



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICA E**  
**INDUSTRIAL**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y**  
**COMUNICACIONES**

**TEMA:**

---

**SISTEMA DE CONTROL Y SUPERVISIÓN DEL POZO DE DRENAJE EN LA  
CASA DE MÁQUINAS DE LA “HIDROELÉCTRICA AGOYAN”**

---

Trabajo de Graduación. Modalidad: Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones.

**AUTOR:** Mora Chávez Adriana Maricela

**TUTOR:** Ing. Santiago Altamirano Meléndez

**Ambato - Ecuador**

Octubre, 2015

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de Tutor del trabajo de investigación sobre el tema: **“SISTEMA DE CONTROL Y SUPERVISIÓN DEL POZO DE DRENAJE EN LA CASA DE MÁQUINAS DE LA “HIDROELÉCTRICA AGOYAN”**”, de la señorita Mora Chávez Adriana Maricela, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, considero que el informe investigativo reúne los requisitos suficientes para que continúe con los trámites y consiguiente aprobación de conformidad con el numeral 7.2 de los Lineamientos Generales de las Facultades de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato octubre, 2015

EL TUTOR

---

Ing. Santiago Altamirano Meléndez Mg.

## **AUTORÍA**

El presente trabajo de investigación titulado: **“SISTEMA DE CONTROL Y SUPERVISIÓN DEL POZO DE DRENAJE EN LA CASA DE MÁQUINAS DE LA “HIDROELÉCTRICA AGOYAN”**”, es absolutamente original, auténtico y personal, en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato octubre, 2015

---

Adriana Maricela Mora Chávez

CC: 1803459872

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de Titulación como un documento disponible para la lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además autorizo su reproducción dentro de las regulaciones de la Universidad.

Ambato octubre, 2015

---

Adriana Maricela Mora Chávez

CC: 1803459872

## **APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA**

La Comisión Calificadora del presente trabajo conformada por los señores docentes, Ing. William López e Ing. Sandro Jua, revisó y aprobó el Informe Final del trabajo de graduación titulado “**SISTEMA DE CONTROL Y SUPERVISIÓN DEL POZO DE DRENAJE EN LA CASA DE MÁQUINAS DE LA “HIDROELÉCTRICA AGOYAN”**”, presentado por la señorita Adriana Maricela Mora Chávez de acuerdo al numeral 9.1 de los Lineamientos Generales para la aplicación de Instructivos de las Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad Técnica de Ambato.

.....  
Ing. Vicente Morales Lozada. Mg.  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

.....  
Ing. William López, MSc.  
DOCENTE CALIFICADOR

.....  
Ing. Sandro Jua, MSc.  
DOCENTE CALIFICADOR

## **DEDICATORIA**

*Dedico este trabajo de investigación a mi hija,  
Camila quien ha sido y será siempre el motor  
que me impulse a seguir adelante y hacerle  
frente a las dificultades de la vida, a mi abuelita,  
quien ha sido mi apoyo incondicional pese a  
todo, a mi madre que nunca dejo de apoyarme, a  
mi esposo Juan por siempre estar ahí para  
darme una mano y la confianza que necesitaba  
para seguir adelante con este proyecto y la  
carrera profesional*

*Adriana Maricela Mora*

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a Dios por darme la fortaleza y la sabiduría para mantenerme firme en mi trabajo de investigación, a mi hija Camila y mi esposo Juan quienes han sabido siempre llenarme de vida, darme la fuerza necesaria y ser mi motor , a mi madre Myrian y abuelita Matilde por brindarme apoyo incondicional y nunca dejarme sola en este largo camino, a mis hermanos Miguel y Jonathan por estar pendientes en todo momento de mi, a mi padre Miguel por siempre estar pendiente y apoyarme, a mi primo Andrés por su ayuda.*

*Agradezco infinitamente a CELEC EP. Por abrirme las puertas para desarrollar este proyecto, al Ing. Marcelo Gavilánez, y al Tecnólogo Byron Calderón por su gran apoyo en el desarrollo de este trabajo de investigación, al Ing. Daniel Paredes por su apoyo.*

*Al Ingeniero Santiago Altamirano por su guía en cada paso del desarrollo de este trabajo.*

*A la Universidad Técnica de Ambato y a los maestros que forman parte de la Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial a quienes les debo gran parte de mis conocimientos adquiridos.*

*Adriana Maricela Mora*

## ÍNDICE GENERAL

<b>CONTENIDOS</b>	<b>PÁGINAS</b>
Portada.....	i
Aprobación del tutor .....	ii
Autoría .....	iii
Derechos de autor .....	iv
Aprobación de la comisión calificadora .....	v
Dedicatoria.....	vi
Agradecimiento.....	vii
Índice general.....	viii
Índice de figuras .....	xii
Índice de tablas .....	xvi
Acrónimos.....	xvii
Resumen .....	xviii
Abstract.....	xix
Introducción.....	xx
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>EL PROBLEMA .....</b>	<b>1</b>
1.2 Planteamiento del problema.....	1
1.3 Delimitación .....	2
1.4 Justificación.....	3
1.5 Objetivos.....	4
1.5.1 <i>Objetivo general</i> .....	4
1.5.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	4

<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>5</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
2.1 Antecedentes investigativos.....	5
2.2 Fundamentación teórica.....	6
2.2.1 Centrales hidroeléctricas.....	6
2.2.2 Clasificación de las centrales hidroeléctricas .....	7
2.2.3 Principales componentes de una central hidroeléctrica .....	11
2.2.3.1 La presa o represa .....	11
2.2.3.2 Los aliviaderos .....	12
2.2.3.3 Tomas de agua .....	12
2.2.3.4 Canal de derivación .....	13
2.2.3.5 Chimenea de equilibrio.....	13
2.2.3.6 Tuberías forzadas.....	13
2.2.3.7 Casa de máquinas.....	13
2.2.4 Sistema de control.....	15
2.2.4.4 Tipos de sistemas de control .....	18
2.2.5.2 Descripción de algunos sensores: .....	20
2.2.6 Medición de nivel .....	21
2.2.6.1 Tipo flotador .....	21
2.2.6.2 Sensores de presión.....	21
2.2.6.3 Ultrasónico.....	22
2.2.4.4 Radar.....	22
2.2.7 PLC .....	23
2.2.7.1 Partes de un controlador lógico programable .....	25
2.2.8 Interface hombre – máquina (hmi) .....	28
2.3 Propuesta de solución.....	29

<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>30</b>
<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>30</b>
3.1 Modalidad de la investigación.....	30
3.2 Recolección de información.....	31
3.3 Procesamiento y análisis de datos.....	31
3.4 Desarrollo del proyecto.....	31
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>33</b>
<b>PROPUESTA.....</b>	<b>33</b>
4.1 Recopilación de información a través de documentos de la empresa para adquirir información necesaria del manejo del pozo de drenaje.....	33
4.1.1 Explicación del sistema de vaciado.....	34
4.1.2 Planos del sistema de vaciado.....	39
4.1.3 Explicación del sistema de drenaje.....	40
4.1.4 Planos del sistema de drenaje.....	44
4.1.5 Sistema de drenaje (informe final de la obra civil hidroeléctrica “agoyán”).....	45
4.2 Determinación de los requerimientos a partir de los problemas encontrados.....	45
4.2.2 Elección de equipos según los requerimientos.....	47
4.3 Análisis de la metodología y alternativas de solución.....	50
4.3.1 Diseño.....	50
4.3.1.1 Lógica de control.....	50
4.3.2 Diseño de programación (simatic step 7).....	52
4.3.3 Creación de un proyecto nuevo.....	54
4.3.4 Configuración del hardware.....	57
4.3.5 Programación del sistema.....	59
4.3.6 Interface hombre máquina (HMI).....	68
4.3.7 Conectar y probar panel de operador.....	74
4.3.8 WinCC Flexible 2008.....	76
4.3.9 Sensor ultrasónico prosonic FMU 42.....	81
4.3.10 Descripción general del proceso del sistema de drenaje.....	85

4.4 Montaje de equipos .....	87
4.5 Pruebas de funcionamiento .....	104
4.6 Resultados .....	107
4.7 Presupuesto .....	115
<b>CAPITULO V .....</b>	<b>117</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>117</b>
5.1 Conclusiones .....	117
5.2 Recomendaciones .....	118
Bibliografía .....	119
Anexos .....	121
Anexo 1 .....	122
Anexo2 .....	132
Anexo 3 .....	139
Anexo 4 .....	141
Anexo 5 .....	142
Anexo 6 .....	143
Anexo 7 .....	144
Anexo 8 .....	148
Anexo 8 .....	149
Anexo 9 .....	151
Anexo 10 .....	152

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>CONTENIDOS</b>	<b>PÁGINAS</b>
Figura 2.1 Tipos de centrales.....	12
Figura 2.2 Esquema de la casa de máquinas.....	14
Figura 2.3 Sistema de control.....	16
Figura 2.4 Sistema de control de lazo abierto.....	18
Figura 2.5 Sistema de control de lazo cerrado.....	19
Figura 2.6 Ejemplo sensores de presión.....	21
Figura 2.7 Sensor ultrasónico fmu 42.....	22
Figura 2.8 Sensor de nivel tipo radar.....	23
Figura 2.9 Esquema de un plc.....	24
Figura 2.10 Estructura interna de un plc.....	25
Figura 2.11 Interface hombre máquina (hmi).....	28
Figura 4.1 Autómata programable.....	49
Figura 4.2 Lógica de control.....	51
Figura 4.3 Interacción de software y hardware.....	52
Figura 4.4 Crear nuevo proyecto.....	54
Figura 4.5 Selección del CPU.....	55
Figura 4.6 Selección del lenguaje de programación y bloque de programación.....	55
Figura 4.7 Nombre del proyecto.....	56
Figura 4.8 Pantalla principal al finalizar la creación del proyecto.....	56
Figura 4.9 Descripción PLC.....	57
Figura 4.10 Configuración del hardware.....	57
Figura 4.11 Entorno para la configuración del hardware.....	58
Figura 4.12 Selección del cpu para el bastidor.....	58
Figura 4.13 Escalamiento de la señal de entrada. (step 7 siemens).....	60
Figura 4.14 Sustracción en coma flotante. (step 7 siemens).....	60
Figura 4.15 Alarma de nivel muy bajo encendida. (step 7 siemens).....	61

Figura 4.16	Comparador a los 1.1 mts. (step 7 siemnes).....	61
Figura 4.17	Bomba de drenaje a/b y jet apagadas. (step 7 siemnes) .....	61
Figura 4.18	Comparador que permite encender la bomba de drenaje a. (step 7 siemnes) .....	62
Figura 4.19	Contador de la bomba de drenaje a. (step 7 siemnes) .....	62
Figura 4.20	Comparador que permite encender la bomba de drenaje b. (step 7 siemnes) .....	63
Figura 4.21	Contador para la bomba de drenaje b. (step 7 siemnes).....	63
Figura 4.22	Bomba jet encendida. (step 7 siemnes) .....	64
Figura 4.23	Contador para encender la bomba de vaciado a y la alarma de nivel alto. (step 7 siemnes) .....	64
Figura 4.24	Bomba de vaciado a encendida y alarma de nivel alto. (step 7 siemnes)...	65
Figura 4.25	Contador para la bomba de vaciado a. (step 7 siemnes) .....	65
Figura 4.26	Comparador en los 2.3mts. (step 7 siemnes).....	66
Figura 4.27	Bomba de vaciado b encendida. (step 7 siemnes) .....	66
Figura 4.28	Contador de la bomba de vaciado b. (step 7 siemnes) .....	66
Figura 4.29	Interface hombre máquina (hmi).....	68
Figura 4.30	Medidas de la hmi utilizada.....	70
Figura 4.31	Vista frontal hmi.....	72
Figura 4.32	Vista frontal y lateral hmi.....	72
Figura 4.33	Vista inferior hmi. ....	73
Figura 4.34	Vista posterior hmi. ....	73
Figura 4.35	Puertos hmi.....	74
Figura 4.36	Loader.....	75
Figura 4.37	Pantalla control panel. ....	76
Figura 4.38	Página principal wincc. ....	78
Figura 4.39	Vista general de la pantalla principal. ....	78
Figura 4.40	Ventana de proyecto. ....	79
Figura 4.41	Ventana de propiedades.....	80
Figura 4.42	Ventana de herramientas. ....	80
Figura 4.43	Sensor fmu42 endress hauser. ....	81

Figura 4.44	Principio de medición.....	83
Figura 4.45	Tablero de control del sistema de drenaje.....	88
Figura 4.46	Medidas para perforación instalación hmi.....	88
Figura 4.47	Perforación de la cavidad para la hmi.....	89
Figura 4.48	Tablero con la hmi instalada.....	89
Figura 4.49	HMI parte posterior.....	90
figura 4.50	Rack para la instalación del plc.....	90
Figura 4.51	PLC instalado en el rack.....	91
Figura 4.52	Ejemplo de elementos de instalación.....	91
Figura 4.53	Cableado de la fuente de alimentación y la cpu.....	92
Figura 4.54	Instrucciones para cableado de la fuente de alimentación y la cpu.....	93
Figura 4.55	Módulo de entradas analógicas.....	94
Figura 4.56	Adaptadores del rango de medida (tensión).....	95
Figura 4.57	Instrucciones para el manejo de los rangos de medida.....	96
Figura 4.58	Montaje del modulo de entradas analógicas.....	97
Figura 4.59	Esquema eléctrico del módulo de salidas.....	98
Figura 4.60	PLC cableado.....	99
Figura 4.61	PLC energizado.....	99
Figura 4.62	HMI energizada.....	100
Figura 4.63	Soporte para el sensor fmu 42.....	100
Figura 4.64	Sensor sobre el soporte.....	101
Figura 4.65	Sensor montado dentro del pozo.....	101
Figura 4.66	Carga del programa al plc.....	104
Figura 4.67	Transferencia de las pantallas a la hmi.....	104
Figura 4.68	Pruebas con el calibrador.....	105
Figura 4.69	HMI pantalla de prueba con el calibrador.....	105
Figura 4.70	Pantalla inicial de la hmi.....	107
Figura 4.71	Pantalla del menu.....	108
Figura 4.72	Esquema del pozo.....	108
Figura 4.73	Pantalla del nivel del pozo.....	109
Figura 4.74	Pantalla del estado de las bombas.....	109

Figura 4.75	Pantalla de curva del nivel.....	110
Figura 4.76	Pantalla para visualizar el estado de las bombas de drenaje. ....	110
Figura 4.77	Pantalla para visualizar el estado de las bombas de vaciado.....	111
Figura 4.78	Pantalla principal vista por el operador bombas de drenaje y jet encendidas .....	112
Figura 4.79	Bombas de drenaje encendidas.....	112
Figura 4.80	Bombas de drenaje/vaciado y jet encendidas .....	113
Figura 4.81	Bombas drenaje jet y bomba vaciado a encendidas .....	113
Figura 4.82	Pozo de drenaje con el cableado para el sensor fmu. ....	114
Figura 4.83	Tubería para pasar el cable para energizar en sensor. ....	114
Figura 4.84	Sistema de drenaje.....	115

## ÍNDICE DE TABLAS

CONTENIDOS	PÁGINAS
Tabla 4.1 Comparación del sistema de drenaje actual y propuesto .....	46
Tabla 4.2 Elementos del sistema de drenaje .....	48
Tabla 4.3 Tabla de variables STEP 7.....	67
Tabla 4.4 Características técnicas HMI .....	71
Tabla 4.5 Tabla de mediciones FMU 42.....	83
Tabla 4.6 Características de funcionamiento FMU 42 .....	85
Tabla 4.7 Posiciones del rango de medida.....	95
Tabla 4.8 Pruebas de funcionamiento.....	106
Tabla 4.9 Análisis del presupuesto .....	116

## ACRÓNIMOS

**PLC:** Controlador Lógico Programable

**HMI:** Interface Hombre Máquina

**FMU:** Sensor Ultrasónico de nivel

**SIMATIC STEP 7:** Software de programación para PLC's SIEMENS

**PROFIBUS:** Process field bus, PROFIBUS es el líder mundial en redes multi-funcionales de célula y campo (Interface de comunicación). Los buses de campo se usan en la actualidad de forma prioritaria como un sistema de comunicación para el intercambio de información entre sistemas de automatización y sistemas de campo distribuidos.

**PROFINET:** Se basa en estándares de TI acreditados y ofrece funcionalidad de TCP/IP completa para la transferencia de datos

**WinCC Flexible 2008:** Software de programación para HMI SIEMENS

**HART:** "HART" es un acrónimo en inglés para Transductor Remoto Direccional en Red. El Protocolo HART usa la norma Bell 202 Modulación por desplazamiento de frecuencia o MDF (FSK en inglés) para empalmar señales digitales de comunicación a bajo nivel sobre 4 a 20 mA.

**PROFIBUS PA:** Diseñado para automatización de procesos. Permite la conexión de sensores y actuadores a una línea de bus común incluso en áreas especialmente protegidas.

## RESUMEN

La forma en la que el Sistema de drenaje funciona es acumulando el agua proveniente de un sistema de recolección de aguas residuales de las Unidades de Generación. Además de tener una funcionalidad de vaciado la cual acumula el agua proveniente de los tubos de succión.

En este pozo funcionan dos sensores tipo cinta que permiten medir nivel los cuales daban problemas de funcionamiento debido a su deterioro lo que llevo a realizar un análisis previo para resolver inconvenientes y realizar un sistema de respaldo que permita optimizar el control y supervisión del nivel del agua recolectada en el pozo para evitar inconvenientes.

Para conocer el nivel del agua en el pozo se implementó un sensor ultrasónico FMU de la marca Endress Hauser el cual envía las señales hacia el PLC instalado para el sistema e indica en qué momento empezarán a actuar las bombas designadas para cada cambio de nivel. Este fenómeno se indica también en una HMI en la cual podemos revisar el estado de las bombas, un historial de alarmas, el nivel en el cual se encuentra el pozo y el fallo de las bombas en caso de darse uno, lo que permitió realizar un control del sistema seguro y confiable.

## **ABSTRACT**

The way the system works is accumulating drainage water from a system of wastewater collection Generation Units. Besides having a functionality drain which collects the water from the suction tubes.

In this well two tape type sensors to measure level which gave performance problems due to deterioration operate what I have to do a preliminary analysis to solve problems and perform a backup system that optimizes the control and supervision of water level collected in the well to avoid disappointment.

For the water level in the well an ultrasonic sensor FMU Endress Hauser brand which sends signals to the PLC installed for the system and indicates when the bombs begin to act designated for each level change was implemented. This phenomenon is also indicated in an HMI in which we can check the status of the pumps, a history of alarms, the level at which the well and pump failure should be one encounters, which allowed a safe and reliable control system.

## INTRODUCCIÓN

El trabajo de investigación desarrollado a continuación cuyo tema es Sistema de control y supervisión del pozo de drenaje en la casa de máquinas de la “Central Hidroeléctrica Agoyán”, se realizó basándose en nuevas tecnologías para la automatización de sistemas de control, siendo estos, un controlador lógico programable (PLC), una interface hombre máquina (HMI) y un sensor ultrasónico de nivel. El documento consta de cinco capítulos que se detallan a continuación:

CAPITULO I, este capítulo presenta el problema, se identifica los problemas encontrados en el sistema de control para el pozo de drenaje, la justificación respectiva para realizar la investigación y el planteamiento de los objetivos a cumplir al terminar el trabajo de investigación.

CAPITULO II, se presenta el Marco Teórico, aquí se analiza el conjunto de conocimientos en los cuales se sustenta la investigación, los antecedentes investigativos que dan lugar a la investigación y se presenta la propuesta de solución del sistema de drenaje.

CAPITULO III, comprende la Metodología, es este punto se especifica el modelo de investigación utilizada, el proceso recolección de información para el sistema de control y supervisión en la casa de máquinas, el procesamiento y análisis de la información recabada y se definió del desarrollo del proyecto.

CAPITULO IV, consta del Desarrollo de la propuesta en el cual se detalla el proceso de selección de equipos basada en la información recabada de los documentos y planos existentes en la empresa a cerca del sistema de drenaje, los requerimientos del sistema, la lógica de programación presentado en un diagrama de flujo, la programación del sistema y los pasos a seguir para la implementación del mismo.

CAPITULO V, en éste capítulo se consideran las Conclusiones y Recomendaciones, a las cuales se llegó una vez desarrollado y culminado el proyecto de investigación.

Por último se presenta la bibliografía y los anexos correspondientes al trabajo de investigación.

## **CAPÍTULO I**

### **EL PROBLEMA**

#### **1.1 Tema**

Sistema de control y supervisión del pozo de drenaje en la casa de máquinas de la “Central Hidroeléctrica Agoyán”

#### **1.2 Planteamiento del Problema**

La Central Hidroeléctrica Agoyán, posee un pozo de drenaje y vaciado en el piso de Válvulas de Casa de Máquinas el cual consta de: Presa-Túnel de Carga-Tubería de Presión Vertical – Caracol-Tubo de Succión que es el sistema que funciona actualmente en la empresa.

El pozo tiene 2 funcionalidades, la primera es la de drenaje, porque se encarga de acumular el agua proveniente de un sistema de recolección de aguas residuales de los diferentes sistemas de las Unidades de Generación. Estos pueden ser excesos o fugas de agua del Sistema de Enfriamiento de las Unidades. La segunda, se le conoce como pozo de vaciado, porque se encarga de acumular el agua proveniente de los tubos de succión de las Unidades de Generación.

Este pozo de drenaje y vaciado posee 4 bombas para la evacuación de agua; 2 de ellas son bombas de drenaje y las otras 2 son bombas de vaciado. Adicionalmente para conocer el nivel del pozo posee 2 sensores de nivel tipo flotador (71WP, 71WPE).



### ***Delimitación espacial:***

Se desarrolló en las instalaciones de la Central Hidroeléctrica “AGOYÁN” ubicada en el cantón Baños de la provincia de Tungurahua.

