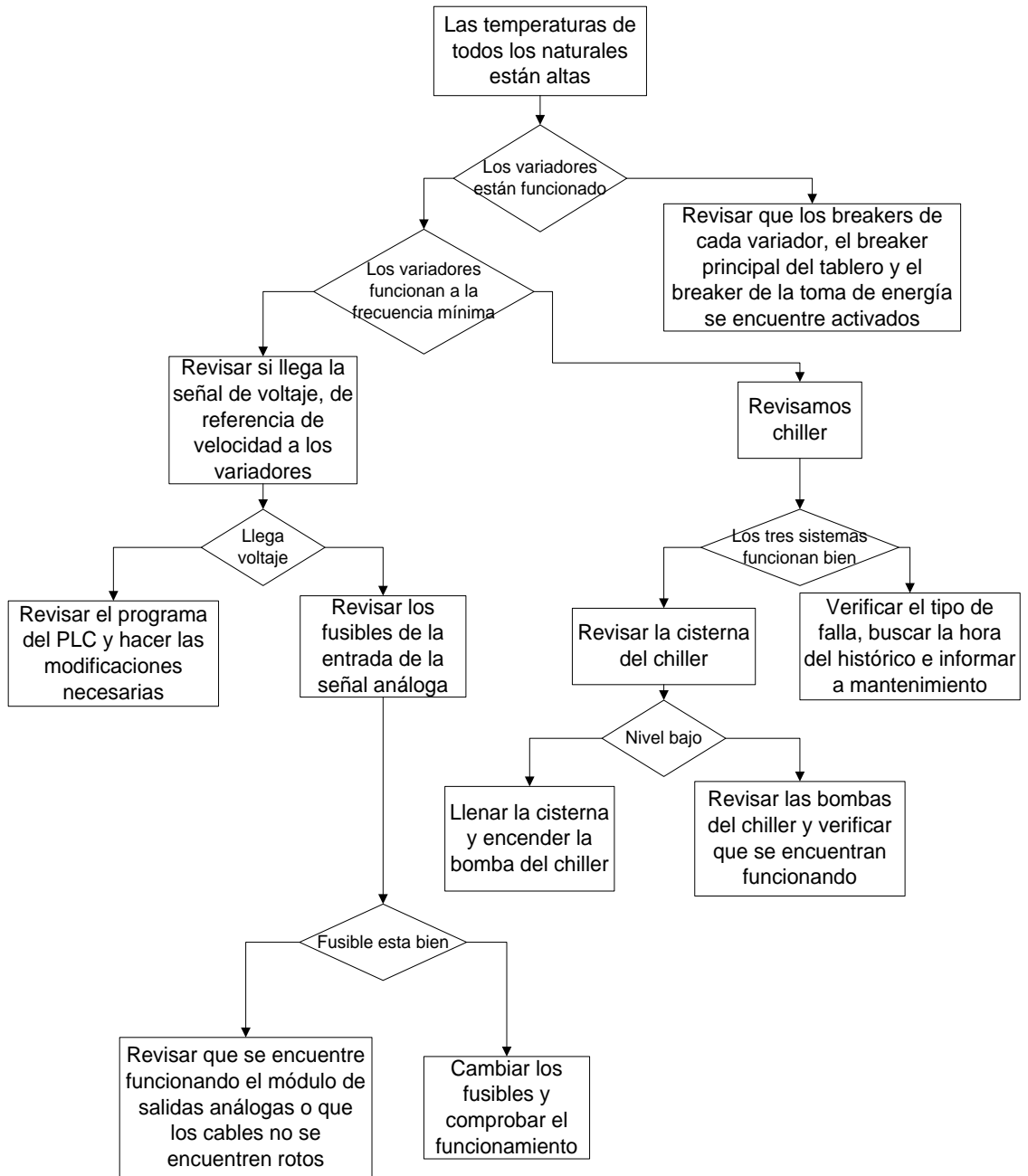


Figura E.10 Mantenimiento Predictivo Falla 1
 Elaborado por: Investigador

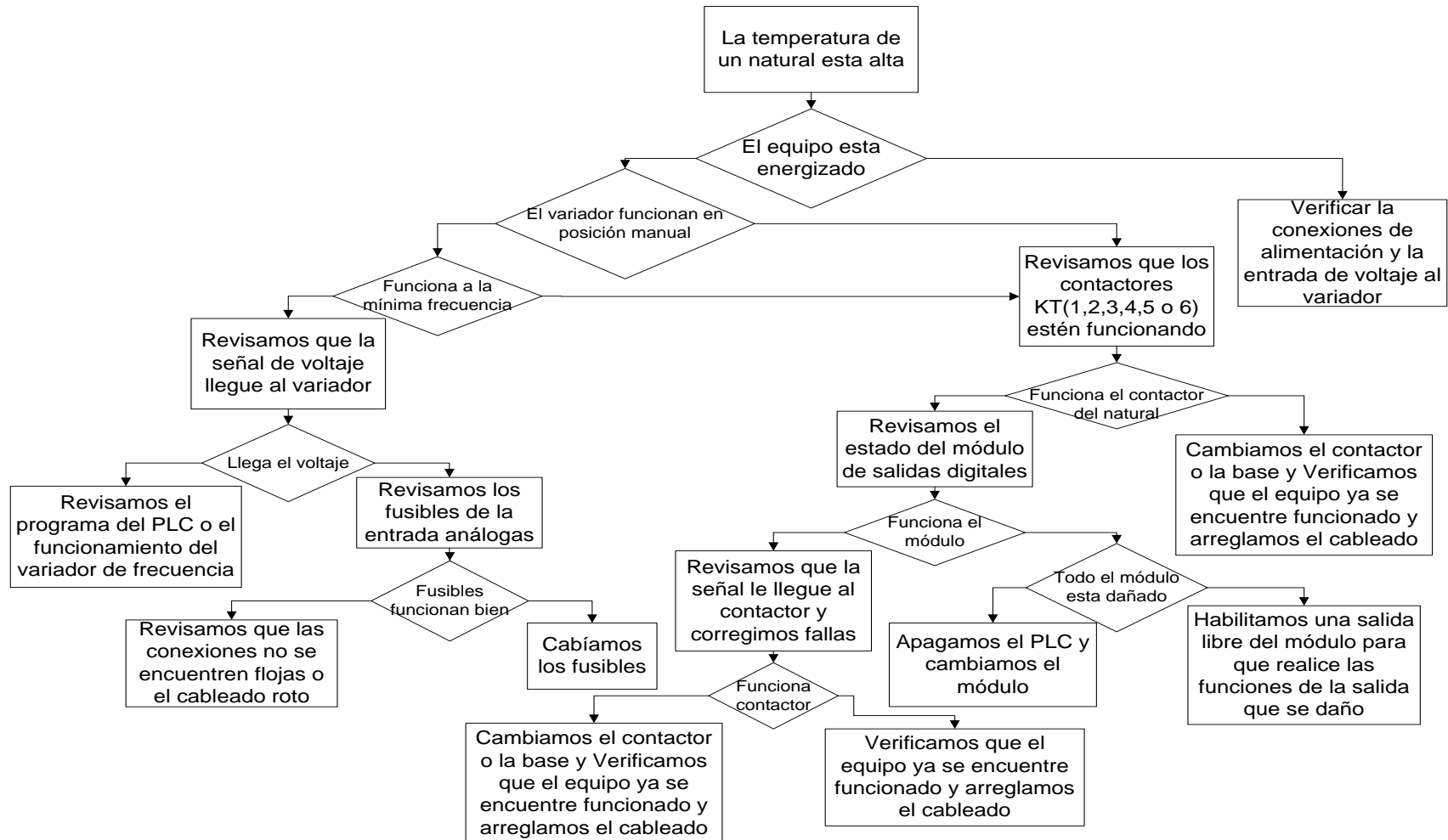