### ***Delimitación temporal:***

La presente investigación se desarrolló en un período de 9 meses a partir de su aprobación por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

## **1.4 Justificación**

El Sistema de Control y Supervisión para el pozo de drenaje en la casa de máquinas permitió modernizar, garantizar y visualizar la operación de las bombas de drenaje y vaciado para la evacuación de agua según los distintos niveles a los cuales se encontraba.

El control de nivel de agua fue analizado con anterioridad por el personal que está a cargo del control del sistema y detectaron que la operación de las bombas de drenaje y/o vaciado tenía un funcionamiento anormal e inseguro ya que los sensores de nivel no indican su valor real.

El proyecto fue de gran utilidad, ya que solucionó problemas de funcionamiento y control de las bombas a través de nuevos equipos de control, una modernización de los sensores (71WP) que están funcionando actualmente colocando un sensor ultrasónico, un cambio en el control basado en relés por un control con PLC y HMI local que permitió visualizar el estado de las bombas y su respectivo nivel.

La HMI implementada permitió al operador conocer el historial del funcionamiento de las bombas de vaciado y drenaje, su estado operativo y el nivel del agua obteniendo un mejor monitoreo de dicho sistema.

Al tratarse de una central hidroeléctrica, los niveles de control, supervisión y monitoreo de los procesos de la producción son de vital importancia para alcanzar un producto final con especificaciones y requerimientos acorde a lo dispuesto por las áreas involucradas en dicho sistema teniendo como beneficiarios directos a las personas del área de operación y mantenimiento de la casa de máquinas, además del Sistema Nacional Interconectado (SNI) que es el encargado de dotar de energía eléctrica a todos los usuarios que son parte de éste.

## **1.5 Objetivos**

### ***1.5.1 Objetivo General***

- ✓ Implementar un sistema de monitoreo y supervisión para el pozo de drenaje de la casa de máquinas de la “Central Hidroeléctrica Agoyán”

### ***1.5.2 Objetivos Específicos***

- Analizar el proceso de funcionamiento del sistema actual de evacuación de agua de la Central Hidroeléctrica.
- Determinar los requerimientos del sistema para la programación de los equipos a utilizarse en el sistema de drenaje.
- Rediseñar e implementar el sistema electrónico de drenaje en la casa de máquinas de la Central Hidroeléctrica Agoyán.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes Investigativos**

Al realizar la investigación pertinente en el caso de los sistemas de control existentes se encontraron los siguientes antecedentes investigativos.

Existe un sistema SCADA que permite mejorar la funcionalidad de un Sistema de Alarmas instalado en la Empresa Pinturas Cóndor realizado por el Ing. Cristhian Cueva, el cual, cuando se produce una alarma, las sirenas hacen conocer al personal de la novedad pero al mismo tiempo en la práctica lo desconciertan y no tenía una forma de organizarlos y guiarlos para que evacuen la planta de una forma segura. Para solucionar el problema se desarrolló una HMI en InTouch y para conectarse al sistema de alarmas cerrado se hizo una interfaz por el pórtico serial[1].

Otro proyecto realizado por Byron Bustos y Carlos Brito cuya propuesta es un diseño y construcción de un módulo didáctico de control de nivel de líquidos con sistemas SCADA y HMI además de utilizar controladores Lógicos Programables para poder manejar el nivel de líquidos [2].

Existe también un sistema de dosificación automática del químico coagulante y el químico floculante investigado por Jorge Berbis, basado en el caudal del agua a tratar en la planta de tratamiento de aguas blancas, empleando sensores de turbidez y caudal, así como controladores y pantallas táctiles HMI ubicadas en tableros de control correspondientes. Además, se llevó a cabo la proyección de un sistema SCADA web,

por lo cual se desarrolla una interfaz HMI para el SCADA local, publicada posteriormente en un servidor web que permitió tener acceso al proceso desde computadores clientes ubicados en diferentes servidores con conexión a Internet[3].

## **2.2 Fundamentación Teórica**

### **2.2.1 Centrales Hidroeléctricas**

#### **Definición**

Una central hidroeléctrica es una instalación cuya misión es convertir la energía potencial y cinética del agua en energía eléctrica disponible.

Esta definición implica que la central hidroeléctrica está formada por todos aquellos elementos que intervienen en esta transformación, elementos de diverso tipo:

- Elemento de retención y almacenaje de agua, tales como embalses, presas o azudes.
- Elementos de conducción del agua, tales como obras de toma, canales, cámaras de carga, tuberías, sifones, etc.
- Elementos de apertura y cierre del paso de agua: compuertas, válvulas o ataguías.
- Equipamiento hidráulico: turbina, multiplicador, rejas y limpia rejas.
- Equipamiento eléctrico: generador, transformador, línea eléctrica.
- Equipamiento de control y protección: interruptores, seccionadores, autoválvulas, red de tierras, etc.
- Equipamiento auxiliar: baterías de corriente continua iluminación, tomas de fuerza, etc.
- El edificio de la central.

Todos los elementos que intervienen, desde la captación del agua hasta su devolución al cauce, todo el equipamiento que interviene en la transformación energética hasta la entrega de la energía eléctrica donde la compañía eléctrica disponga, forman parte de la central.

Por tanto, en el análisis de una central hidroeléctrica hay que considerar dos grandes bloques:

- Obra civil.
- Equipamiento electromecánico.

De aquí en adelante se analizarán buena parte de ellos. Se empezará por clasificar las centrales hidráulicas, tanto desde el punto de vista administrativo como operativo. La primera clasificación permite definir a que régimen económico puede acogerse cada central, y la segunda permite definir qué elementos formarán parte de ella. Se distinguirá entre central y minicentral[4].

## **2.2.2 Clasificación de las Centrales Hidroeléctricas**

### **Clasificación Técnica**

Las centrales hidroeléctricas presentan una gran diversidad en todos los aspectos y se dividen en cuatro grupos dentro de la gran diversidad de clasificaciones que se les puede dar:

- Centrales de embalse
- Centrales de agua fluyente
- Centrales Mixtas
- Otras.

### ***a) Centrales de embalse***

Estas centrales tienen como característica básica la existencia de un embalse en el que se almacena el agua y del que se realiza la toma de agua, con capacidad suficiente como para permitir una regulación de caudal superior a un día. Es decir, son centrales con capacidad de seleccionar el momento del día en el que turbinan sin que corra el riesgo de perder agua, puesto que esta queda almacenada.

Si la capacidad de almacenamiento es mayor, pueden decidir el o los días de la semana que turbinan, o las semanas del mes e incluso los meses del año, siempre sin que se pierda agua.

Esta capacidad de regulación se utiliza para entregar la energía en los momentos de máxima demanda, con lo que se obtienen dos beneficios: Permite regular el mercado energético y la venta de energía puede realizarse cuando esta alcanza precios elevados.

Generalmente, las presas de las que toman el agua tiene otras funciones prioritarias a la generación de energía, tales como regulación del caudal en el cauce para evitar avenidas o para el suministro de agua de boca, de agua de riego o con fines industriales. Al realizar el desembalse el agua es conducida a través de la turbina produciendo la energía eléctrica, que en la mayoría de los casos queda como una actividad de segundo orden.

### ***b) Centrales de agua fluyente***

Este es el tipo de central más habitual entre las mini centrales, Son centrales que no disponen de embalse de regulación y que deben turbinar el agua que circula por el cauce del río o del canal a medida que esta pasa. Si la central se para, el agua no puede ser almacenada, por lo que sigue circulando y, desde el punto de vista de la producción energética, se pierde.

Generalmente, en estas centrales se dispone de un azud (pequeño muro transversal del río o canal) para elevar el nivel del agua, que permite tomar el caudal que va a ser turbinado. Se puede encontrar básicamente dos configuraciones, en función de que exista o no canal.

***c) Central ubicada directamente en el azud***

Su configuración es muy similar a la de un pie de presa, pero de menor tamaño y potencia. Son centrales ubicadas en el mismo azud, que no traen ninguna cantidad de agua del cauce, y, por tanto, no dejan ninguna zona seca o con bajos caudales.

***d) Centrales mixtas***

En este grupo se engloba centrales que, disponiendo de un pequeño embalse de captación de agua, no tienen capacidad de regulación, o, en caso de tenerla, esta no es superior a un día. Por lo tanto, son centrales que pueden decidir en qué momento del día turbinan, pero que no pueden estar paradas más de un día sin perder agua.

Generalmente, se ubica en zonas montañosas, en las que el embalse capta el agua de las lluvias o procedentes del deshielo. Su configuración es similar a las de agua fluyente, sustituyendo el azud por un pequeño embalse, que en ocasiones no es más que un depósito de grandes porciones.

***e) Otras***

En este grupo se incluye a las centrales que presentan alguna característica específica que merece la pena ser resaltada.

- Microcentrales (< 100 KW)
- Centrales en circuitos de agua potable

### ***Microcentrales***

Lo forman centrales de menos de 100kW. En el mercado pueden encontrarse soluciones para centrales desde 50kW.

Generalmente, son instalaciones que deben satisfacer las necesidades de núcleos aislados tales como granjas, chalets o similares. Por tanto, tienen necesidades de regulación específicas.

También existen múltiples instalaciones conectadas a la red. Suelen ser rehabilitaciones de pequeños saltos utilizados previamente como molinos ubicados en canales de riego [4].

### ***Centrales en circuitos de agua potable***

En ciertos circuitos de agua potable, el desnivel existente entre los depósitos de agua y el núcleo urbano o industrial que lo aprovecha es muy elevado. En estas condiciones es necesario instalar válvulas de disipación energética cuya misión es reducir la presión existente en el círculo, para que el agua llegue al usuario final con la precisión adecuada; si no se instalasen, el circuito experimentaría presiones excesivas que harían incluso imposible la instalación de los grifos.

La solución propuesta en algunos de los casos es la de sustituir las válvulas por turbinas hidráulicas. Estas turbinas presentan una característica de funcionamiento que las diferencia del resto: así, mientras que en el resto de las centrales la turbina tiene la misión de extraer toda la energía del agua, en estas instalaciones se debe dejar la presión suficiente como para que el agua llegue a

los usuarios en las condiciones adecuadas, por lo que estas turbinas deben trabajar a contrapresión [4].

### **2.2.3 Principales componentes de una central hidroeléctrica**

Dentro de los principales componentes tenemos:

- ✓ La Presa o represa
- ✓ Los aliviaderos
- ✓ Tomas de agua
- ✓ Canales de derivación
- ✓ Chimenea de equilibrio
- ✓ Tubería forzadas
- ✓ Casa de máquinas
- ✓ Turbinas hidráulicas
- ✓ Generadores.

#### **2.2.3.1 La Presa o Represa**

El primer elemento que encontramos en una central hidroeléctrica es la presa o azud, que se encarga de atajar el río y embalsar las aguas. Con estas construcciones se logra un determinado nivel del agua antes de la contención, y otro nivel diferente después de la misma. Ese desnivel se aprovecha para producir energía. Las represas pueden clasificarse por el material empleado en su construcción en: represas de tierra y represas de hormigón; estas últimas son las más utilizadas[5].



**Figura 2.1:** Tipos de centrales.

**Fuente:** CENTRALES ELECTRICAS [5].

### **2.2.3.2 Los Aliviaderos**

Los aliviaderos son elementos vitales de la presa que tienen como misión liberar parte del agua detenida sin que esta pase por la sala de máquinas.

Se encuentran en la pared principal de la represa y pueden ser de fondo o de superficie. La misión de los aliviaderos es liberar, si es preciso, grandes cantidades de agua o atender necesidades de riego.

Para evitar que el agua pueda producir desperfectos al caer desde gran altura, los aliviaderos se diseñan para que la mayoría del líquido se pierda en una cuenca que se encuentra al pie de la represa, llamada de amortiguación.

Para conseguir que el agua salga por los aliviaderos existen grandes compuertas de acero que se pueden abrir o cerrar a voluntad, según la demanda de la situación[5].

### **2.2.3.3 Tomas de agua**

Las tomas de agua son construcciones adecuadas que permiten recoger el líquido para llevarlo hasta las máquinas por medios de canales o tuberías. Estas tomas, además de unas compuertas para regular la cantidad de agua que llega a las turbinas, poseen unas

rejillas metálicas que impiden que elementos extraños como troncos, ramas, etc. puedan llegar a los álabes y producir desperfectos.

#### **2.2.3.4 Canal de derivación**

El canal de derivación se utiliza para conducir agua desde la presa hasta las turbinas de la central.

#### **2.2.3.5 Chimenea de equilibrio**

Debido a las variaciones de carga del alternador o a condiciones imprevistas se utilizan las chimeneas de equilibrio que evitan las sobrepresiones en las tuberías forzadas y álabes de las turbinas.

La chimenea de equilibrio consiste en un pozo vertical situado lo más cerca posible de las turbinas. Cuando existe una sobrepresión de agua esta encuentra menos resistencia para penetrar al pozo que a la cámara de presión de las turbinas haciendo que suba el nivel de la chimenea de equilibrio. En el caso de depresión ocurrirá lo contrario y el nivel bajará.

#### **2.2.3.6 Tuberías forzadas**

Las estructuras forzadas o de presión, suelen ser de acero con refuerzos regulares a lo largo de su longitud o de cemento armado, reforzado con espiras de hierro que deben estar ancladas al terreno mediante soleras adecuadas [5].

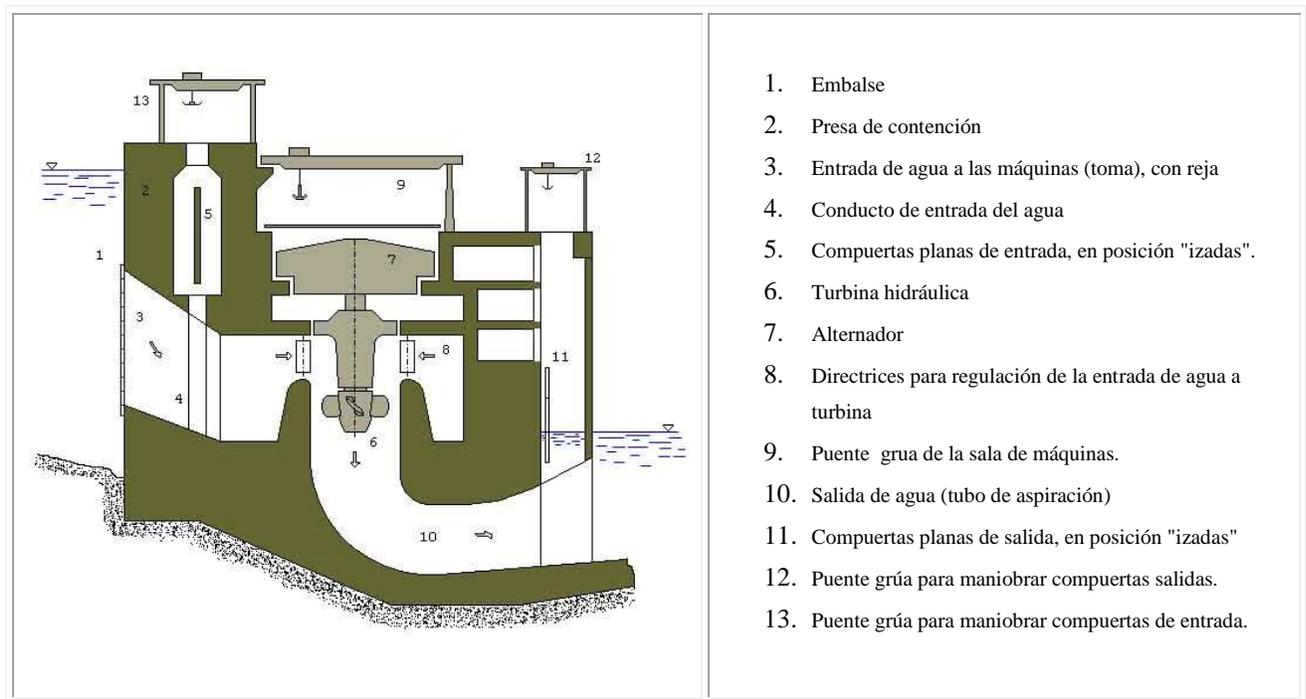
#### **2.2.3.7 Casa de máquinas**

También llamado edificio de la central, es el edificio en el que se instalan los principales elementos del equipamiento electromecánico de la central, tales como la turbina, el generador, los sistemas de regulación y control, la sala de mando y otros. Fuera del

edificio suele quedar únicamente el parque de transformación. De esta forma, todos estos elementos quedan protegidos frente a las inclemencias meteorológicas y fuera del alcance de intrusos[4].

### **Características**

Puede estar localizada sobre la tierra o enterrada a varios cientos de metros de profundidad, dependiendo del tipo de embalse, de la clase de unidades de generación utilizadas y de la topología del terreno, Existen básicamente dos tipos de unidades de generación: la Pelton, que se mueve por presión de caída del caudal sobre sus aspas, y la Francis, que no requiere caída sino volumen. El agua utilizada sale luego por túneles de descarga y es normalmente vaciada de nuevo a su antiguo lecho. En represas muy profundas y con un tiempo de retención hidráulica muy largo, el agua sale por lo regular en condiciones anóxicas a cargada de ácido sulfhídrico, perjudicial para la vida en el río, especialmente en los primeros tramos(que pueden ser kilómetros) de recorrido[6].



**Figura 2.2:** Esquema de la casa de máquinas.

**Fuente:** CENTRALES ELECTRICAS [6].

## **2.2.4 Sistema de Control**

**Definición.-** Es un conjunto de equipos y componentes que van a permitir llevar a cabo las operaciones de control que son las acciones que buscan mantener una variable dentro de patrones de funcionamiento deseados[7].

### ***2.2.4.1 Sistema de Control automático***

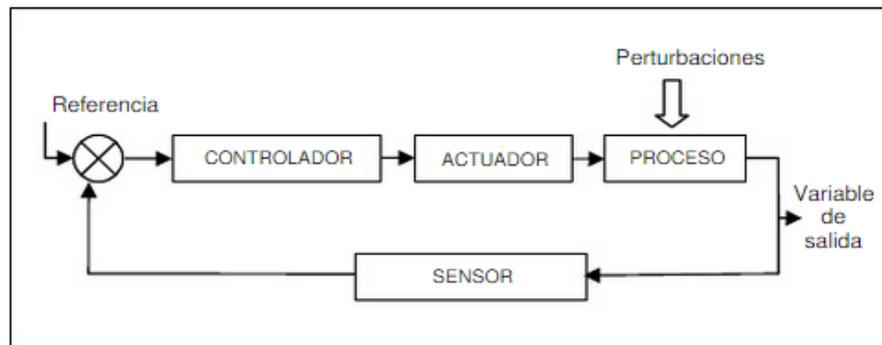
Conjunto de elementos (sensor, actuador, controlador y proceso) que forman parte de un proceso productivo industrial y que van a funcionar independientemente de la acción del hombre.

### ***2.2.4.2 Supervisión y Monitoreo***

Es el proceso de lectura de valores de las diversas variables del proceso, con el objetivo de identificar el estado en el que se viene desarrollando el proceso en un tiempo actual [7].

### ***2.2.4.3 Elementos de un sistema de control automático***

El sistema de control actúa independientemente del operario y va a determinar por sí mismo los mejores valores para las señales de control. Para ello se cuenta con una referencia que es un valor dado por el operario, este valor es fijo y depende del tipo de proceso y de las exigencias que este amerite; es conocido como “set- point”, este valor es el que se desea alcanzar y mantener.



**Figura 2.3:** Sistema de control.

**Fuente:** Instrumentación Virtual Industrial, Henry Mendiburu [7].

**CONTROLADOR.-** Es aquel instrumento que compara el valor medido con el valor deseado, en base a esta comparación calcula un error (diferencia entre medido y deseado), para luego actuar a fin de corregir este error. Tiene por objetivo elaborar la señal de control que permita que la variable controlada corresponda a la señal de referencia.

Los controladores pueden ser de tipo manual, neumático, electrónico; los controladores electrónicos más usados son: computadoras con tarjetas de adquisición de datos, PLC (controladores lógicos programables), microcontroladores (PIC).

El tipo de controlador más común es el PLC, el cual es un equipo electrónico basado en microprocesadores, hace uso de memorias programables y regrabables (RAM), en donde se almacenan instrucciones a manera de algoritmos que van a permitir una lógica de control. Contiene interfaces que le permiten manejar gran número de entradas y salidas tanto analógicas como digitales.

**ACTUADOR.-** Es aquel equipo que sirve para regular la variable de control y ejecutar la acción de control, es conocido como elemento final de control, estos pueden ser de tres tipos:

**Actuadores eléctricos:** Son usados para posicionar dispositivos de movimientos lineales o rotacionales. Ej. Motor, relé switch, electroválvulas.

**Actuadores neumáticos:** Trabajan con señales de presión, estas señales son convertidas a movimientos mecánicos. Ej. Pistones neumáticos, válvulas

**Actuadores hidráulicos.-** Operan igual a los neumáticos, son usados en tareas que requieren mayor fuerza por ejemplo levantar compuertas mover grúas, elevadores, etc. [7].

**PROCESO.-** Esta referido al equipo que va a ser automatizado, por ejemplo puede ser una bomba, tolva, tanque, compresor, molino, intercambiador de color, horno, secador, etc.

**Características dinámicas de las variables de proceso:**

- **Inercia:** Propiedad de los cuerpos que les permite no variar su estado estacionario sin la intervención de una fuerza extraña; por ejemplo algunos sistemas de flujo de fluidos en los cuales la masa puede ser acelerada.
- **Resistencia y Capacidad:** Se denomina resistencia a aquellas partes con cualidades de resistir la transferencia de energía o masa, y se denomina capacidad a aquellas partes del proceso con tendencia a almacenar masa o energía.
- **Atraso o Transporte:** Es el movimiento de masas entre dos puntos que ocasiona un tiempo muerto[7].

#### 2.2.4.4 Tipos de sistemas de control

##### *a) Sistemas de control de lazo abierto*

Es aquel esquema de control en el que la salida del proceso no afecta a la acción de control, por lo que el control en lazo abierto es muy sensible a perturbaciones y variaciones. Requiere un conocimiento preciso del proceso a controlar y la garantía del correcto funcionamiento del controlador, que no tiene acceso a la salida de proceso. En la figura 2.4 Puede observarse un diagrama de bloques simple representativo de este sistema de control.



**Figura 2.4:** Sistema de control de lazo abierto.

**Fuente:** Tecnologías de sistemas de control [8].

##### *b) Sistemas de control de lazo cerrado*

El control de lazo cerrado, realimentado o feedback es el mecanismo básico que se utiliza en los procesos, ya sean mecánicos, eléctricos o biológicos, para mantener su equilibrio. Puede definirse como el uso de una diferencia de señales, determinada comparando el valor real de la variable de proceso y el deseado, como medio para controlar un sistema. La salida del proceso es utilizada para regular la amplitud de su entrada, razón por la que se domina sistema de control de lazo cerrado.

A nivel físico, entre el controlador y el proceso ha de existir un elemento actuador, por ejemplo una válvula que ejecute la tarea indicada por el controlador sobre la planta o proceso. Estos accionadores han de tenerse en cuenta en el estudio del sistema ya que están restringidos a unos márgenes de actuación, que limitaran la acción de control en forma de no linealidades.

Se supone que el sensor o elemento de medida es parte del proceso, de forma que se considera que la respuesta del sistema o variable controlada es idéntica a la variable medida.

El conjunto formado por el controlador, el amplificador más el actuador y la planta se denomina cadena directa. Mientras que el conjunto formado por el sensor y el acondicionador o transmisor recibe el nombre de cadena de realimentación. La transmitancia de lazo o función de transferencia comprende la cadena directa y la cadena de realimentación.

En la figura 2.5 se observa una versión simplificada de un lazo de control con los dos elementos principales [8].



**Figura 2.5:** Sistema de control de lazo cerrado.

**Fuente:** Tecnologías de sistemas de control [8].

## 2.2.5 SENSORES

### **Definición:**

Un sensor o captador, es un dispositivo diseñado para recibir información de una magnitud del exterior y transformarla en otra magnitud, normalmente eléctrica, que el usuario sea capaz de cuantificar y manipular.

Normalmente estos dispositivos se encuentran realizados mediante la utilización de componentes pasivos (resistencias variables, PTC, NTC, LDR, etc. todos aquellos

componentes que varían su magnitud en función de alguna variable), y la utilización de componentes activos [9].

### **2.2.5.2 Descripción de algunos sensores:**

Una forma sencilla de explicar algunos tipos de sensores.

**Sensores de posición:** Su función es medir o detectar la posición de un determinado objeto en el espacio, dentro de este grupo, podemos encontrar los siguientes tipos de captadores

**Los captadores fotoeléctricos:** Este tipo de sensores, se encuentra basado en la emisión de luz, y en la detección de esta emisión realizada por los fotodetectores.

**Sensores de contacto:** Estos dispositivos, son interruptores que se activan o desactivan si se encuentran en contacto con un objeto, por lo que de esta manera se reconoce la presencia de un objeto en un determinado lugar.

**Sensores por ultrasonidos:** Se basa en el mismo funcionamiento que los de tipo fotoeléctrico, ya que se emite una señal, esta vez de tipo ultrasónica, y esta señal es recibida por un receptor. De la misma manera, dependiendo del camino que realice la señal emitida podremos diferenciarlos entre los que son de barrera o los de reflexión.

**Captadores de esfuerzos:** Este tipo de captadores, se encuentran basados en su mayor parte en el empleo de galgas extensiométricas, que son unos dispositivos que cuando se les aplica una fuerza, ya puede ser una tracción o una compresión, varía su resistencia eléctrica, de esta forma podemos medir la fuerza que se está aplicando sobre un determinado objeto[9].

## 2.2.6 MEDICIÓN DE NIVEL

### 2.2.6.1 Tipo flotador

La fuerza de flotación que actúa sobre un flotador hace que éste se eleve o descienda conforme el nivel del fluido cambie. La posición del flotador actúa como interruptor, o puede transmitirse una señal a una ubicación remota. Es común que los flotadores se utilicen para detectar el límite superior o límite inferior del nivel.

### 2.2.6.2 Sensores de presión

Si se coloca un sensor de presión en el fondo de un tanque, se detecta la profundidad del fluido por medio del principio  $\Delta_p = \gamma h$  donde  $\gamma$  es el peso específico del fluido y  $h$  es la profundidad sobre el sensor. Debe tenerse cuidado cuando exista la posibilidad de que el peso específico cambie debido a la temperatura o composición del material.

Cuando el recipiente esté presurizado, un sensor de presión diferencial mide tanto la presión del ambiente sobre el fluido como la presión en el fondo del tanque, y se utiliza la diferencia para determinar la profundidad[10].



**Figura 2.6:** Ejemplo sensores de presión.

**Fuente:** SENSING Sensores de presión [10].

### 2.2.6.3 Ultrasónico

Un sensor emite un pulso de sonido de alta frecuencia al que luego refleja la superficie del fluido o sólido que se explota, debido a su densidad más alta en comparación con la del aire u otro gas sobre él. Después, el tiempo que toma que una señal reflejada detecte el sensor se relaciona con la distancia que viajó y en consecuencia con el nivel.

Es común que la frecuencia esté en el rango de 12 a 70KHz. Este dispositivo es del tipo sin contacto, y se utiliza para materiales abrasivos o donde la configuración del tanque no permita que llegue un sensor al fluido. Algunas desventajas son su sensibilidad a la suciedad, hule espuma, ruido del ambiente, superficies turbulentas, y el efecto que tiene el material con que está construido el tanque sobre el emisor.

También debe tenerse cuidado cuando se utilice sensores ultrasónicos para detectar niveles de fluidos con materiales sólidos, porque la superficie tiende a adoptar una forma cónica o inclinada con el ángulo de reposo del material. Los materiales gruesos también pueden dispersar la señal[10].



**Figura 2.7:** Sensor Ultrasónico FMU 42.

**Fuente:** [www.es.endress.com](http://www.es.endress.com) [18].

### 2.2.4.4 Radar

En vez de utilizar ondas de sonido ultrasónico, el sensor de nivel de radar emplea microondas electromagnéticas en el rango de frecuencias de 6 a 26 GHz, en función del

diseño del transmisor. La señal se dirige a la superficie del fluido por medio de una bocina cónica, y se refleja desde ahí debido al cambio en la constante dieléctrica del material en relación con el medio sobre la superficie. La onda reflejada se detecta y se relaciona el tiempo de viaje con la distancia recorrida y, por tanto, con el nivel de la superficie [10].



**Figura 2.8:** Sensor de nivel tipo radar.

**Fuente:** mecánica de fluidos – Roberto Mott [10].

## 2.2.7 PLC

### **Definición:**

Un autómata programable (PLC o Programmable Logic Controller) es un sistema de control basado en un microprocesador y los elementos necesarios para que este microprocesador opere de forma conveniente [12].

Al estar basado en un microprocesador, permite que la función que el PLC realice sea programable por cada usuario a efectos de satisfacer cada necesidad concreta de control, lo que le convierte en una herramienta sumamente útil y flexible. Su desarrollo a lo largo del tiempo ha experimentado sucesivas mejoras en el sentido de aumentar sus prestaciones, unas prestaciones que han sido consecuencia directa del avance en la tecnología y prestaciones de los microprocesadores [12].

El PLC es un elemento de control de procesos de propósito general amoldable a prácticamente todas las situaciones en las que se requiera una automatización. Para el usuario final tiene que ser un elemento de ayuda y el diseñador del sistema debe conocer tanto los aspectos de funcionamiento de aplicación en concreto como sus capacidades en el ámbito de la programación y de dispositivos físicos del PLC para, de este modo, poder convertirlo en el elemento que resuelve una determinada aplicación de forma económica, efectiva y eficaz [12].

En la figura 2.9 se indica un esquema de un PLC.



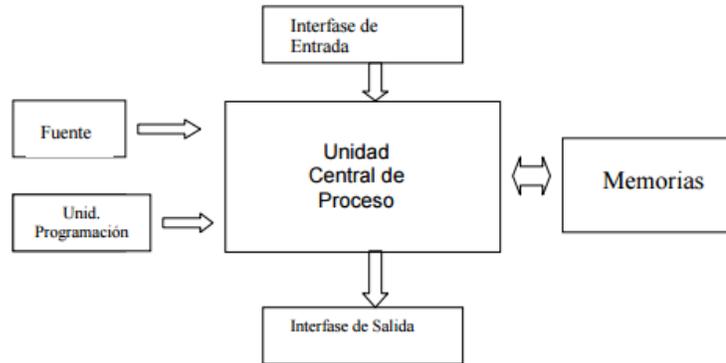
**Figura 2.9:** Esquema de un PLC.

**Fuente:** SIEMENS S7-300 [12].

Los terminales de entrada reciben señales de realimentación (feedback) para conexión a dispositivos como interruptores, disyuntores de seguridad, sensores de proximidad, pulsadores, interruptores, y otros dispositivos de entrada[13].

### 2.2.7.1 Partes de un Controlador Lógico Programable

#### a) Estructura Externa



**Figura 2.10:** Estructura interna de un PLC.

**Fuente:** Manufactura, ingeniería y tecnología [14].

El término estructura externa o configuración externa de un Controlador Lógico Programable industrial se refiere al aspecto físico exterior del mismo, bloques o elementos en que está dividido.

Actualmente son tres las estructuras más significativas que existen en el mercado

- Estructura compacta
- Estructura semimodular
- Estructura modular

#### b) Estructura Compacta

Este tipo de Controlador Lógico Programable se distingue por presentar en un solo bloque sus elementos, esto es, fuente de alimentación, CPU, memorias, entradas/salidas, etc.

Son los PLC de gama baja o nanoautomatas los que suelen tener estructura compacta. Su potencia de proceso suele ser muy limitada dedicándose a controlar máquinas muy pequeñas [14].

### **c) Estructura Semimodular**

Se caracteriza por separar las E/S del resto del Controlador Lógico Programable, de la forma que en un bloque compacto están reunidas las CPU, memoria de usuario o de programa y fuente de alimentación y separadamente las unidades de E/S.

Son los PLC de gama media los que suelen tener una estructura semimodular.

### **d) Estructura modular**

Su característica principal es la de que existe un, módulo para cada uno de los diferentes elementos que componen el PLC como puede ser una fuente de alimentación, CPU, E/S, etc. La sujeción de los mismos se hace por riel DIN, placa perforada o sobre RACK, en donde va alojado el BUS externo de unión de los distintos módulos que la componen.

Son los PLC de gama alta los que suelen tener una estructura modular, que permiten una gran flexibilidad en su constitución.

### ***Unidad de Programación***

Es el conjunto de medios, hardware y software mediante los cuales el programador introduce y depura sobre las secuencias de instrucciones (en uno u otro lenguaje) que constituyen el programa a ejecutar.

### ***Fuente de Alimentación***

La fuente de alimentación proporciona las tenciones necesarias para el funcionamiento de los distintos circuitos del sistema.

La alimentación a la CPU puede ser de continua a 24Vcc, tensión muy frecuente en cuadros de distribución, o en alterna a 110/220 Vca. En cualquier caso la propia CPU es la que alimenta las interfaces conectadas a través del bus interno.

La alimentación a los circuitos E/S puede realizarse según tipos, en alterna a 48/110/220 Vca o en continua 12/24/48 Vcc.

La fuente de alimentación del Controlador Lógico Programable puede incorporar una batería de reserva, que se utiliza para el mantenimiento de algunas posiciones internas y del programa usuario en memoria RAM, o cuando falla la alimentación o se apaga el Controlador Lógico Programable.

### ***Unidad Central de Proceso***

La CPU (Central Processing Unit) es la parte inteligente del sistema. Interpreta las instrucciones del programa de usuario y consulta el estado de las entradas. Dependiendo de dichos estados y del programa, ordena la activación de las salidas deseadas.

La CPU está constituida por los siguientes elementos:

- Procesador.
- Memoria monitor del sistema.
- Circuitos Auxiliares[14].

### 2.2.8 Interface Hombre – Máquina (HMI)



**Figura 2.11:** Interface Hombre máquina (HMI).

**Fuente:** HMI system SIMATIC WinCC flexible (Siemens) [15].

Una interface Hombre - Máquina o HMI (Human Machine Interface) es el dispositivo que presenta datos a un operador (humano), quien controla el proceso.

Un HMI puede tener también vínculos con una base de datos para proporcionar las tendencias, los datos de diagnóstico y manejo de la información así como un cronograma de procedimientos de mantenimiento, información logística, esquemas detallados para un sensor o máquina en particular, incluso sistemas expertos con guía de resolución de problemas. Cerca de 1998, virtualmente todos los productores principales de PLC ofrecen integración con sistemas HMI/SCADA, muchos de ellos usan protocolos de comunicaciones abiertos y no propietarios. Numerosos paquetes de HMI/SCADA de terceros ofrecen compatibilidad incorporada con la mayoría de PLC's, incluyendo la entrada al mercado de ingenieros mecánicos, eléctricos y técnicos para configurar estas interfaces por sí mismos, sin la necesidad de un programa escrito por un desarrollador de software[15].

### **2.3 Propuesta de Solución**

Con la presente investigación se implementó un sistema electrónico de evacuación de agua en los pozos de drenaje de la Central Hidroeléctrica Agoyán, para evitar fallas en el sistema de control ocasionado por el trabamamiento de los sensores dentro de la casa de máquinas. Esto permitió realizar un control electrónico para automatizar el proceso que sirva de respaldo al sistema actual.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 Modalidad de la Investigación**

El presente proyecto tiene una modalidad de investigación aplicada, ya que resaltó los conocimientos técnicos y científicos para crear una solución factible a los problemas que se han venido presentando, en una metodología estipulada con pruebas técnicas del sistema.

La presente investigación es de campo; porque se realizó dentro de las instalaciones de la Central Hidroeléctrica “Agoyán” en la cual se tendrá contacto con los equipos que están vinculados al sistema de control del pozo de drenaje. Además de ser experimental, porque mediante el desarrollo del proyecto se realizaron pruebas necesarias que permitieron saber si es que los problemas existentes en el sistema son resueltos y se están cumpliendo con los objetivos planteados para la investigación, también es bibliográfica debido a la información que se necesitó recopilar, en textos, documentos dotados por la empresa, revistas de investigación e internet para profundizar los conocimientos y tener claro el panorama de investigación.

Se reformó en forma congruente el contenido teórico y científico del proyecto de investigación, a través de diferentes fuentes de información primarias; llegando así a elaborar un documento recíproco a la ciencia y la tecnología.

### **3.2 Recolección de Información**

Para la recolección de información se utilizó una metodología de investigación basada en entrevistas personales a los representantes del área de mantenimiento eléctrico y electrónico a cerca de los problemas encontrados en el sistema de control. Además de basarse en recopilación de información dentro de lo textual en manuales y libros que proveen información necesaria.

### **3.3 Procesamiento y Análisis de Datos**

Una vez aplicadas las técnicas de investigación, se dio paso a un proceso de análisis y a la integración del conocimiento y lineamiento del proyecto, en el cual se enfatizó los datos más importantes, lo que dio como resultado la solución al problema planteado.

Parte importante del presente trabajo es el Diseño de un Sistema de Control y Supervisión para el pozo de drenaje en la casa de máquinas de la Central Hidroeléctrica Agoyán.

### **3.4 Desarrollo del Proyecto**

El desarrollo del proyecto estuvo dado por los siguientes pasos:

- Recopilación de información a través de documentos de la empresa para adquirir información necesaria del manejo del pozo de drenaje.
- Determinación de los requerimientos del sistema de control y supervisión a partir de los problemas encontrados descritos en la sección 1.2.
- Análisis de la metodología y alternativas de solución encontradas después de haber realizado una investigación previa.

- Diseño del diagrama esquemático del sistema de control.
- Programación del nuevo sistema de control y monitoreo.
- Simulación del diagrama esquemático en programa propio de la empresa.
- Pruebas necesarias del sistema antes de ponerlo en marcha.
- Pruebas técnicas del funcionamiento del sistema.
- Adaptación final del sistema funcionando correctamente.
- Documentación del proyecto.

## **CAPÍTULO IV**

### **PROPUESTA**

La propuesta para este proyecto de investigación, parte de los problemas encontrados en el sistema de control, El control mediante sensores tipo cinta. Estos sensores ocasionan problemas por trabamiento de las cintas, lo cual no permite una medición correcta de nivel del agua en el pozo de drenaje.

Para ello la propuesta de solución está basada en una automatización con equipos con una alta tecnología que permitan realizar el trabajo se monitoreo, supervisión y control con una eficacia requerida por la empresa. Este sistema sirvió se respaldo al sistema utilizado de principio, realizando un control automático.

El desarrollo de la propuesta se realizó de manera continua como se detalló en la metodología.

#### **4.1 Recopilación de Información a Través de Documentos de la Empresa Para Adquirir Información Necesaria del Manejo del Pozo de Drenaje.**

La información se recopiló basándose en planos, y diversos documentos propios de la empresa, la cual maneja documentos de diferente índole, en primera instancia se encontró la información del sistema en funcionamiento que nos indica la manera en la cual actúa y el procedimiento a seguir así como su mantenimiento. Además de hizo uso de los planos del sistema de drenaje en el cual se dieron algunos cambios que proporcionaran facilidad de manejo para el sistema a implementarse de manera que este sea respaldo del sistema actual.

También se hizo uso del sistema digital de la sala de control en el cual nos indica una imagen clara del funcionamiento del pozo de drenaje, las bombas que actúan en el mismo, las tuberías y el sumidero, además de poder revisar posibles fallas del sistema y controlar los niveles de agua.

De la información encontrada y los diferentes análisis se tomó varias opciones sobre el sistema. La más óptima es mantener el sistema actual y realizar un sistema de respaldo que consiste en un sistema encargado de monitorear el nivel en el pozo utilizando un PLC una HMI y un sensor ultrasónico. Éste actuará en relación a las fallas que el sistema tenga de acuerdo con su funcionamiento es decir si los sensores de cinta no detectan correctamente el nivel y éste sigue subiendo.

#### **4.1.1 Explicación del sistema de vaciado**

A continuación se detalla una descripción general del sistema de vaciado en el pozo de drenaje

##### **1. Descripción General:**

El sistema de vaciado consta de dos bombas de agua, válvulas de desagüe, pozo de drenaje, con otros equipos auxiliares tales como válvulas de accionamiento manuales, tuberías de agua, etc. Antes de proceder a las operaciones de mantenimiento de la turbina, el agua en el tubo de aspiración es eliminada a través de las bombas de drenaje mediante la válvula de drenaje.

Las bombas anteriores también pueden arrancar junto con las bombas 20EW-A, 20EW-B para formar el sistema de backup para el sistema de refrigeración de agua o el servicio de compresor de refrigeración de agua de la casa.

Una de las bombas anteriores es suficiente para el funcionamiento normal del sistema (Bomba principal) mientras que la otra bomba actúa como una alternativa o en espera (Bomba de retraso). Los detectores de nivel de agua son utilizados para efectuar la operación automática de las bombas.

## **2. Hoja A112- Bomba de vaciado para el tubo de aspiración- A**

El vaciado junto con el esquema del plano A113 muestran los circuitos de control de las bombas de vaciado 88WDM-A

(1) Modo de operación selección.- Selector Auto drenaje/Auto Emergencia/Drenaje Manual/Manual (43WDAL), A/B (43WDS) son previstos para el modo de selección.

Cabe señalar que la operación de vaciado puede ser efectuada solo manualmente mientras que el sistema de refrigeración solo se verá afectado en forma automática.

(2) Prueba de funcionamiento (modo de vaciado).- En este caso ( $\frac{43WDA}{MAN}$  cerrado) la operación de la bomba es afectada por pulsadores previstos localmente. El pulsador ( $\frac{3-42WDA}{ON}$  cerrado) energiza el contactor 42WDA para iniciar la operación si la válvula 20WD está totalmente abierta (33WDHX cerrado) y la presión del flujo de agua es suficiente (63 WDAX cerrado).

El pulsador  $\frac{3-42WDA}{OFF}$  desenergiza el contactor 88WDA para detener la operación.

(3) Operación de drenaje Manual (Solo modo de vaciado).- En este caso ( $\frac{43WDAL}{MD}$ ,  $\frac{43WDS}{A}$  cerrados), los pulsadores  $\frac{3-42WDA}{ON}$ ,  $\frac{3-42WDA}{OFF}$  se proporcionan en el centro de control del motor.

(4) Operación Auto- Drain.- En este caso ( $\frac{43WDAL}{A/D}$ ,  $\frac{43WDS}{A}$  *cerrados*), la operación de la bomba se divide en dos modos como se describe a continuación.

**a. Bomba principal**

Si la bomba es seleccionada por operación principal ( $\frac{43WDS}{B}$  *cerrado*) entonces el contactor 42WDA (y el relé 42WDAX) es energizado para iniciar la bomba bajo las siguientes condiciones:

- i. El nivel de agua en el pozo de drenaje es mayor que un cierto nivel predeterminado (71WP4X cerrado)
- ii. Las válvulas están seleccionadas en modo de operación de drenaje.

**b. Bomba secundaria o de retraso**

Si se selecciona la bomba para la operación principal ( $\frac{43WDS}{B}$  *cerrado*) entonces el contactor 42WDA se activa para iniciar bajo las siguientes condiciones:

- i. El nivel de agua en el pozo de drenaje es mayor (71WP5X cerrado).
- ii. Las válvulas están seleccionadas en modo de operación de drenaje.

(5) La suficiencia de la presión de flujo de agua está representado por 63WDA donde opera el relé 63WDAX, y es usado en el control de la bomba.

(6) Los contactos NFB13, 49WDAX son usados para la anunciación de la interrupción del suministro eléctrico o sobrecarga térmica de la bomba, en el panel de control/escritorio.