Figura E.11 Mantenimiento Predictivo Falla 2

Elaborado por: Investigador

ANEXO F

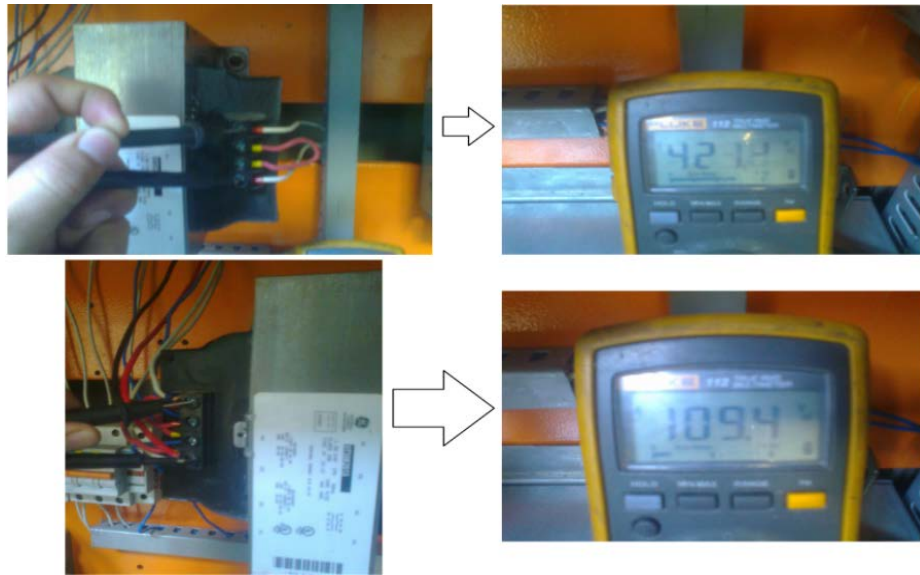


Figura F.1 Medición de voltaje de entrada y