(7) Contactos como  $\frac{43WDS}{A}$ , 42WDAX, etc. Son utilizados para indicación.

(8) En la sobrecarga térmica del motor se energiza el relé 49WDAX para detener la operación (contactor 42WDA disparado) y se desconecta la alimentación del circuito de control.

(9) RL (Luz roja) Indica el estado de la bomba mientras que GL (luz verde) indica que la bomba esta desactivada. OL (luz naranja) indica sobrecarga térmica del motor.

### **3. Hoja A116- Bomba de vaciado para el tubo de aspiración- B**

El esquema de la hoja A116 muestra los circuitos de control de bomba de vaciado 88WDM-B. La misma aplicación se aplica como para la bomba de vaciado 88WDM-A.

### **4. Hoja A119- Motor para la válvula de vaciado**

El esquema junto con la hoja A120 muestra la circuitería de control de la válvula de vaciado 20WD.

(1) Modo de operación selectores.-Selectores TEST/NORM (43WDL), MANU/AUTO (43WD) son previstos para el modo de operación. El interruptor 43WDH está provisto para el control del calentador.

(2) Funcionamiento de prueba.- En esta operación ( $\frac{43WDL}{TEST}$  cerrado) los pulsadores  $\frac{3-20WDL}{OPEN}$ ,  $\frac{3-20WDL}{CLOSE}$  se proporcionan localmente para efectuar la operación.

a. **Apertura de la válvula.**- El pulsador  $\frac{3-20WDL}{OPEN}$  energiza el contactor 20WD-O para comenzar la operación de apertura de la válvula. Cuando la válvula está

totalmente abierta (33hb abierta), El contactor 20WD-O es desenergizado para detener la operación.

**b. Cierre de la Válvula.-** El pulsador  $\frac{3-20WDL}{CLOSE}$  energiza el contactor 20WD-C para comenzar la operación de la válvula. (La inversión de la secuencia de fase de la alimentación para encender la válvula en sentido contrario). Cuando la válvula está totalmente cerrada (33WD abierto). El contactor 20WD-C es desenergizado para detener la operación.

(3) La operación Manual Local.- En esta operación ( $\frac{43WDL}{NORM}$ ,  $\frac{43WD}{MANU}$  cerrados), los pulsadores  $\frac{3-20WDL}{OPEN}$ ,  $\frac{3-20WDL}{CLOSE}$  se proporcionan en el centro de control del motor. La operación se lleva a cabo como se describe el punto (2).

(4) Operación Remoto-Automático.- La operación de cierre o apertura de la válvula se efectúa si las bombas de vaciado 42WDM-A, 42WDM-B son seleccionadas para la operación de enfriamiento (43WDCX cerrado) además si satisface las siguientes condiciones.

a. En el caso en el que la válvula esté abierta, el nivel de agua del depósito superior es normal (N.C 71WCT2X2 cerrado).

b. En el caso en el que la válvula este cerrada, el nivel del agua del depósito superior cae por debajo de un valor presente (71WCT2X2 cerrado).

(5) Contactos NFB36, 49WD, 20WDTLF son previstos para la anunciar el fallo de la fuente de alimentación, la sobrecarga térmica de la carga y la fuerza de torsión del control panel/escriptorio respectivamente.

(6) RL (Luz Roja) indica que la válvula está completamente abierta (33WDHX cerrado) mientras que GL (Luz Verde) indica la condición totalmente cerrada (33WDLX cerrado). OL (luz naranja) indica la sobrecarga térmica del motor.

(7) La sobrecarga térmica del motor energiza el relé 49WD para detener la operación (Contactor 20WD-0 o 20WD-C disparado) para desconectar la alimentación del circuito de control.

#### **4.1.2 Planos del sistema de vaciado**

Los planos del sistema de vaciado están comprendidos entre los esquemas A 112 hasta los A121 los cuales nos indican el funcionamiento del sistema de vaciado y los pasos a seguir dentro del mismo. Estos se muestran en el ANEXO 1

### 4.1.3 Explicación del sistema de drenaje

A continuación se muestra una descripción general del sistema de drenaje en el pozo.

#### 1. Descripción General:

El sistema de drenaje consiste en dos bombas de drenaje, una bomba jet y otros accesorios. Las tuberías recogen el agua del drenaje por los coladores y diferentes lugares de la casa de máquinas. El agua recogida en el pozo se bombea por una de las bombas (Bomba principal) mientras que la otra bomba actúa como una alternativa o un espacio (Bomba de retraso o secundaria). En el caso en el que estas dos bombas no sean suficientes entra en operación la bomba jet.

#### 2. Hoja A124 Bomba de drenaje A

El esquema del plano A125 muestra el circuito de control de la bomba de drenaje 88WHM-A.

- (1) Modo de operación selección.-Los selectores TEST/NORM (43WHAL), MANU/AUTO (43WHA), A/B (43WHS) son previstos para el modo de operación.
  
- (2) Prueba de funcionamiento.-Los pulsadores ( $\frac{43WHAL}{TEST}$  cerrado) son previstos localmente para efectuar la operación. El pulsador  $\frac{3-42WHAL}{ON}$  energiza el contactor 42WHA para arrancar la bomba. El pulsador  $\frac{3-42WHAL}{OFF}$  desenergiza el contactor 88WHA para detener la operación de la bomba.

(3) Operación Local- Manual.-Los pulsadores  $\left( \frac{43WHAL}{NORM}, \frac{43WHA}{MANU} \text{ cerrado} \right) \frac{3-42WHA}{OFF}, \frac{3-42WHA}{ON}$  se proporcionan en el centro de control del motor. La operación se lleva a cabo como se describió anteriormente en el punto (2).

(4) Operación Remoto/Auto.-En este caso  $\left( \frac{43WHAL}{NORM}, \frac{43WHA}{AUTO} \text{ cerrado} \right)$  son divididos en dos modos como se describe a continuación.

**a. Bomba principal**.-  $\left( \frac{43WHS}{A} \text{ cerrado} \right)$  Si el nivel del agua del pozo se eleva a un cierto nivel (71WHz1X cerrado) a fin de requerir la operación de la bomba principal entonces el contactor 42WHA es energizado para iniciar el funcionamiento de la bomba.

**b. Bomba secundaria o de retraso**.-  $\left( \frac{43WHS}{B} \text{ cerrado} \right)$  Si el nivel del agua del pozo se eleva a un cierto nivel (71WH2X cerrado) a fin de requerir la operación de la bomba secundaria entonces el contactor 88WHA se energiza para iniciar el funcionamiento de la bomba.

También en caso de que la bomba de agua no funcione a pesar de haber sido seleccionada como bomba principal (N.C. 42WHBX cerrado), cuando el nivel del agua se eleva a un cierto nivel (71WH2X cerrado), entonces la bomba es operada.

(5) Los contactos NFB110, 49WHAX son provistos para anunciar fallos en la sobrecarga, en la alimentación y en el panel de control/escritorio respectivamente.

(6) Los contactos tal como  $\frac{43WHS}{A}, 42WHA$ , etc. Son utilizados para indicación.

- (7) RL (Luz Roja) Indica el estado de la bomba mientras que GL (Luz Verde) Indica el estado de la bomba “Lista para la operación”. OL (Luz Naranja) indica la sobrecarga térmica de la bomba.
- (8) La sobrecarga térmica del motor energiza el relé 49WHAX para detener la operación (Contactor 42WHA disparado) desconectando la alimentación al circuito de control.

### 3. Hoja A126- Bomba de drenaje B

El esquema del plano A127 muestra el circuito de control de la bomba de drenaje 88WHM-B. Se aplica la misma explicación dada en el punto 2.

### 4. Hoja A128- Válvula del motor para la bomba JET

El dibujo muestra el circuito de control de la válvula para la bomba jet 20WJ.

- (1) Modo de operación selección.-Los selectores TEST/NORM (43WJL), MANU/AUTO (43WJ) son provistos para el modo de selección.

El interruptor 43WJH es provisto para el control del calentador de espacio.

- (2) Prueba de funcionamiento.-En este caso ( $\frac{43WJL}{TEST}$  cerrado), los pulsadores

$\frac{3-20WJL}{OPEN}$  y  $\frac{3-20WJL}{CLOSE}$  son previstos para efectuar la operación de la bomba.

- a. **Apertura de la válvula.**- El pulsador  $\frac{3-20WJL}{OPEN}$  energiza el contactor 20WJ-0 para iniciar la operación de apertura de la válvula. Cuando la válvula está totalmente abierta (33WJ hb abierta), el contactor 20WJ-0 es desenergizado para detener la operación.

- b. Cierre de la válvula.-** El pulsador  $\frac{3-20WJL}{CLOSE}$  energiza el contactor 20WJ-C para iniciar la operación de cierre de la válvula. (La inversión de la polaridad de la alimentación para encender la válvula en sentido contrario). Cuando la válvula está totalmente cerrada (33WJ la abierto) el contactor 20WJ-C es desenergizado para detener la operación.
- c.** Un resistor en serie con el motor es arrancado para evitar la irrupción de corriente durante el arranque del motor. Junto con la energización de 20WJ-0 (o 20WJ-C), el relé 20WJL es energizado (20WJ-0 o 20WJ-C cerrado). Esto activa el relé 20WJ después de un cierto tiempo de retardo (TDC 20WJT cerrado) para cortar el comienzo de la resistencia en serie (20WJ cerrado).
- (3) Operación Local-Manual.- En este caso ( $\frac{43WJL}{NORM}, \frac{43WJ}{MANU}$  cerrado), los pulsadores  $\frac{3-20WJ}{OPEN}, \frac{3-20WJ}{CLOSE}$  son previstos en el centro del control del motor. Esta operación se lleva a cabo como se describió anteriormente.
- (4) Operación Remoto/Auto.- En este caso ( $\frac{43WJL}{NORM}, \frac{43WJ}{AUTO}$  cerrado), si el nivel de agua en el pozo se eleva a un nivel aún más alto (71WHJX cerrado) entonces la operación de la válvula comienza como se describe en el punto (2). Si el nivel de agua en el pozo cae por debajo de cierto nivel (N.C. 71WHJX cerrado) entonces se inicia la operación de cierre de la válvula como se describe en el punto (2b).
- (5) Los contactos NFB 311, 49WJX, 20WJTFL son provistos para la anunciación de fallas en la fuente de alimentación, sobrecarga del motor de la válvula y excesivo esfuerzo de torsión en el control panel/escritorio respectivamente.

(6) RL (Luz Roja) Indica la condición de la válvula totalmente abierta (33WJHAX cerrado), mientras que GL (Luz Verde) indica la condición totalmente cerrada (33WJLBX cerrado). OL (Luz Naranja) indica la sobrecarga térmica del motor.

(7) La sobrecarga térmica del motor energiza el relé 49WJX para detener la operación (contactor 2WJ-0 o 20WJ-C disparados) desconectando la alimentación del circuito de control.

## **5. Hoja A130- Control para la Bomba de Drenaje**

El dibujo muestra las conexiones de los detectores de nivel de agua y los relés asociados que se utilizan en el control de las bombas de vaciado y la bomba jet.

Cuando el nivel del agua in el pozo de drenaje llega a cierto nivel, el relé 71WH1X es energizado (71WH ha1 cerrado) que representa el requerimiento de la operación de la bomba principal.

De manera parecida el relé 71 WH2X es energizado (71WH ha2 cerrado) cuando el nivel del agua en el pozo llega a un nivel alto, que representa el requerimiento de la operación de la bomba de reserva. Cuando el nivel se eleva aún más, el relé 71WHJX es energizado (71WH ha3 cerrado), que representa el requerimiento de la operación de la bomba JET. El detector de nivel detecta el nivel inferior, que representa el nivel normal, es sado para tenencia (71WHla cerrado) o restear (71whla abierto) y el relé mencionando anteriormente respectivamente.

### **4.1.4 Planos del sistema de drenaje**

Los planos del sistema de drenaje están comprendidos entre los esquemas A 124 hasta los A130 los cuales nos indican el funcionamiento del sistema de drenaje. Ver ANEXO 2.

#### **4.1.5 Sistema de Drenaje (Informe final de la obra civil Hidroeléctrica “Agoyán”)**

El sistema de drenaje de la casa de máquinas tiene por objeto drenar y evacuar las aguas provenientes de la infiltración en el macizo rocoso, canalizar y evacuar las aguas utilizadas para la limpieza de pisos, lavamanos o urinarios. El sistema no está diseñado para la evacuación de aguas negras que contengan materias sólidas, debido a que el conjunto de sistemas entrega las aguas al tanque o pozo de drenaje, desde el cual por medio de bombeo se evacua a la galería de drenaje.

Para la descripción del sistema de drenaje, se analizan las siguientes zonas en su orden, pozo de transporte, pozo de ascensor, túnel de acceso y ventilación, acceso a la chimenea de equilibrio inferior, casa de máquinas y galería de drenaje.

El sistema de drenaje en el pozo de transporte consiste de 4 perforaciones radiales que coinciden con la ubicación de las bajantes, las perforaciones son horizontales, del tamaño NX y tienen una longitud de 5.0 m, están realizadas sistemáticamente cada 12.0 m de profundidad, empezando por la cota 1.612,00; se comunican con los bajantes que son tuberías de PVC con diámetro de 3 pulgadas, por medio de una T, que conecta con un tramo de tubería de 2 pulgadas, introducida mínimo 15 cm en la perforación y calafateada para evitar filtraciones en la pared del pozo. Los bajantes están soportados mediante abrazaderas

#### **4.2 Determinación de los Requerimientos a Partir de los Problemas Encontrados.**

Dentro de los requerimientos del sistema está un sistema de control y supervisión que sirva de respaldo al sistema anterior ya que se encontraron varios problemas en sistema de drenaje con los sensores de cinta que provocaban que el sistema no funcione correctamente al trabarse las cintas de los sensores pudiendo observar que el sistema dejaba de funcionar correctamente dejando de subir el nivel del agua, pudiendo ocasionar la pérdida de las bombas al quemarse por falta de agua.

#### 4.2.2 Sistema actual y el propuesto – Funcionamiento

En la siguiente tabla se muestran las características principales de funcionamiento del sistema actual y el sistema propuesto en el cual se describe la manera en la que se da en control del nivel en el pozo.

**Tabla 4.1:** Características del sistema de drenaje actual y propuesto

SISTEMA ACTUAL – FUNCIONAMIENTO	SISTEMA PROPUESTO
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. En el sensor 71WP en el momento en que el nivel está en 1000mm se enciende una alarma de nivel muy bajo (Ib2-( SP))</li> <li>2. Una vez que el nivel del agua alcanza los 1100mm se abre el contacto 71WPL3X y las bombas (88WHM A/B) que son las bombas de drenaje y la bomba JET permanecen apagadas (P1WP/Ib1)</li> <li>3. Cuando el nivel del agua está en los 1700mm se cierra el contacto de 71WPH1X y se enciende la bomba 88WHM-A (71WP/ha1).</li> <li>4. Si el nivel de agua sigue subiendo y llega a los 1900mmse 71WP/ha2 cierra el contacto de 71WPH2X y se enciende la bomba 88WHM-B.</li> <li>5. Al llegar el nivel a los 2100mm 71WP/ha3 se cierra y enciende el contacto de 71WP3X</li> <li>6. En los niveles más altos es decir ya en 3350mm se enciende una alarma (71WP/ha6).</li> <li>7. Para el vaciado actúa el sensor 71WPE, 71WPE/ha2 se cierra y empieza a funcionar 71WP4AX y empieza a actuar la bomba de vaciado 88WDM-B</li> <li>8. Cuando el nivel del agua llega a los 3000mm 71WPE/ha1 se cierra para activar 71WP5X y la bomba 88WDM- A se enciende activándose también una alarma</li> <li>9. Mientras el nivel sigue bajando, en 2300mm el</li> </ol>	<p>Se utilizó un sensor ultrasónico FMU el cual detecta el nivel de agua en el pozo.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Detectando un nivel de agua de 1,25m las bombas 88WHM- A/B y JET estarán apagadas.</li> <li>2. Mientras el sensor detecte un nivel de agua de 1,70m se activará la bomba 88WHM-A (Bomba de drenaje A), si el nivel sube a los 1,85m se enciende la bomba 88WHM-B (Bomba de drenaje B).</li> <li>3. Si el sensor detecta un nivel de 2,05m actúa la bomba JET encendiéndose para ayudar a las dos bombas de drenaje.</li> <li>4. Si el nivel de agua se encuentra en 2.95m se enciende una alarma de nivel alto y actuará la bomba de vaciado 88WDM-A.</li> <li>5. Si el nivel llega a los 3,15m se enciende la bomba 88WDM-B.</li> <li>6. Al encenderse las bobas de vaciado al igual que las de drenaje y JET el nivel del agua en el pozo irá bajando.</li> <li>7. Si el sensor detecta 2,30m de nivel de agua las bombas accionadas con anterioridad 88WDM A/B dejan de actuar.</li> <li>8. Si el nivel sigue subiendo y llega a los 3350mm se enciende una alarma.</li> </ol>

<p>contacto 71WPE/lb1 se abre actuando 71WP5X y las bombas de vaciado (88WDM - A/B) se apagan.</p> <p>10. En los niveles más bajos es decir a los 1800mm actúa una alarma (71WPE/lb2).</p>	
--	--

**Fuente:** Investigador

Para la determinación de los requerimientos del sistema a implementarse se hizo un estudio previo el cual permitió determinar los elementos a utilizarse y como realizar un control que proporcione soporte al sistema actuando en la empresa actualmente como se muestra en la Tabla 4.2.

#### **4.2.2.1 Requerimientos**

Dentro de los requerimientos del sistema se encontró implementar un PLC, el cual permita realizar la programación pertinente para controlar el nivel del agua. Una HMI permitió visualizar los cambios de nivel de agua, fallas en el sistema e historial de alarmas.

#### **4.2.2 Elección de equipos según los requerimientos**

Para la selección de los equipos necesarios para el sistema de drenaje se realizó un análisis del mismo permitiendo saber que equipos son requeridos dependiendo de su capacidad, tecnología, número de entradas, número de salidas, capacidad de almacenamiento de información y estado de los mismos.

Se utilizó SIMATIC S7 300 por su alta rentabilidad, flexibilidad y productividad en su máquina, la CPU es compacta, compatible con profinet, integra interface de comunicación PROFINET y PROFIBUS y se caracteriza por una mayor memoria de trabajo. Además de ser modularmente ampliable, tiene una eficiente configuración y programación con STEP 7 al igual que con herramientas de ingeniería.

**Tabla 4.2:** Elementos del sistema de drenaje

<b>ELEMENTOS DEL SISTEMA DE DRENAJE</b>		
<b>Transductores</b>	<b>Controladores</b>	<b>Supervisión</b>
<b>Sensor ultrasónico</b> <b>FMU 42</b>	PLC S7-300 <u><b>POWER SUPPLY</b></u> 307-1EA01-0AA0  <u><b>CPU S7-300</b></u>  314-1AG14-0AB0    V3.3  <u><b>MÓDULO DE ENTRADAS</b></u> <u><b>ANALÓGICAS</b></u>  8 entradas analógicas 6ES7 331-7KF02-0AB0  <u><b>MÓDULO DE SALIDAS</b></u> <u><b>DIGITALES</b></u>  16 salidas digitales 6ES7 322-1HH01-0AA0	HMI <u><b>TOUCH PANEL</b></u>  6AV6 643-0CB01-1AX1 8 pulgadas

**Fuente:** Investigador

#### 4.2.2.1 PLC

Para realizar el sistema de control y supervisión es necesario seleccionar el PLC que mejor cumpla con los requerimientos del sistema.

Las características del mismo deben permitir al investigador llevar a cabo un buen manejo del equipo y del sistema. Es por eso que se ha escogido como mejor componente de programación al PLC s7300 de SIEMENS además que la empresa cuenta con este equipo.



**Figura 4.1:** Autómata programable.

**Fuente:** SIEMENS Industry manual [16].

- **SIMATIC S7-300**

Es el sistema de mini autómatas modulares para las gamas baja y media, con un abanico de módulos para una adaptación óptima en la tarea de automatización en particular de aplicación flexible gracias a la posibilidad de realizar estructuras descentralizadas e interconexiones por red, cómodo de aplicar gracias a su factibilidad de uso y a su necesidad de ventilación. Ampliable sin problemas en el caso de que aumenten las tareas, potente gracias a la gran cantidad de funciones integradas.

### **4.3 Análisis de la metodología y alternativas de solución.**

Los procedimientos a seguir en cuanto a la investigación realizada en torno al proyecto desarrollado dio como resultado la necesidad de tener en cuenta un cambio en el sistema de control. Los problemas ocasionados por el sistema actual han presentado fallas en su funcionamiento debido al deterioro de sus componentes de medición de nivel.

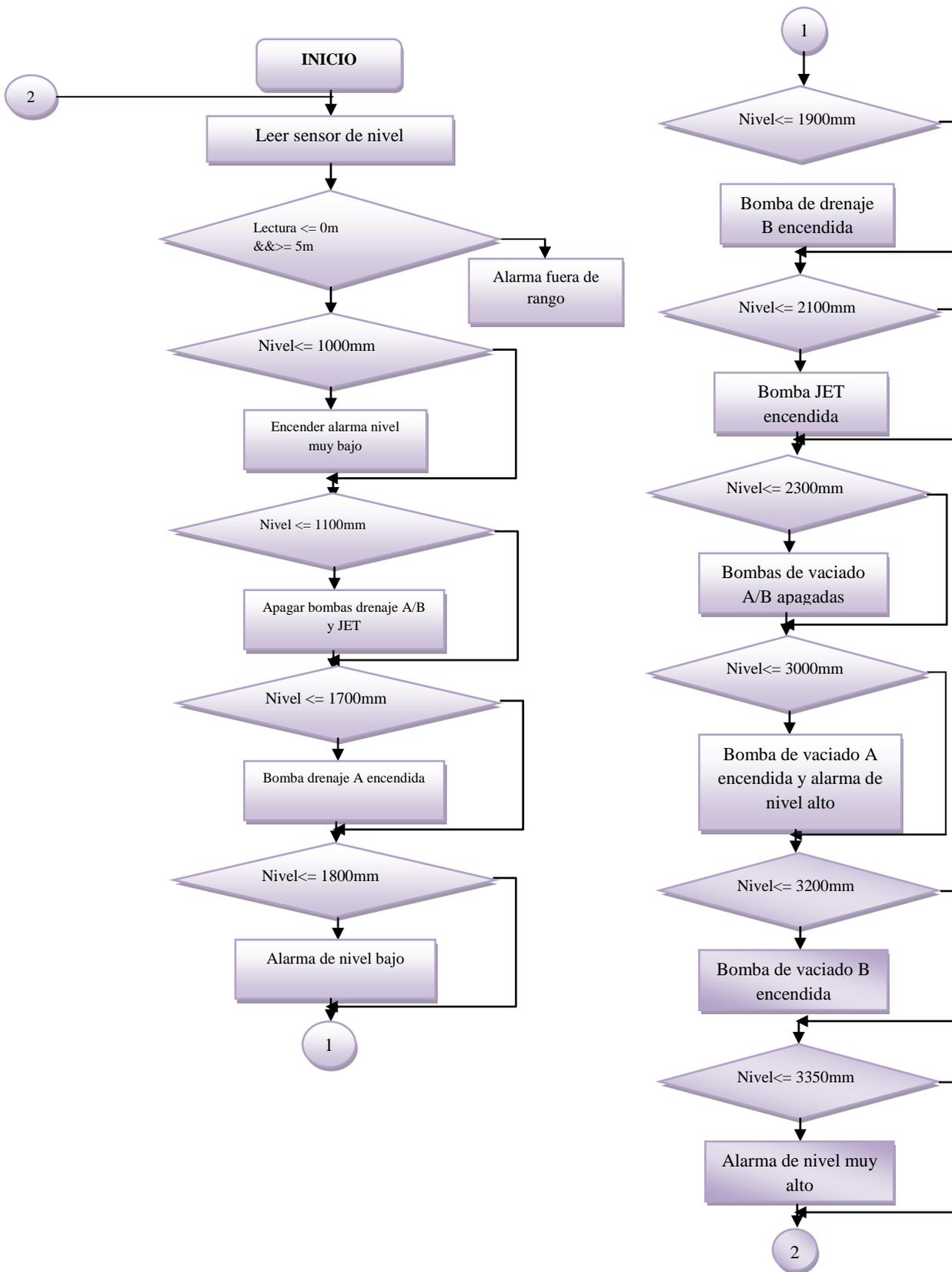
Las alternativas de solución fueron dadas en torno a un nuevo sistema que ayude y sea un respaldo para el sistema actual. No podía ser reemplazado en su totalidad, se estructuró un sistema digital controlado por un sensor ultrasónico el cual envía los datos al PLC y este a su vez visualiza su funcionamiento en una HMI, que permitirán el acceso interactivo del sistema con el usuario. El operador estará familiarizado con el sistema mediante esta interface ya que será fácil de manejarla y monitorear el sistema de drenaje mediante esta pantalla, en la cual se verá un esquema del pozo de drenaje, los estados de las bombas, historial de alarmas, etc.

#### **4.3.1 Diseño**

El diseño del programa para el PLC está basado en factores que fueron tomados muy en cuenta antes de empezar con el mismo: Verificación de protecciones de las bombas, modo de operación de las bombas, niveles de agua en el pozo en los que actúan las bombas. Siendo el más importante ya que se verifica el tiempo en el que actúan las bombas en cuanto al nivel del agua ya que dependiendo del nivel éstas bombas actúan o no.

##### **4.3.1.1 Lógica de control**

En el siguiente diagrama de flujo se muestra la lógica de control aplicada en el sistema dependiendo de los niveles analizados y testeados de acuerdo con el sistema actual y al que funcionará el sistema de respaldo propuesto.



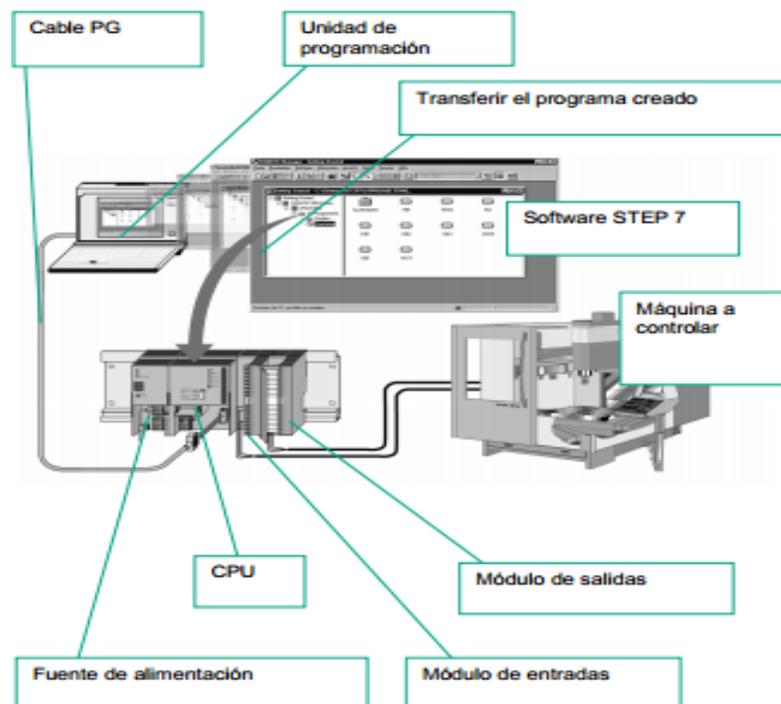
**Figura 4.2:** Lógica de control.

**Fuente:** Investigador.

### 4.3.2 Diseño de programación (Simatic Step 7)

Para el diseño de programación fue utilizado el software Simatic Step 7 para realizar la programación del PLC en el que fue necesario recabar toda la información necesaria sobre los equipos a ser controlados por el mismo, así también como saber cuántas entradas y salidas se van a tener tanto analógicas como digitales para comenzar con la programación.

El sistema de automatización se compone de una fuente de alimentación, una CPU y módulos de entras y salidas. El PLC vigilará y controlará el sistema con la ayuda del programa.



**Figura 4.3:** Interacción de Software y Hardware.

**Fuente:** SIEMENS SIMATIC STEP 7 manual [17].

## **Configuración de direcciones de entradas y salidas**

### **Direccionamiento Digital**

- ✓ Las direcciones de entradas y salidas comienzan con la dirección 0 para el primer módulo del rack.
- ✓ A cada módulo se le asignan 4 bytes
- ✓ Al configurar el hardware del PLC con el software STEP7, siempre reserva el slot para el módulo IM
- ✓ La numeración de cada grupo de entradas la pondrá correlativa dependiendo no de la posición del rack sino del orden en el que se inserten las tarjetas.
- ✓ La numeración de cada grupo de salidas, las pondrá también correlativas empezando por la 0 y también en el orden en el que se inserten las tarjetas.

### **Direccionamiento Analógico**

- ✓ Las direcciones analógicas para entradas y salidas empiezan con la dirección 256 en el rack 0
- ✓ Cada módulo analógico, se le asignan 16 bytes.
- ✓ Cada entrada analógica ocupa 2 bytes.

### **Nombramiento de entradas**

En el STEP 7 las entradas son nombradas con la letra E: E 0.0, E 0.1, E 1.1, etc.

### **Nombramiento de las salidas**

Las salidas en el STEP 7 son nombradas con la letra A: A0.0, A 1.1, es igual que las entradas solo cambia la letra con las que se le nombra.

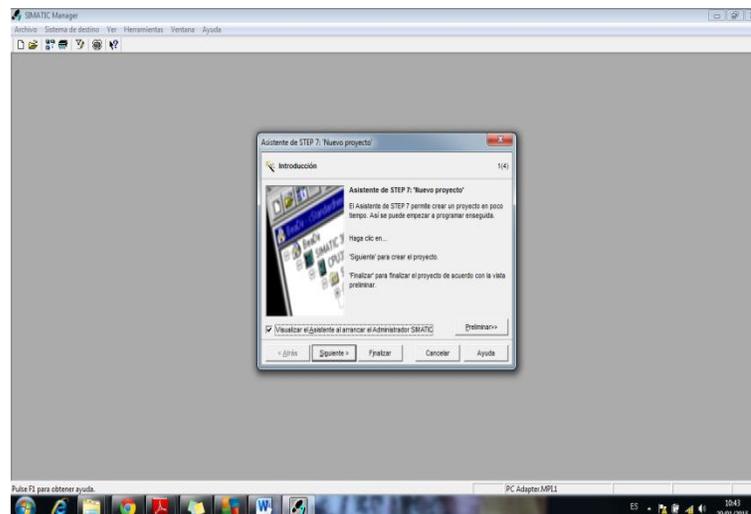
## Marcas

Las marcas son áreas de memoria que se designan para guardar el valor de un bit que se utilizará para como una entrada imaginaria o para comparar el bit almacenado dentro de la marca.

### 4.3.3 Creación de un proyecto nuevo

Ejecutamos STEP 7 dando clic en el icono  .

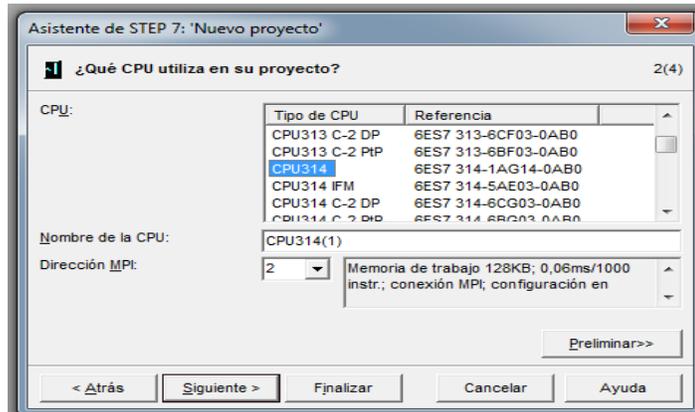
Se abrirá la siguiente pantalla de la aplicación STEP 7 v5.5, por efecto se abrirá una pantalla que nos permitirá crear un proyecto nuevo dando clic en siguiente como se muestra en la figura 4.20.



**Figura 4.4:** Crear nuevo proyecto.

**Fuente:** Investigador.

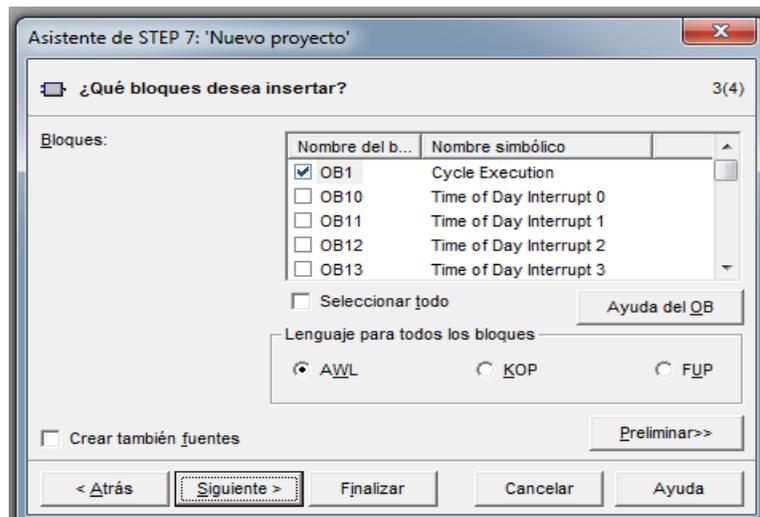
A continuación seleccionamos el CPU que dependerá del que se tenga en el modulo del PLC, en este caso será el CPU 314 que es del cual disponemos.



**Figura 4.5:** Selección del CPU.

**Fuente:** Investigador.

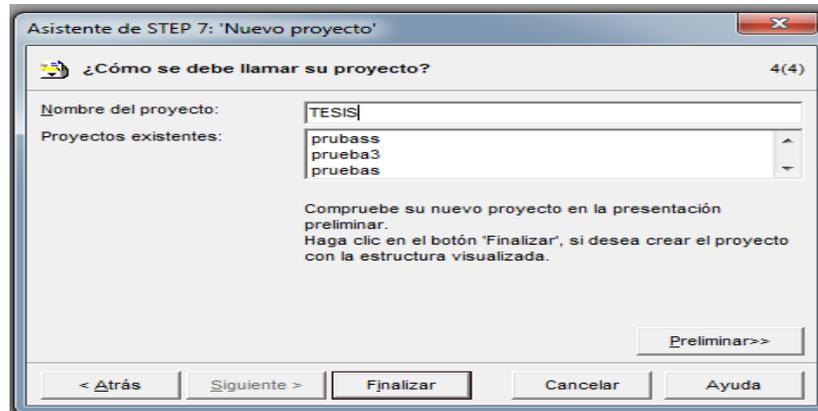
Seleccionamos siguiente y aparecerá un apantalla que nos permitirá escoger el lenguaje de programación con el que queremos trabajar para este caso se selecciono “AWL” que nos permitirá mantener un entorno fácil de programación durante todo el proceso además se inserta el bloque en el que se desarrollara la programación en este caso será “OB1”.



**Figura 4.6:** Selección del lenguaje de programación y bloque se programación.

**Fuente:** Investigador.

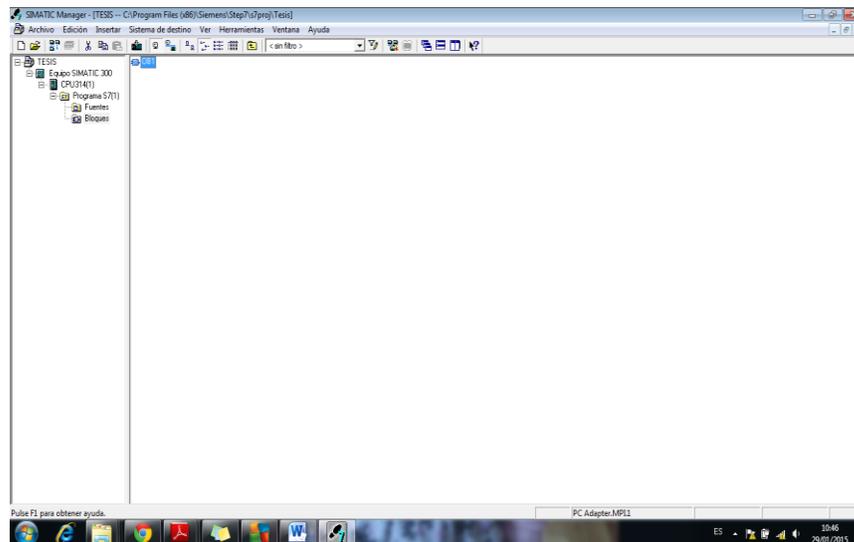
Damos clic en siguiente y aparecerá una pantalla en el que daremos nombre a nuestro proyecto y finalizaremos con el proceso de creación de un nuevo proyecto



**Figura 4.7:** Nombre del proyecto.

**Fuente:** Investigador.

Al finalizar el proceso de creación de un proyecto nos muestra el entorno de la pantalla donde se dará paso a la programación.



**Figura 4.8:** Pantalla principal al finalizar la creación del proyecto.

**Fuente:** Investigador.

### 4.3.4 Configuración del Hardware

Se requiere una configuración del hardware completa para poder generar los datos del sistema para la CPU.

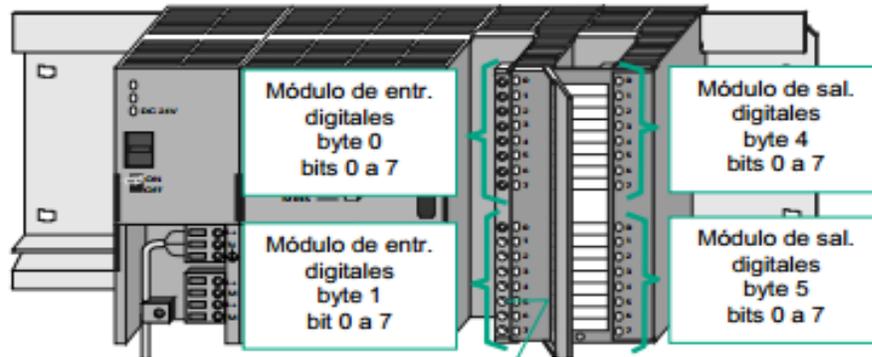


Figura 4.9: Descripción PLC.

Fuente: SIEMENS SIMATIC STEP 7 manual [17].

Seleccionamos HARDWARE y damos doble clic en el mismo para la configuración respectiva.

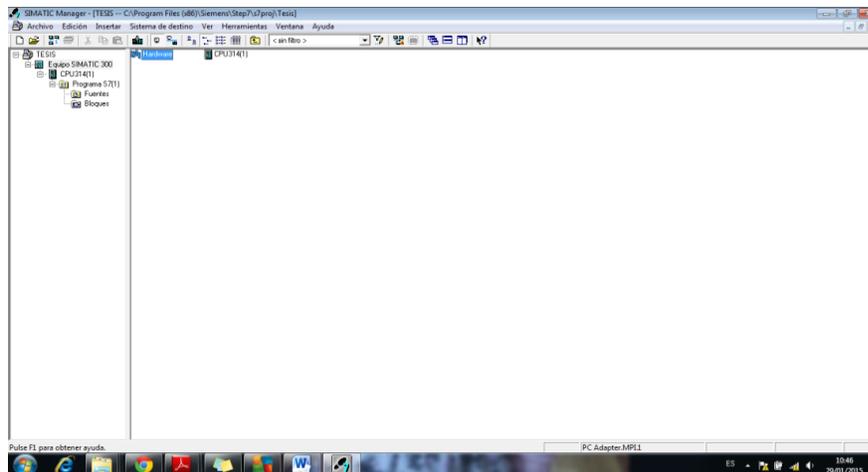
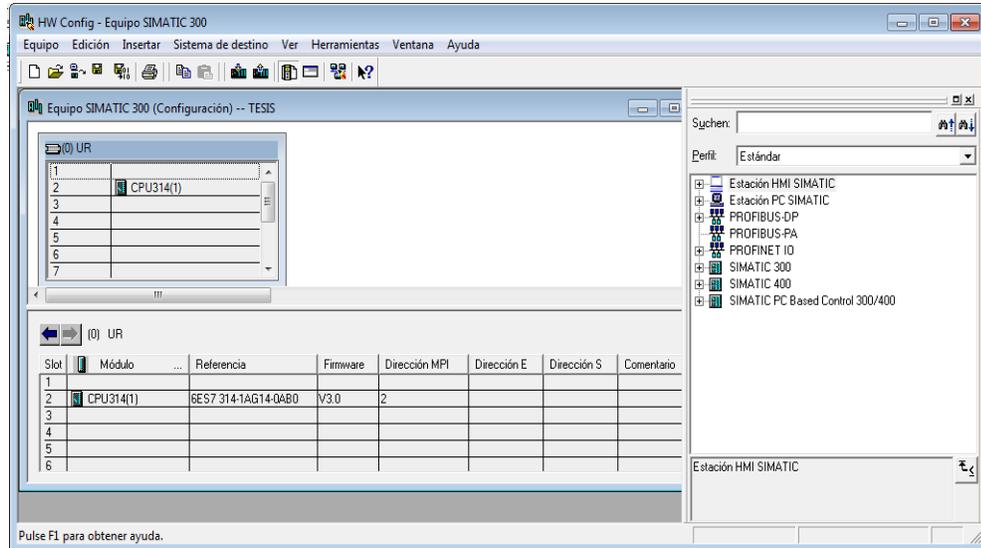


Figura 4.10: Configuración del Hardware.

Fuente: Investigador.

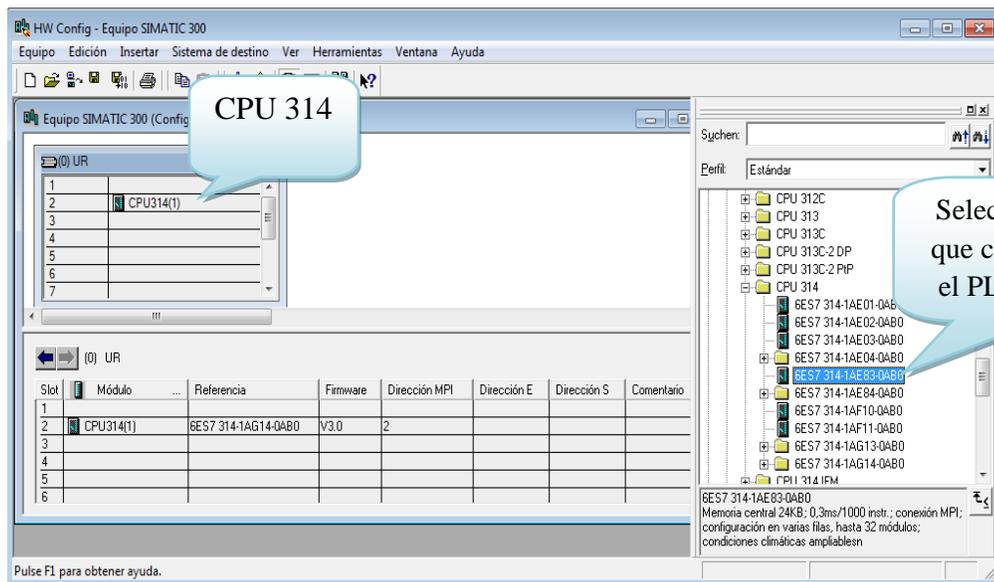
Se abre la siguiente pantalla en la cual se seleccionaran los componentes para la configuración del hardware.