salida del transformador

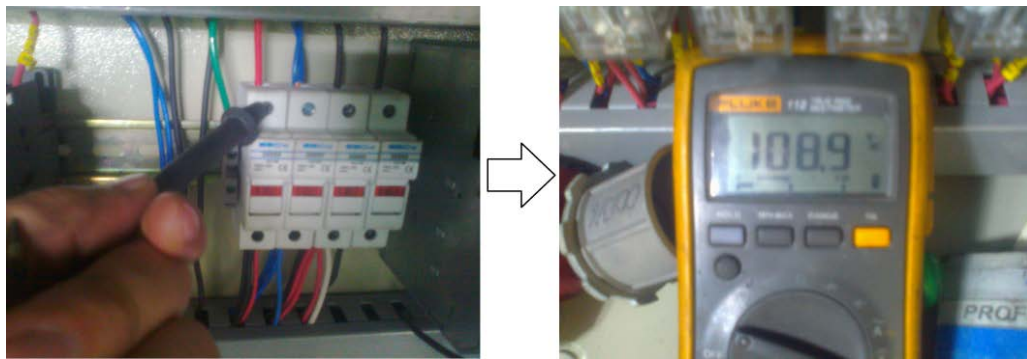


Figura F.2 Voltaje de alimentación del tablero de control del sistema Chiller - Intercambiadores