**Figura 4.11:** Entorno para la configuración del Hardware.

**Fuente:** Investigador.

El catálogo de hardware se encuentra en la parte izquierda de la pantalla de configuración.



**Figura 4.12:** Selección del CPU para el bastidor.

**Fuente:** Investigador.

Se seleccionó entradas y salidas digitales dentro de esta ventana de configuración. En el bastidor dentro del catálogo se encuentra el icono para el perfil DIN. Se podrá insertarlo en la ventana de configuración de hardware en donde aparecerá una ventana dividida en dos partes: una lista simple en la parte de arriba y una lista más detallada debajo como se observa en la figura 4.12.

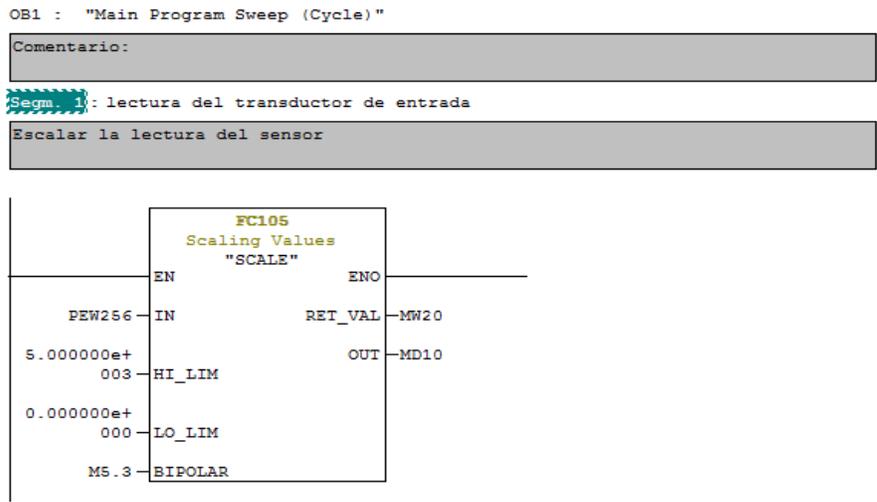
Para la fuente de alimentación se busca el modulo adecuado en el catálogo, el que esté siendo utilizado en el PLC el cual será insertado en el slot n°1, el slot n° 2 se insertara el CPU a utilizarse en este caso será el CPU 314, el slot n° 3 quedará reservado como la dirección lógica para un módulo interface para configuraciones multibastidor.

Desde el slot n°4 se insertara una serie de módulos de señal SM procesadores de comunicación CP o Módulos de función FM.

#### **4.3.5 Programación del sistema**

Luego de haber hecho la configuración de hardware se procede a realizar la programación necesaria para el control del sistema a implementarse mediante la misma se controlaron el transductor de entrada que en este caso es el sensor (señal analógica), las comparaciones con el transductor de entrada y los niveles con el cual se controló el comportamiento de las bombas de vaciado y de drenaje.

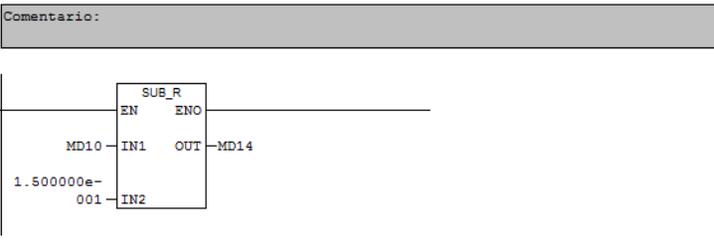
En la figura 4.13 se muestra un bloque de programación en el cual se hace el escalamiento de la señal de entrada analógica entre los limites en los que se requiere que de los valores censados.



**Figura 4.13:** Escalamiento de la señal de entrada. (STEP 7 SIEMNES)

**Fuente:** Investigador.

Ya escalada la señal de entrada se realizó la resta en coma flotante de la señal de entrada con el valor que queremos que nos dé a la salida en este caso es el nivel. Figura 4.14



**Figura 4.14:** Sustracción en coma flotante. (STEP 7 SIEMNES)

**Fuente:** Investigador.

Se tomaron los niveles a los que se requiere que las bombas drenaje, vaciado, jet y las alarmas actúen utilizando comparadores de acuerdo con la señal de entrada. Se enciende una alarma de nivel bajo a 1.0mts y las bombas jet, drenaje A/B se encuentran apagadas. Figura 4.15, 4.16, 4.17.

Segm. 7 : ENCENDER ALARMA DE NIVEL MUY BAJO

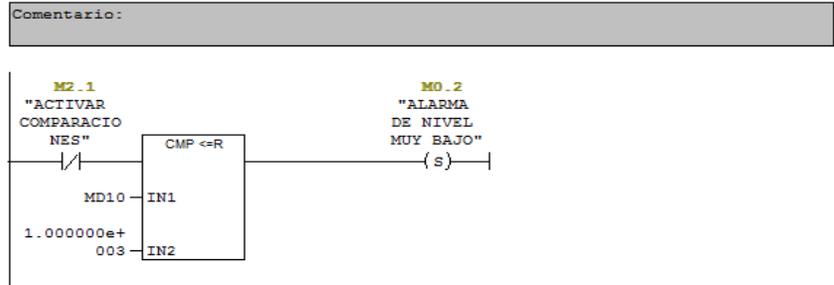


Figura 4.15: Alarma de nivel muy bajo encendida. (STEP 7 SIEMNES)

Fuente: Investigador.

Segm. 9 : Bombas de drenaje a/b y jet apagadas

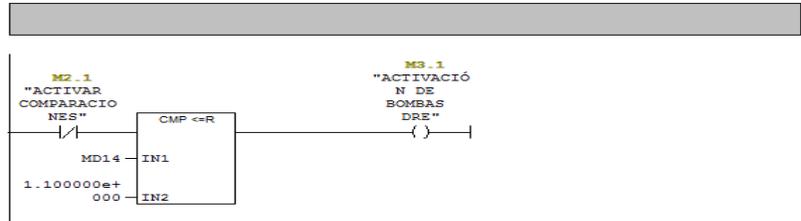


Figura 4.16: comparador a los 1.1 mts. (STEP 7 SIEMNES)

Fuente: Investigador.

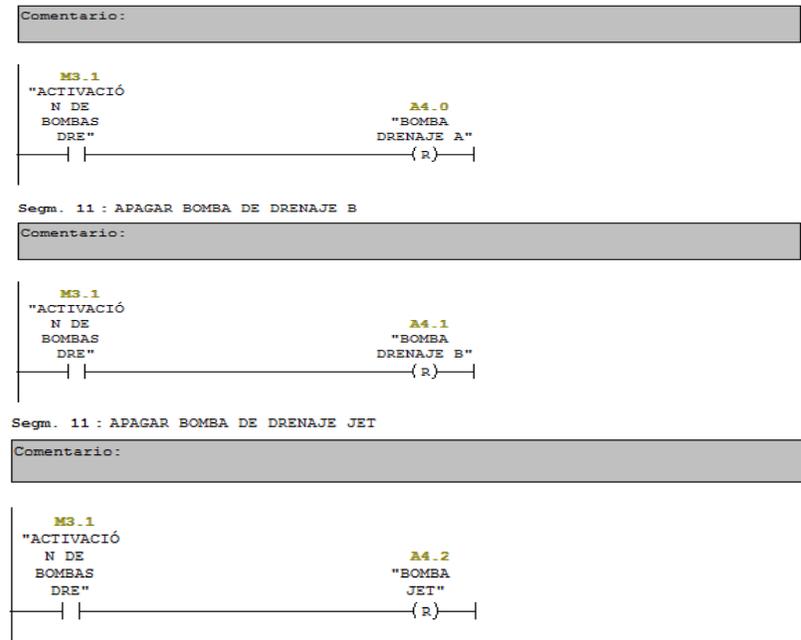
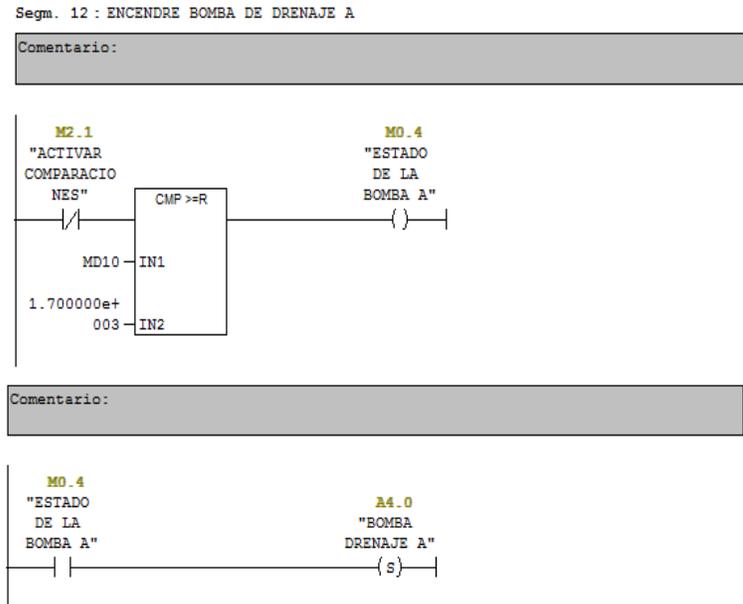


Figura 4.17: Bomba de drenaje A/B y JET apagadas. (STEP 7 SIEMNES)

Fuente: Investigador.

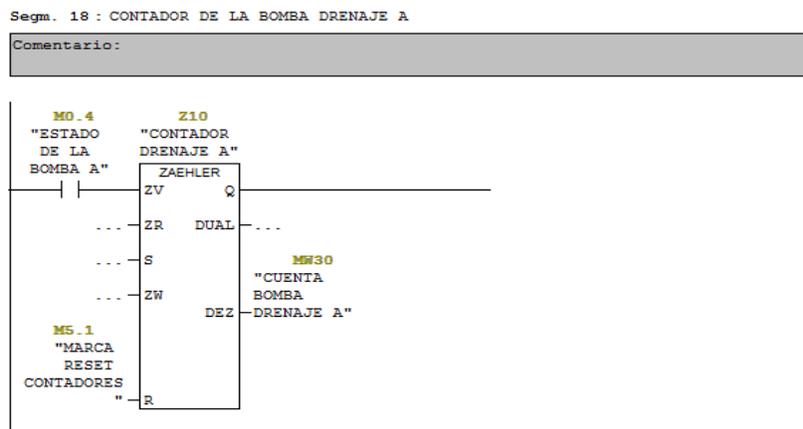
El siguiente comparador actúa cuando el nivel esta en los 1.7mts en el cual la bomba de drenaje A se enciende.



**Figura 4.18:** Comparador que permite encender la bomba de drenaje A. (STEP 7 SIEMNES)

**Fuente:** Investigador.

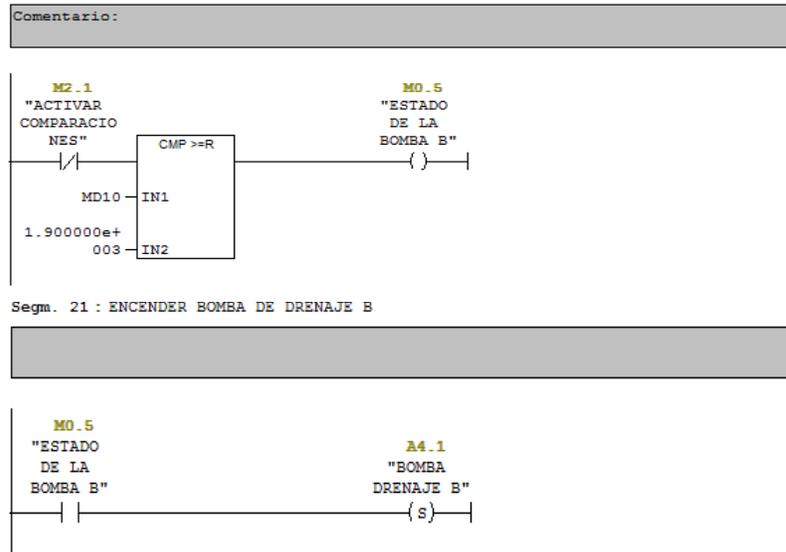
Después de encender la bomba de drenaje A se realizó un contador que permitirá mostrar en la HMI cuantas veces actuará la bomba de drenaje A. Figura 4.19.



**Figura 4.19:** Contador de la bomba de drenaje A. (STEP 7 SIEMNES)

**Fuente:** Investigador.

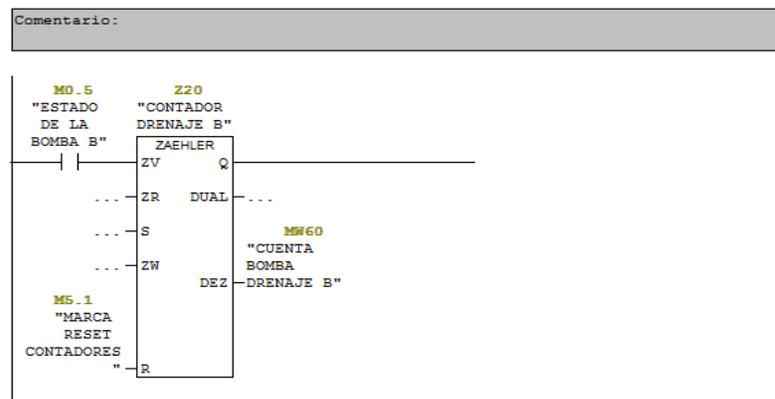
El siguiente comparador de la figura 4.20 permitirá que a los 1.9mts se encienda la bomba de drenaje B, mientras siga subiendo el nivel del agua en el pozo se irán encendiendo las bombas determinadas para dicha línea de programación.



**Figura 4.20:** Comparador que permite encender la bomba de drenaje B. (STEP 7 SIEMNES)

**Fuente:** Investigador.

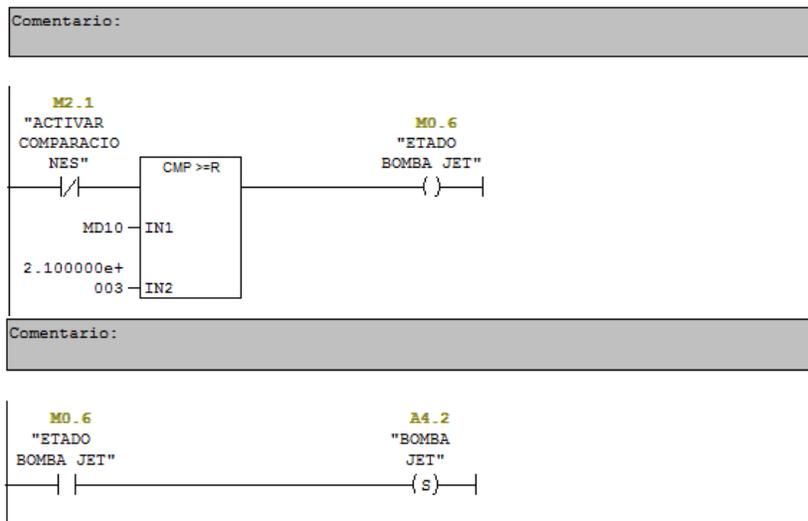
Al igual que para la bomba de drenaje A se realizó un contador para saber cuántas veces esta bomba B se encendió como se muestra en la figura 4.21.



**Figura 4.21:** Contador para la bomba de drenaje B. (STEP 7 SIEMNES)

**Fuente:** Investigador.

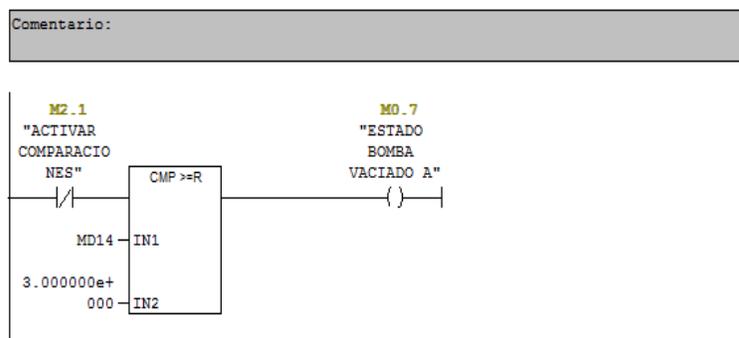
Este comparador permite que la bomba JET se encienda si el nivel del agua sube a los 2.1 mts. Figura 4.22



**Figura 4.22:** Bomba JET encendida. (STEP 7 SIEMNES)

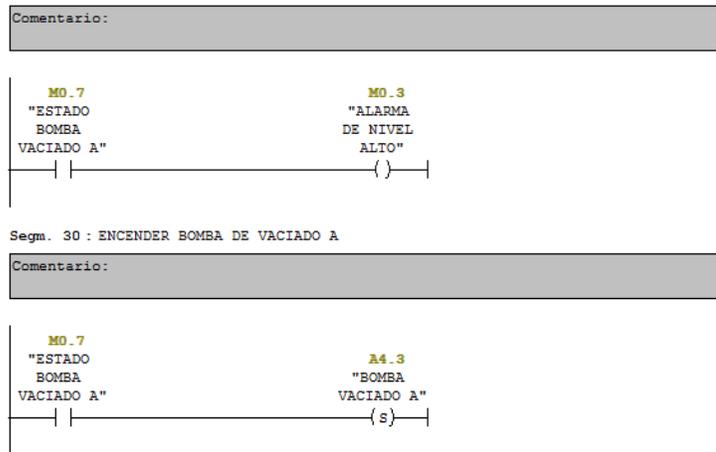
**Fuente:** Investigador.

Si el nivel sube hasta los 3 mts empiezan a actuar la bomba de vaciado A y también una alarma de nivel alto como se muestra en la figura 4.23 y 4.24



**Figura 4.23:** Contador para encender la bomba de vaciado A y la alarma de nivel alto. (STEP 7 SIEMNES)

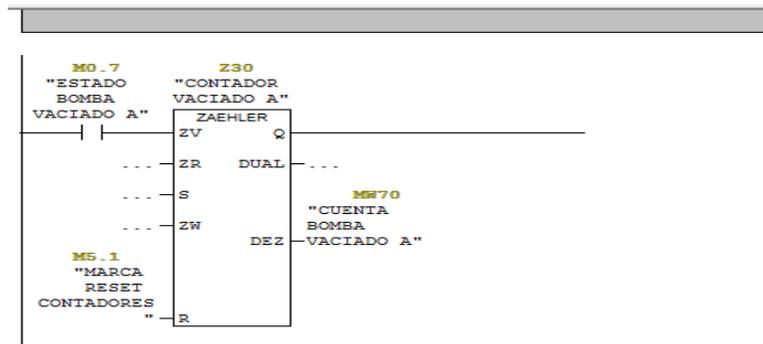
**Fuente:** Investigador.



**Figura 4.24:** Bomba de vaciado A encendida y Alarma de nivel alto. (STEP 7 SIEMNES)

**Fuente:** Investigador.

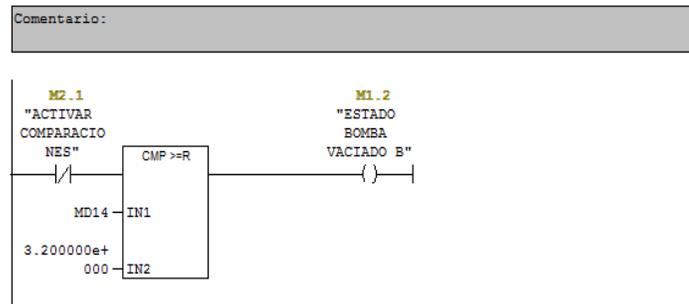
El contador para la bomba de vaciado A permitirá visualizar en la HMI cuantas veces se encendió. Figura 4.25.



**Figura 4.25:** Contador para la bomba de Vaciado A. (STEP 7 SIEMNES)

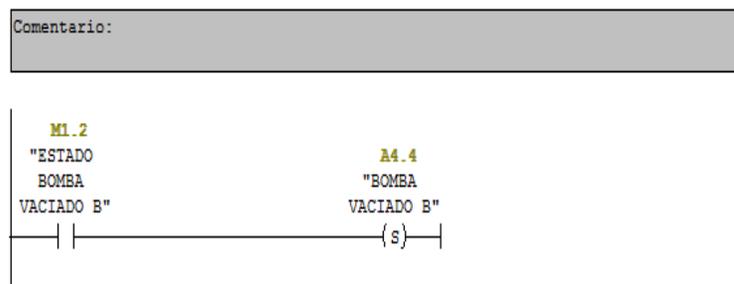
**Fuente:** Investigador.

El siguiente comparador permite que la bomba B de vaciado se encienda a los 3.2 mts.  
 Figura 4.26, 4.27



**Figura 4.26:** Comparador en los 2.3mts. (STEP 7 SIEMNES)

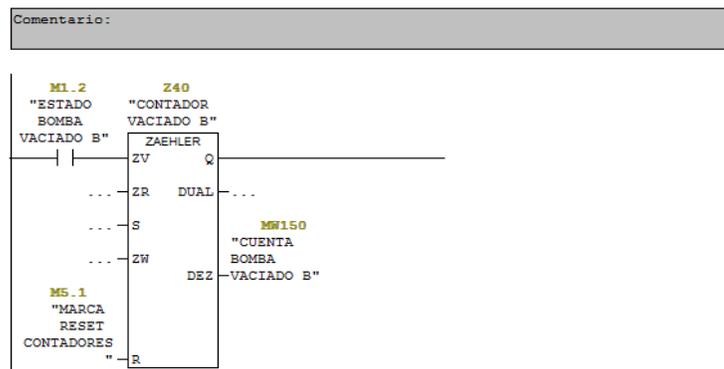
**Fuente:** Investigador.



**Figura 4.27:** Bomba de vaciado B encendida. (STEP 7 SIEMNES)

**Fuente:** Investigador.

Al igual que para la bomba de vaciado A para la de vaciado B se realizó un contador que visualizara cuantas veces se encendió en la HMI. Figura 4.28



**Figura 4.28:** Contador de la bomba de vaciado B. (STEP 7 SIEMNES)

**Fuente:** Investigador.

En la Tabla 4.3 se muestran las variables que se utilizaron para la programación.

**Tabla 4.3:** Tabla de variables STEP 7

Símbolo	Dirección	Tipo de dato
ALARMA 2 PERDIDA RANGO	A 4.7	BOOL
ACTIVACIÓN DE BOMBAS DRE	M 3.1	BOOL
ALARMA DE NIVEL ALTO	M 0.3	BOOL
ALARMA DE NIVEL MUY BAJO	M 0.2	BOOL
ALARMA 1 PERDIDA RANGO	A 5.1	BOOL
CUENTA BOMBA VACIADO B	MW 150	WORD
CUENTA ENTERO 16B	MW 50	INT
BOMBA DRENAJE A	A 4.0	BOOL
ETADO BOMBA JET	M 0.6	BOOL
ESTADO BOMBA VACIADO B	M 1.2	BOOL
CUENTA ENTERO VACIADO B	MW 200	INT
CUENTA ENTERO DRENAJE B	MW 65	INT
ACTIVACIÓN DE BOMBAS VAC	M 4.1	BOOL
RESTEAR CONTADORES	E 0.1	BOOL
BOMBA VACIADO B	A 4.4	BOOL
BOMBA VACIADO A	A 4.3	BOOL
CONTADOR DRENAJE a	Z 10	COUNTER
CONTADOR DRENAJE B	Z 20	COUNTER
MARCA RESET CONTADORES	M 5.1	BOOL
CUENTA BOMBA DRENAJE A	MW 30	WORD
ESTADO DE LA BOMBA A	M 0.4	BOOL
ESTADO DE LA BOMBA B	M 0.5	BOOL
CUENTA ENTERO VACIADO A	MW 80	INT
CUENTA BOMBA VACIADO A	MW 70	WORD
ACTIVAR SEGUNDO COMP	M 1.7	BOOL
ACTIVAR COMPARACIONES	M 2.1	BOOL
BOMBA JET	A 4.2	BOOL
BOMBA DRENAJE B	A 4.1	BOOL
CONTADOR VACIADO B	Z 40	COUNTER
CONTADOR VACIADO A	Z 30	COUNTER
ESTADO BOMBA VACIADO A	M 0.7	BOOL
ALARMA DE NIVEL MUY ALTO	M 1.5	BOOL
CUENTA BOMBA DRENAJE B	MW 60	WORD
SCALE	FC 105	FC 105

**Fuente:** Investigador

### 4.3.6 Interface hombre máquina (HMI)

Con SIMATIC WinCC se pudo controlar el proceso del sistema de control y mantener en funcionamiento ciertas actividades del mismo ya que SIMATIC HMI ofrece un campo amplio y abierto de posibilidades para realizar múltiples tareas de operador.

Los sistemas HMI sencillos son los paneles táctiles o incorporados en las cercanías de las máquinas a operar.

Las señales de entrada del proceso designado son conducidas a la interface Hombre-Máquina por medio de dispositivos de entrada/salida en el ordenador, PLC los cuales deben tener una comunicación acorde con el HMI.



**Figura 4.29:** Interface Hombre Máquina (HMI).

**Fuente:** SIEMENS Simatic WinCC manual [16].

El sistema de Interface Hombre Máquina (HMI) tiene las siguientes funciones:

**Escenificar Procesos.-** Los procesos realizados se presentarán en el panel de operador. Si estos son modificados, se actualizará su visualización en el panel.

**Control de Procesos.-** Se controlarán los procesos de la interface gráfica de usuario.

**Dar Avisos.-** Los avisos estarán programados para aparecer siempre y cuando ocurra un error en el sistema o un cambio crítico en el mismo.

**Archivar valores de procesos y avisos.-** El HMI puede archivar avisos y valores de proceso. De esta forma se documentará el transcurso del proceso y, posteriormente, también será posible acceder a datos de funcionamiento.

**Documentar valores de proceso y avisos.-** Dentro del sistema HMI será posible visualizar advertencias de errores y valores de nivel, etc.

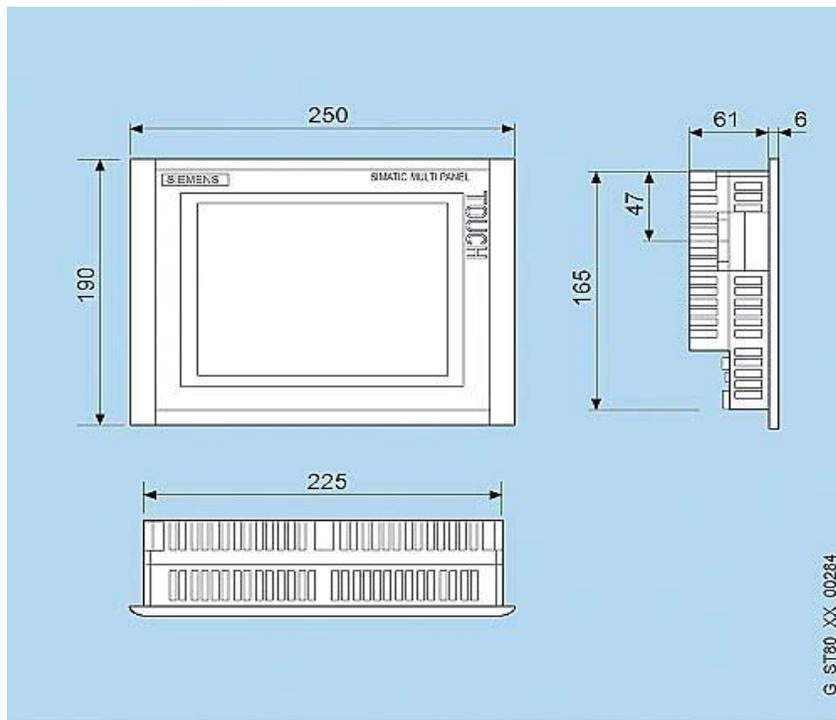
**Administra parámetros de proceso y parámetros de máquina.-** El HMI almacena los parámetros de proceso y de máquina de “Recetas”. Dichos parámetros se podrán transferir, por ejemplo, desde el panel de operador al autómata en un solo paso de trabajo para que la producción cambie a otra gama de productos.

**a) Simatic MP 277 8” Touch**

REFERENCIA: 6AV6 643-0CB01-1AX1

Para el proyecto mencionado se utilizó una Interface Hombre Máquina (HMI) de SIEMENES de 8 pulgadas con una con las siguientes medidas mostradas en la figura 4.30

Además de las características que se muestran a continuación.



**Figura 4.30:** Medidas de la HMI utilizada.

**Fuente:** Investigador.

## b) Descripción

Los paneles de operador se basan en el innovador sistema operativo Microsoft Windows CE 5.0. Los Multi Panel MP 277 ofrecen una funcionalidad variable, gran rendimiento y una ventajosa relación calidad-precio.

Los paneles disponen de:

- Interfaz PROFIBUS
- Interfaz Ethernet para la conexión de PROFINET
- 2 puertos USB
- Pantalla TFT con hasta 64K de colores

### c) Características Técnicas

**Tabla 4.4:** Características Técnicas HMI.

Tensión de alimentación	
Tensión de Alimentación	24 V DC
Rango permitido	+20,4 V a +28,8VDC
Tipo de corriente	DC
Memoria	
TIPO	Flash/RAM
Capacidad	128Mbyte
Display	
Pantalla	Pantalla TFT de 8 pulgadas, 64K colores
Resolución	640 x 480 puntos de imagen
Elementos de Control	Pantalla táctil analógica resistiva
Interface	
Interfaces	1 x RS422 1 x RS 485 1 x ETHERNET
Slot para tarjeta Multi Media	1 x Slot para tarjeta Multi Media
USB	2 puertos USB
Dimensiones y peso	
Ancho	226 mm
Alto	166 mm
Profundo	61 mm
Peso	1.61 Kg

**Fuente:** Investigador.

### d) Estructura del panel de mando MP 277 8" Touch

A continuación se muestran las imágenes detallando la vista frontal, lateral, inferior y posterior de SIMATIC MULTI PANEL HMI.

- **Vista Frontal**



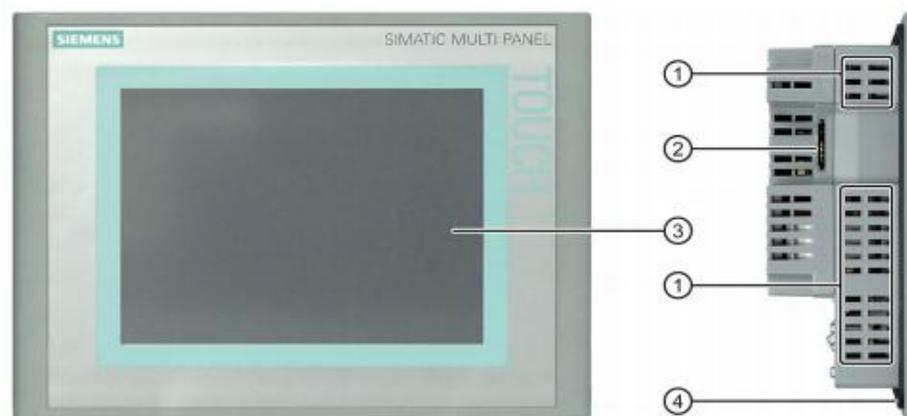
**Figura 4.31:** Vista Frontal HMI.

**Fuente:** SIEMENS Industry manual HMI MP 277[18].

1. Display con pantalla táctil

El MP 277 Touch se maneja mediante la pantalla táctil. Todos los objetos de control necesarios para el manejo se representan en el Display tras arrancar el panel de operador.

- **Vista frontal y lateral**



**Figura 4.32:** Vista frontal y lateral HMI.

**Fuente:** SIEMENS Industry manual HMI MP 277 [18].

1. Escotaduras para clips de montaje.
2. Ranura para una tarjeta de memoria.
3. Display/pantalla táctil.
4. Junta de montaje.

- **Vista Inferior**



**Figura 4.33:** Vista inferior HMI.

**Fuente:** SIEMENS Industry manual HMI MP 277 [17].

1. Escotaduras para clips de montaje
2. Interfaces

- **Vista Posterior**



**Figura 4.34:** Vista posterior HMI.

**Fuente:** SIEMENS Industry manual HMI MP 277 [17].

1. Placa de características.
2. Ranura para una tarjeta de memoria.
3. Interruptor DIL.
4. Nombre de la interfaz.
5. Elementos de fijación para alivio de tracción.

- **Puertos**



**Figura 4.35:** Puertos HMI

**Fuente:** SIEMENS Industry manual HMI MP 277 [17]

1. Conexión para la fuente de alimentación
2. Puerto RS 422/RS485
3. Puerto Ethernet
4. Puerto USB

#### 4.3.7 Conectar y probar panel de operador

Al conectar la fuente de alimentación el Display se iluminará, durante el arranque se visualiza una barra de progreso, si el panel de operador no arranca es posible que los cables estén intercambiados en el borne de conexión a red.

Tras arrancar el sistema operativo se visualiza el Loader



**Figura 4.36:** Loader.

**Fuente:** SIEMENS Industry manual HMI MP 277^ [17].

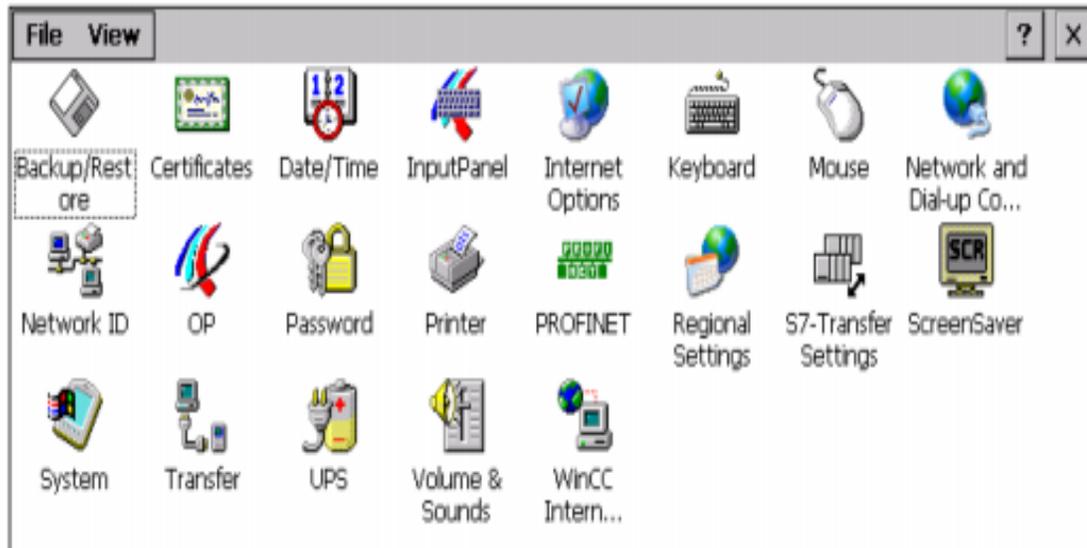
En el Loader se pueden observar los siguientes botones:

**Transfer:** Es utilizado para poder transferir un proyecto nuevo a la pantalla de la HMI. El modo de operación transfer solo se puede activar si está activado por lo menos un canal de datos para la transferencia.

**Start:** Este botón se puede iniciar el proceso de un proyecto existente en el panel de operador. Si no realiza ninguna acción, el proyecto existente en el panel de operador se iniciará automáticamente al cabo de un tiempo de retardo.

**Control Panel:** Se utiliza para configurar diversos ajustes como la fecha y hora, protector de pantalla, configuración regional, ajustes de transferencia, etc.

**Taskbar:** Se activa la barra de tareas con el menú inicio de Windows.



**Figura 4.37:** Pantalla Control Panel.

**Fuente:** SIEMENS Industry manual HMI [17].

#### **4.3.8 WinCC flexible 2008**

WinCC Flexible 2008 es uno de los productos de software desarrollados por SIMATIC HMI para implementar aplicaciones a pie de máquina.

WinCC ofrece un aumento considerable de la eficacia de configuración y nuevos conceptos de automatización.

En los ámbitos a pie de proceso de plantas y maquinaria, así como en máquinas de serie, SIMATIC WinCC flexible permite aumentar aún más la productividad en la creación de proyectos, implementar conceptos de automatización y de HMI innovadores, aumentar la disponibilidad de máquinas y plantas gracias a nuevas filosofías de servicio técnico, acceso seguro y flexible, configuración de paneles de operador SIMATIC HMI.

La gama de paneles de mando abarca desde los Micro Panel, que están pensados para aplicaciones con controladores SIMATIC S7-300, hasta soluciones locales con SIMATIC Panel PC o IPC.

WinCC flexible es sinónimo de la máxima eficiencia en configuración: librerías con objetos preprogramados, bloques gráficos reutilizables, herramientas inteligentes, hasta incluso la traducción de textos automatizada para proyectos multilingües.

Para la configuración de los paneles de Siemens se utilizó la herramienta de ingeniería WinCC flexible 2008.

WinCC flexible es el software HMI para conceptos de automatización del ámbito industrial con proyección de futuro y una ingeniería sencilla y eficaz.

Ventajas:

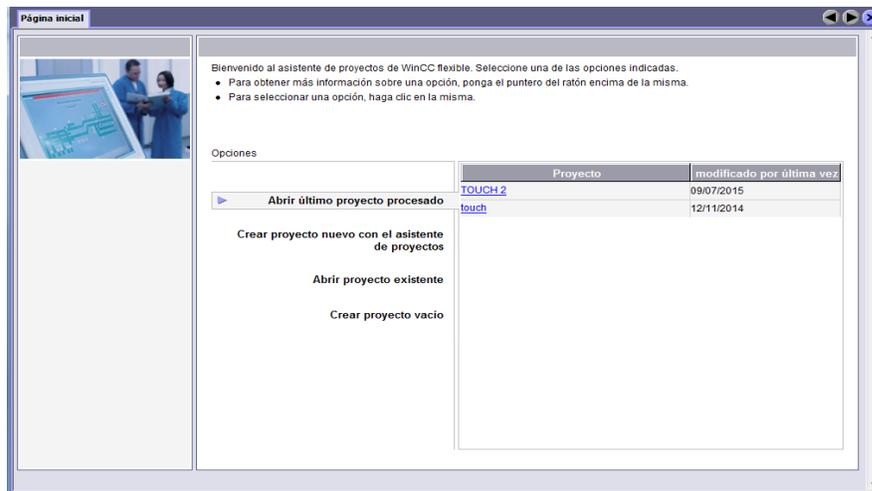
- Sencillez
- Claridad
- Flexibilidad

#### ***4.3.8.1 Descripción General del programa***

Para iniciar con un proyecto nuevo en SIMATIC WinCC flexible 2008 damos doble clic en el icono del mismo.



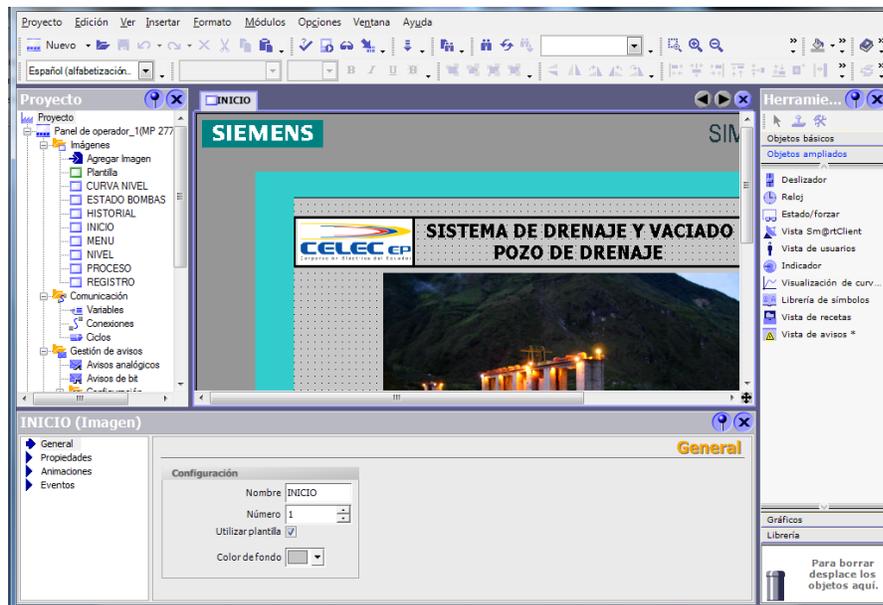
A continuación aparecerá la página principal de WinCC donde seleccionamos Abrir el último proyecto procesado. En este caso es “TOUCH2”



**Figura 4.38:** Página Principal WinCC.

**Fuente:** Investigador.

Al abrir el proyecto ya existente aparecerá la estación de trabajo WinCC flexible en la pantalla del equipo de configuración una vez ya preseleccionados los equipos a utilizarse en el proyecto. Esto se muestra en la figura 4.34



**Figura 4.39:** Vista general de la pantalla principal.

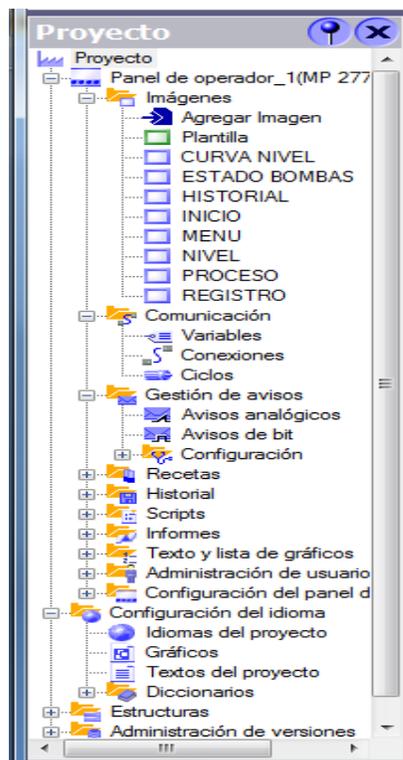
**Fuente:** Investigador.

En la parte central de la figura se puede observar el área de trabajo principal, en la parte inferior del área de trabajo se pueden ver la ventana de propiedades de la misma a la derecha se encuentra la ventana de herramientas y la izquierda el PROYECTO, el número de imágenes creadas y las configuraciones pertinentes del mismo.

### *Ventana del proyecto*

En esta ventana se puede ver la edición del proyecto. Todos los componentes y editores disponibles de un proyecto se visualizan en la ventana en forma de árbol y se pueden abrir desde ella.

Se puede observar el nombre del proyecto seguido del Panel de operador seleccionado, además de las distintas imágenes creadas.

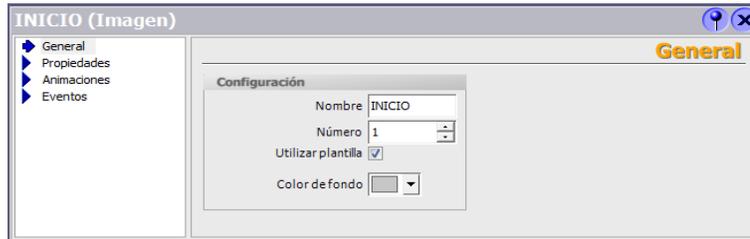


**Figura 4.40:** Ventana de proyecto.

**Fuente:** Investigador.

### *Ventana de propiedades*

En la ventana de propiedades se pueden modificar las propiedades del objeto seleccionado en el área de trabajo. El contenido de la ventana dependerá del objeto seleccionado.