Fuente: Empresa CEDAL Pruebas de medición de voltaje

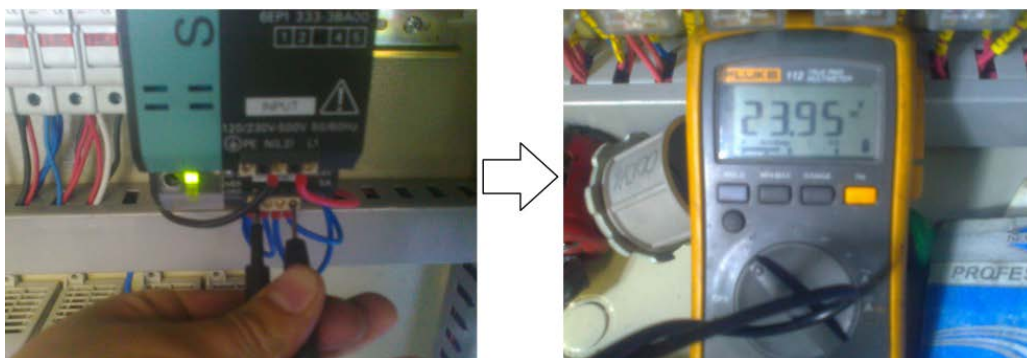


Figura F.3 Voltaje de salida de la Fuente

Fuente: Empresa CEDAL Pruebas de medición de voltaje

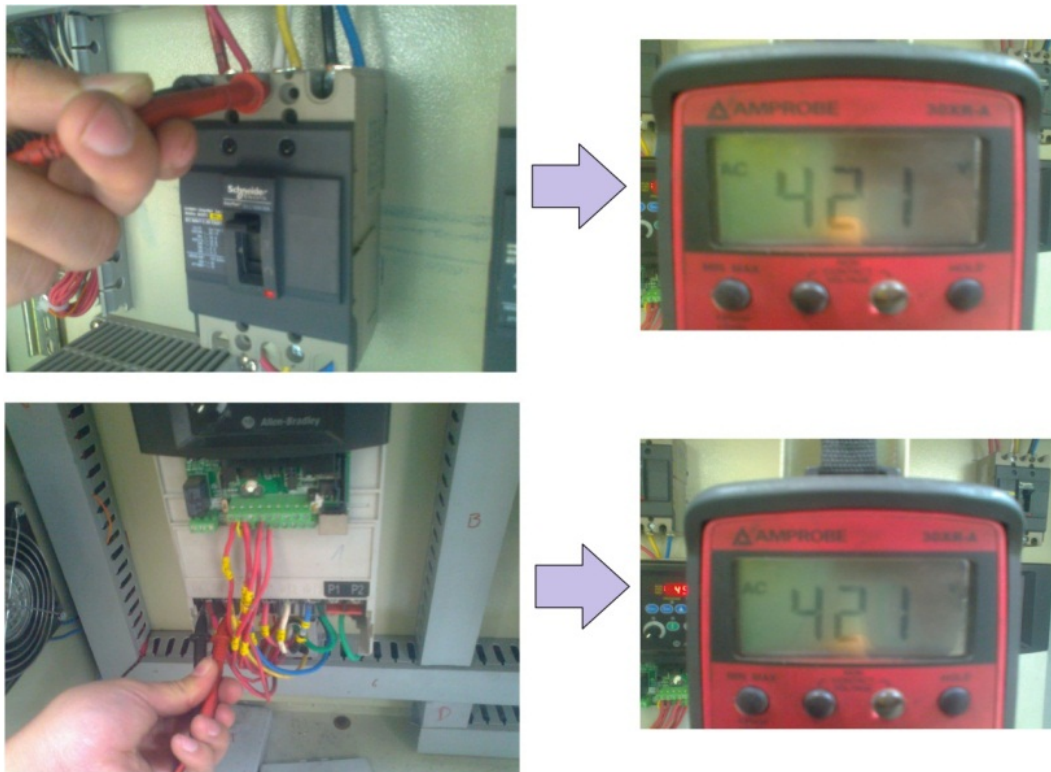


Figura F.4 Verificación del voltaje de los variadores de frecuencia

Fuente: Empresa CEDAL Pruebas de medición de voltaje

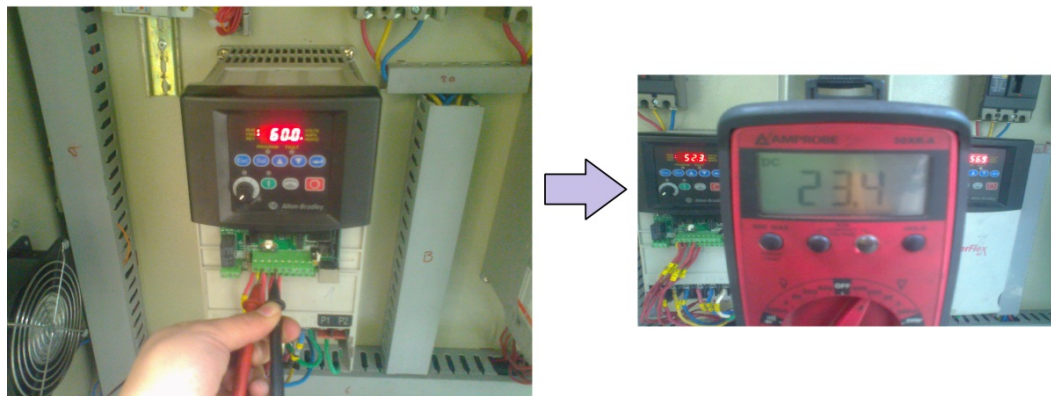


Figura F.5 Verificación de las entradas digitales de los variadores

Fuente: Empresa CEDAL Pruebas de medición de voltaje

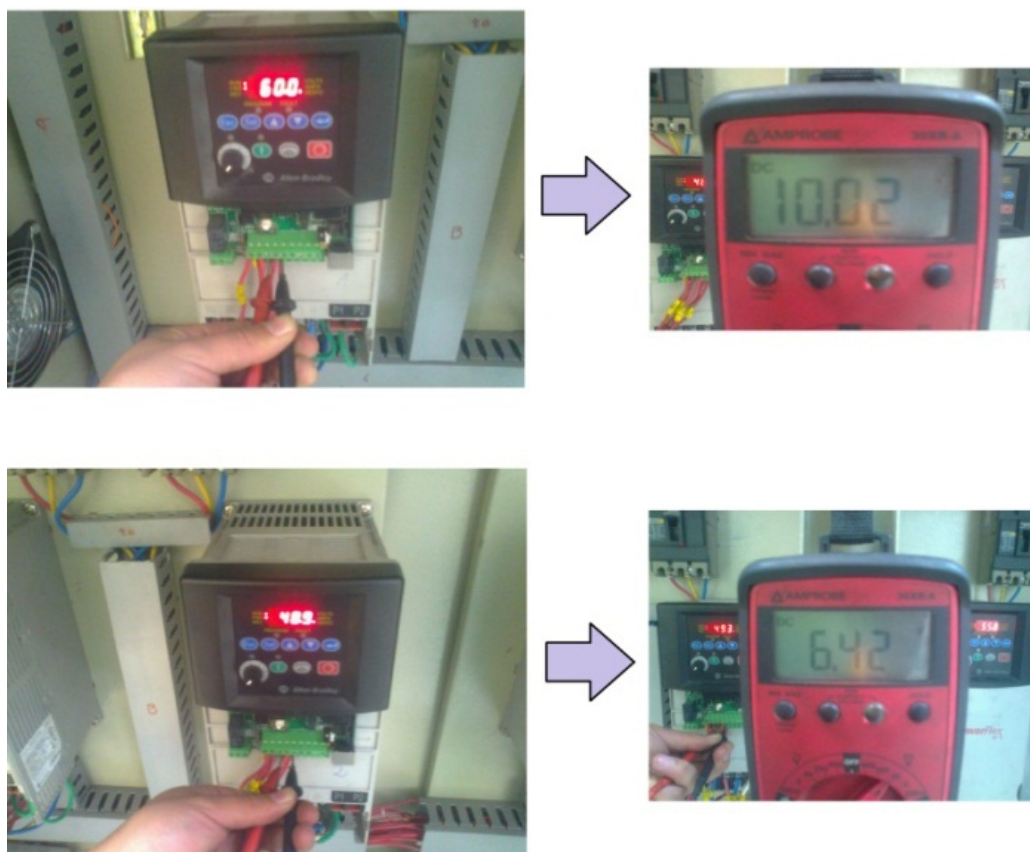


Figura F.6 Verificación de las entradas análogas de los variadores

Fuente: Empresa CEDAL Pruebas de medición de voltaje

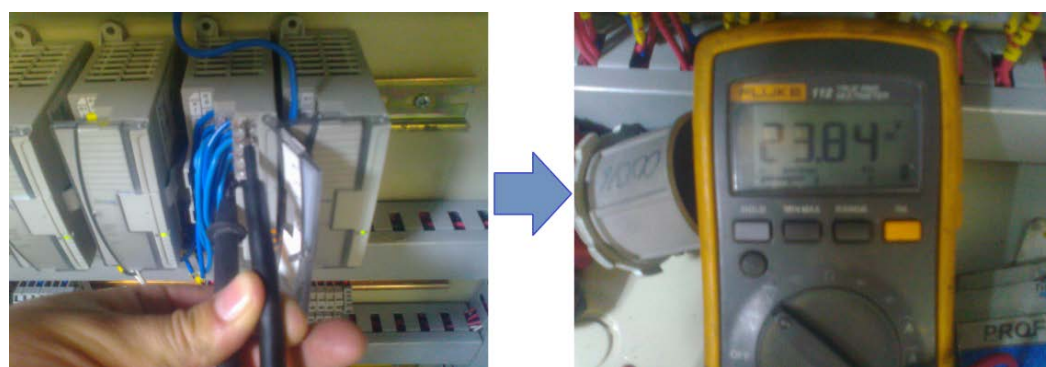


Figura F.7 Verificación de las entradas digitales

Fuente: Empresa CEDAL Pruebas Verificación de entradas

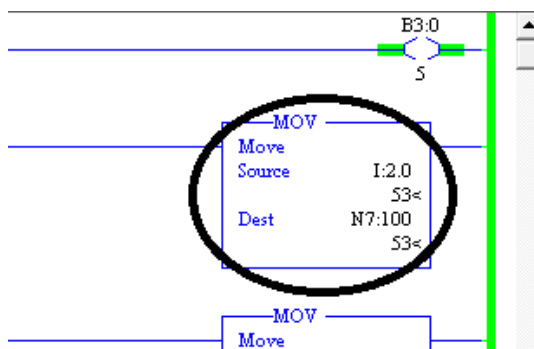


Figura F.8 Verificación de las entradas análogas

Fuente: Programa RSLogix 500

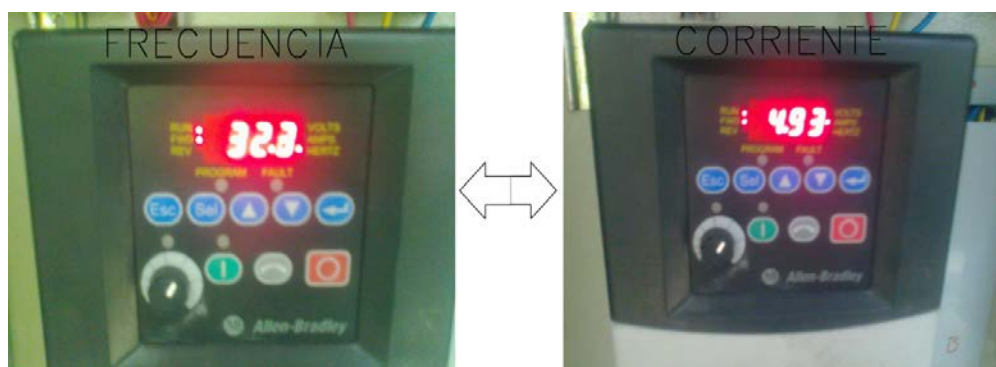


Figura F.9 Funcionamiento de los variadores Power Flex 40

Fuente: Bombas Empresa CEDAL



Figura F.10 Parámetros de funcionamiento del variador Power Flex 700

Fuente: Bombas Empresa CEDAL

Latacunga, Noviembre de 2012

AUTOR:

Monge García Gustavo Vinicio

DIRECTOR DE CARRERA:

Ing. Fausto Acuña

UNIDAD DE ADMISIÓN Y REGISTRO:

Dr. Eduardo Vásquez Alcázar
Secretario Académico