**Figura 4.41:** Ventana de propiedades.

**Fuente:** Investigador.

### *Ventana de Herramientas*

En la ventana de herramientas se utilizará diversos objetos para la creación de las pantallas en los cuales encontramos: Objetos Básicos, Objetos ampliados, Gráficos y Librerías



**Figura 4.42:** Ventana de Herramientas.

**Fuente:** Investigador.

### 4.3.9 Sensor Ultrasónico PROSONIC FMU 42

El sensor PROSONIC FMU 42 es compacto de dos hilos o de cuatro hilos se puede utilizar en aplicaciones con tanques de almacenamiento, agitadores, sobre las existencias y cintas diagnóstico simple. Función de alineación para la conversión del valor medido en cualquier unidad de longitud, volumen o caudal.



**Figura 4.43:** Sensor FMU42 Endress Hauser.

**Fuente:** Manual Endress Hauser FMU # [18].

El sensor utilizado para este proyecto es un sensor ultrasónico para medir nivel PROSONIC FMU 42 Endress Hauser con las siguientes características y aplicaciones:

#### *Aplicación:*

- ✓ Medición de nivel continuo u no invasiva en fluidos, pastas, lechadas y sólidos áridos pulverulentos o granulados.
- ✓ Medición de Caudal en canales abiertos y vertederos
- ✓ Integración del sistema mediante:
  - HART (estándar), 4...20mA
  - PROFIBUS PA
  - Fieldbus FOUNDATION

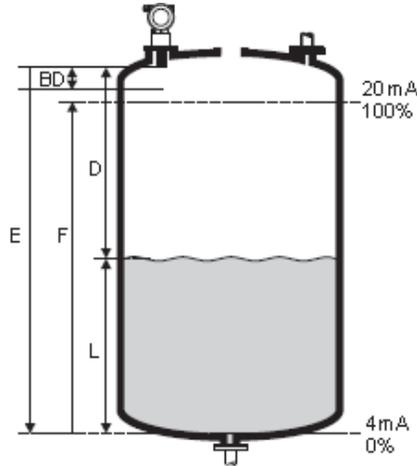
- ✓ Rango de medida Máximo  
FMU 42:  
10 m para fluidos/5m para materiales áridos

### ***Características y ventajas***

- ✓ Puesta en marcha fácil y rápida mediante ajuste en campo guiado por menús en la pantalla indicadora con cuatro líneas de texto.
- ✓ Curvas envolventes en el indicador de campo para diagnósticos sencillos.
- ✓ Acceso a distancia fácil para la configuración, diagnóstico y documentación sobre el punto de medida mediante el software de configuración T o F Tool suministrado.
- ✓ Apto para zonas de peligro de deflagración por materiales gaseosos o pulverulentos.
- ✓ Función de linealización para la conversión de los valores de medida en cualquier unidad de longitud, volumen o caudal.
- ✓ Método de medición no invasiva que minimiza los requisitos de servicio.
- ✓ Sensor de temperatura integrado para la corrección automática del valor de la velocidad del sonido según la temperatura.

**Principio de Medición**

El principio de medición del FMU 42 está especificado de la siguiente manera:



**Figura 4.44:** Principio de Medición.

**Fuente:** Manual Endress Hauser FMU # [18].

Donde:

**E:** Distancia de vacío

**F:** span (distancia de lleno)

**D:** distancia entre membrana del sensor y superficie del producto

**L:** nivel

**BD:** Distancia de bloqueo

**Tabla 4.5:** Tabla de mediciones FMU 42.

Sensor	BD	Rango máx. con líquidos	Rango máximo con áridos
<b>FMU 42</b>	0.4m	10m	5m

**Fuente:** Manual Endress Hauser FMU # [18].

### ***Procedimiento basado en el tiempo de retorno de la señal***

El sensor emite impulsos ultrasónicos hacia la superficie del producto. Al incidir los impulsos sobre la superficie, éstos se reflejan y vuelven al sensor. El sensor determina el tiempo  $t$  que transcurre entre la emisión y la recepción de un impulso. El instrumento utiliza este tiempo  $t$  y la velocidad de sonido  $c$  para calcular la distancia  $D$  entre la membrana del sensor y la superficie del producto, siendo

$$D = c \times t/2$$

Dado que el instrumento conoce la distancia de vacío  $E$  indicada por el usuario, puede determinar el nivel a partir de:

$$L = E - D$$

Por medio de un sensor de temperatura integrado, el equipo tiene asimismo en cuenta los cambios que sufre la velocidad de sonido debido a las variaciones de temperatura.

### ***Calibración***

Hay que introducir la distancia de vacío  $E$  y el span  $F$  para calibrar el equipo

### ***Características de funcionamiento***

En la siguiente tabla se muestran las características de funcionamiento del FMU 42

**Tabla 4.6:** Características de funcionamiento FMU 42.

<b>Tiempo de Reacción</b>	
FMU 42 Equipos a 2 hilos	0.5s
<b>Condiciones de trabajo de referencia</b>	
Temperatura	+20°C
Presión	1.013 mbar abs.
Humedad	50%
Forma del deposito	Techo plano
Propiedad del medio	Líquido
Condiciones del proceso	Superficie en calma
<b>Resolución en el valor medido</b>	
FMU 42	2 mm
Frecuencia de impulso	Máx 0.5Hz dos hilos
Error de medición	± 4 mm o 0,2% de la distancia fijada para la medición
Longitud máx.	10 m

**Fuente:** Manual Endress Hauser FMU # [18].

#### **4.3.10 Descripción General del Proceso del Sistema de Drenaje**

##### ***Propósito General del Sistema***

El propósito general del sistema de Control y Supervisión es el de servir de apoyo al sistema actual valiéndose de nuevas tecnologías existentes en el mercado siendo una

de estas el control automatizado mediante PLC y HMI además de permitir actuar a un sensor ultrasónico que facilita el trabajo al momento de medir el nivel del pozo.

### ***Descripción del proceso***

1. El Prosonic FMU 42 tiene un alcance de 10m. Ubicado en el pozo de drenaje con un con una frecuencia de trabajo aproximada de 70KHz. y un ángulo de emisión de 9°, este sensor estará actuando a los niveles medios de los niveles censados por el sistema actual ya que éste estará funcionando como un sistema de respaldo al actual enviando los datos a un PLC que comandará el sistema.
2. Si el sensor ultrasónico FMU 42 detecta un nivel muy bajo actuará al nivel medio al que activa una alarma (1b2) Detectando un nivel de agua de 1100mm las bombas de drenaje 88WHM- A/B y JET estarán apagadas.
3. Mientras el sensor detecte un nivel de agua de 1700mm se activará la bomba de drenaje 88WHM-A.
4. Si el nivel sube a los 1900mm se enciende la bomba de drenaje auxiliar 88WHM-B.
5. Si el sensor detecta un nivel de 2100mm actúa la bomba JET encendiéndose para ayudar a las dos bombas de drenaje.
6. Si el nivel sigue subiendo y llega a los 3350mm se enciende una alarma.
7. Al llegar a darse ésta alarma en los 3200mm el sensor ultrasónico hará actuar a la bomba de vaciado 88WDM-B.

8. Si el nivel llega a los 3000mm se enciende la bomba 88WDM-A y se enciende una alarma de vaciado.
9. Una vez que el sensor detecta 2300mm de nivel de agua las bombas accionadas con anterioridad 88WDM A/B dejan de actuar.
10. En los niveles más bajos (1800mm) empieza actuar una alarma la cual permitirá repetir el proceso.
11. El nivel sigue subiendo y llega a los 3350mm se enciende una alarma. Al llegar a darse ésta alarma en los 3200mm el sensor ultrasónico hará actuar a la bomba de vaciado 88WDM-B.
12. Si el nivel llega a los 3000mm se enciende la bomba 88WDM-A y se enciende una alarma de vaciado.
13. Si el sensor detecta 2300mm de nivel de agua las bombas accionadas 88WDM A/B dejan de actuar.
14. En los niveles más bajos 1800mm empieza actuar una alarma de nivel que permitirá corregir dicho daño en el sistema.

#### **4.4 Montaje de Equipos**

Para el montaje de los equipos se realizó un análisis previo de los planos existentes del sistema de drenaje para visualizar los distintos puntos de conexión que manejan el sistema de drenaje actual para proceder a la conexión de los equipos a utilizarse además de verificar la buena ubicación de los equipos de acuerdo a la comodidad del usuario en este caso los operadores del sistema.

Este montaje fue hecho en el piso de máquinas de la casa de máquinas en los tableros de control donde se encuentra ubicado el sistema de drenaje como se indica en la figura 4.45.



**Figura 4.45:** Tablero de control del sistema de drenaje.

**Fuente:** Investigador.

Para realizar el montaje de la HMI se realizaron las medidas pertinentes del equipo para proceder a hacer la perforación del tablero realizada por el personal mecánico de HIDROAGOYAN.



**Figura 4.46:** Medidas para perforación instalación HMI.

**Fuente:** Investigador.



**Figura 4.47:** Perforación de la cavidad para la HMI.

**Fuente:** Investigador.

Una vez realizada la perforación se instaló la HMI en la cavidad realizando las conexiones pertinentes de la fuente de alimentación y el cable PROFIBUS



**Figura 4.48:** Tablero con la HMI instalada.

**Fuente:** Investigador.



**Figura 4.49:** HMI parte posterior.

**Fuente:** Investigador.

Dentro del tablero de control se instaló el PLC en un rack o riel ya colocado con anterioridad para obtener facilidad de instalación de cableado respecto a los otros componentes de instalación como los relés a los cuales se van a conectar dicho cableado.



**Figura 4.50:** Rack para la instalación del PLC.

**Fuente:** Investigador.

Después de haber terminado con la instalación del rack se instaló el PLC en el mismo, al igual que el cableado necesario para alimentar la fuente de alimentación y el cableado para interconectar los módulos del PLC

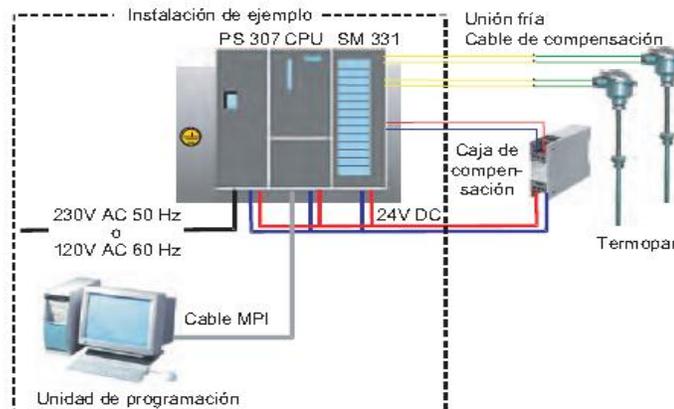


**Figura 4.51:** PLC instalado en el rack.

**Fuente:** Investigador.

### *Montaje de la instalación del PLC*

Para la instalación y montaje del PLC se seguirán los siguientes pasos:



**Figura 4.52:** Ejemplo de elementos de instalación.

**Fuente:** Manual SIEMENS S7 300 [16].

- ✓ Cableado de la fuente de alimentación y la CPU
- ✓ Cablear el módulo analógico
- ✓ Asignar estándares de transductores de medida y termorresistencias

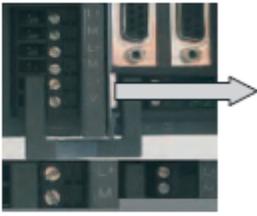
A continuación se muestra el montaje de la fuente de alimentación y la CPU



**Figura 4.53:** Cableado de la fuente de alimentación y la CPU.

**Fuente:** Manual SIEMENS S7 300[16].

En la siguiente imagen se muestran las instrucciones necesarias para realizar el cableado de la fuente de alimentación y la CPU del PLC.

Paso	Gráfico	Descripción
1		Abra las puertas frontales de la fuente de alimentación y de la CPU.
2		Afije la abrazadera del alivio de tracción en la fuente de alimentación.
3		Pele el cable de red, dado el caso aplique punteras (en cables de varios hilos) y conéctelo a la fuente de alimentación.
4		Atornille la abrazadera de alivio de tracción.
5		<p>Inserte dos cables de conexión entre la fuente de alimentación y la CPU y atornillelos.</p> <p>La corredera de puesta a tierra de la CPU <b>no</b> debe modificarse, puesto que el SM331 ya está aislado galvánicamente.</p> <p>Información sobre la corredera de puesta a tierra de la CPU:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Oprimir: sin aislamiento galvánico (estado de fábrica)</li> <li>• Extraer: con aislamiento galvánico.</li> </ul>
6		<p>Compruebe si el selector de la tensión de red está en la posición correcta. Tensión de red</p> <p>La fuente de alimentación está ajustada de fábrica a una tensión de red de 230 V AC. Para modificar este ajuste, proceda de la manera siguiente: Retire la tapa protectora con un destornillador, ajuste el selector a la tensión de red existente y coloque de nuevo la tapa protectora.</p>

**Figura 4.54:** Instrucciones para cableado de la fuente de alimentación y la CPU.

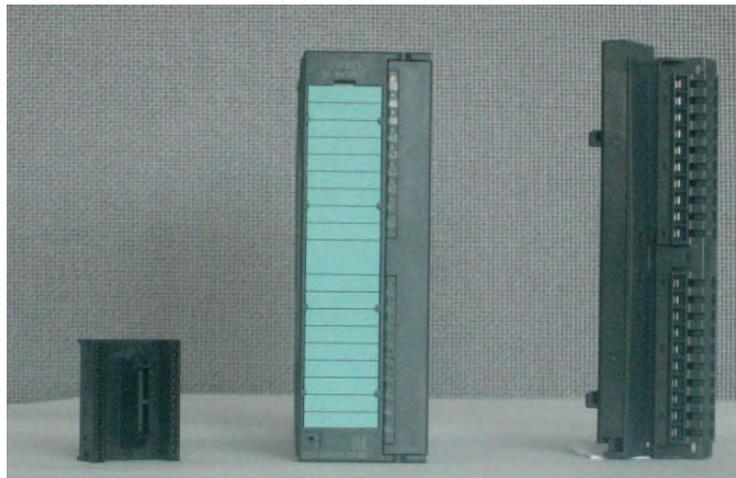
**Fuente:** Manual SIMENES S7 300 [16].

### *Montaje del módulo analógico SM331*

El módulo analógico SM331 es un módulo analógico universal diseñado para los casos de aplicación más usuales.

El tipo de medida deseado debe ajustarse directamente en el módulo mediante los adaptadores del rango de medida.

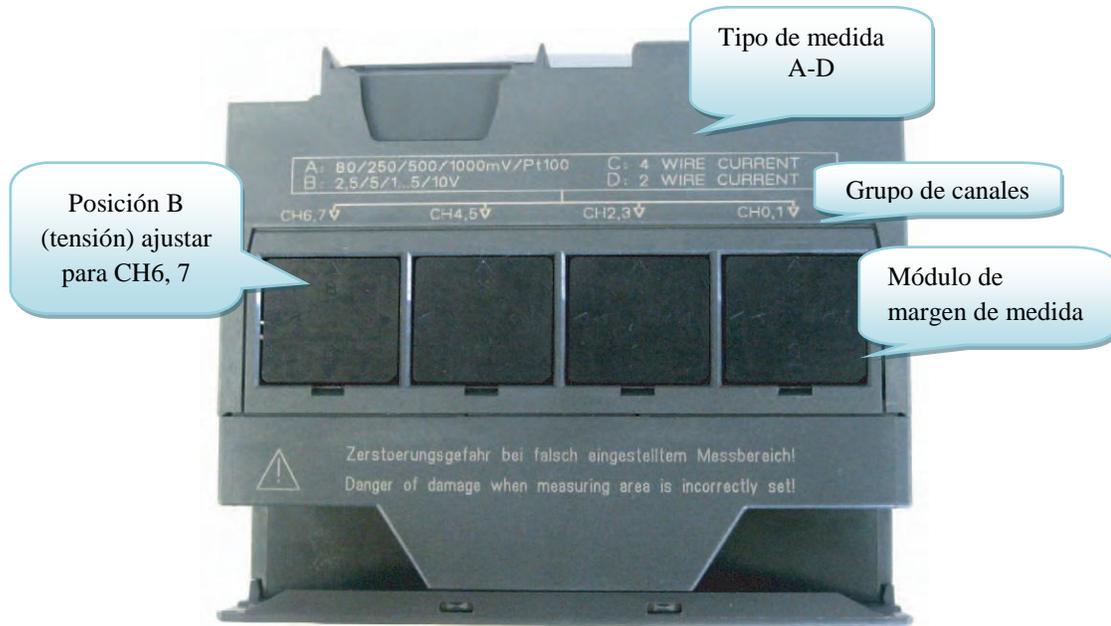
- ✓ 8 entradas en 4 grupos de canales (dos entradas del mismo tipo por casa grupo)
- ✓ Resolución del valor medido configurable por cada grupo de canales.
- ✓ Rango de medida ajustable para cada grupo de canales
  - Tensión
  - Intensidad
  - Resistencia
  - Temperatura
- ✓ Alarma de diagnóstico permanente
- ✓ Dos canales con alarmas de valor limite



**Figura 4.55:** Módulo de entradas analógicas.

**Fuente:** [cache.industry.siemens.com](http://cache.industry.siemens.com).

El módulo SM 331 posee a un lado del módulo 4 adaptadores del rango de medida (uno por grupo de canales) Cada adaptador puede enchufarse en 4 posiciones distintas (A, B, C ó D).



**Figura 4.56:** Adaptadores del rango de medida (tensión).

**Fuente:** Manual SIEMENS S7 300 [16].

Posiciones posibles del rango de medida:

**Tabla 4.7** Posiciones del rango de medida.

Posición	Tipo de medida
A	Termopar/Medida de resistencia
B	Tensión ajuste de fábrica
C	Intensidad (Transductor a 4 hilos)
D	Intensidad (Transductor a 2 hilos)

**Fuente:** Manual SIEMENS S7 300 [16].

En la siguiente figura se muestra las instrucciones para remover los adaptadores de rango de medida e instalarlos de manera que se requiera.

Paso	Gráfico	Descripción
1		Utilizando un destornillador, extraiga los dos adaptadores del rango de medida.
2		Gire los adaptadores a la posición deseada.

**Figura 4.57:** Instrucciones para el manejo de los rangos de medida.

**Fuente:** Manual SIEMENS S7 300 [16].

Una vez que los adaptadores se encuentran en la posición deseada se vuelven a poner en el módulo en este caso están en la posición D que es la señal de 2 hilos.

Ya que está listo el módulo de entradas analógicas se produce a montarlo sobre el rack de instalación como se muestra en la figura 4.51

Paso	Gráfico	Descripción
1		<p>Montaje del SM331:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Enganchar el SM331 en el perfil soporte</li> <li>• Desplazarlo hacia la izquierda hasta la CPU</li> <li>• Abatirlo hacia abajo</li> <li>• y atornillarlo por abajo al perfil soporte</li> </ul>
2		<p>Montaje del conector frontal:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Oprimir el botón superior del conector frontal</li> <li>• Insertar el conector en el módulo hasta que el botón del conector quede enclavado en la posición superior.</li> </ul>

**Figura 4.58:** Montaje del modulo de entradas analógicas.

**Fuente:** Manual SIEMENS S7300 [16].

### *Montaje del módulo de salidas*

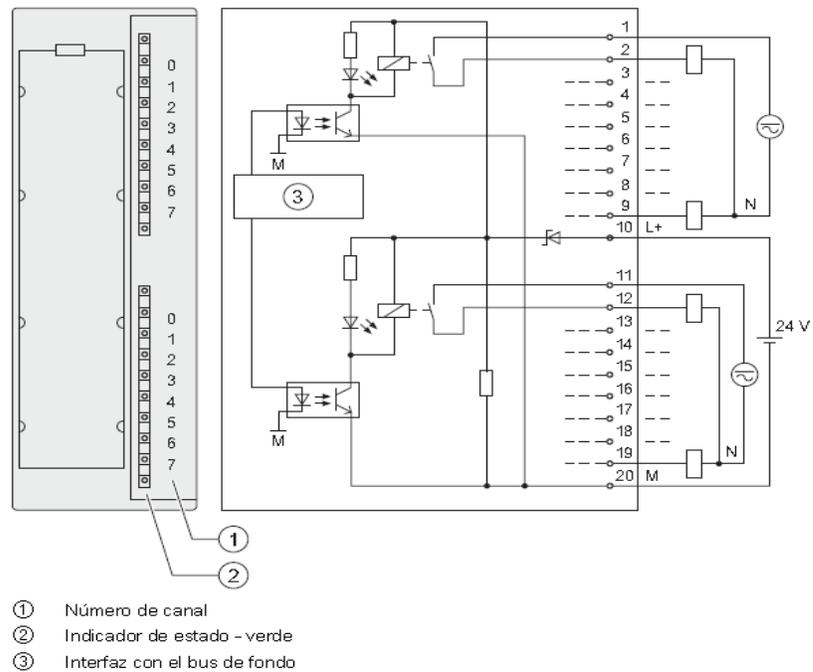
Los módulos de salidas digitales convierten las señales internas en señales externas adaptadas al proceso. En el caso de conectar electroválvulas, contactores, motores, lámparas, etc., se requiere de uno de estos módulos.

### **Características**

El módulo SM 322; DO 16 x Rel. AC 120/230 V se distingue por las características siguientes:

- 16 salidas, con aislamiento galvánico en grupos de 8
- Tensión de carga de 24 V a 120 V DC, de 24 V a 230 V AC

- Adecuado para electroválvulas, contactores, arrancadores de motor, pequeños motores y lámparas de señalización tanto de corriente continua como alterna



**Figura 4.59:** Esquema eléctrico del módulo de salidas.

**Fuente:** Manual SIEMENS S7 300[16].

Una vez instalado el PLC se hizo el cableado pertinente de los módulos la fuente de la alimentación y la HMI respectivamente utilizando borneras para riel DIN y facilitar el cableado. Además de realizar el cableado en el mismo de válvulas para la conexión del sensor.



**Figura 4.60:** PLC cableado.

**Fuente:** Investigador.

Después de haber hecho el cableado respectivo en el PLC y hacer la conexión con la HMI se revisaron las conexiones para verificar que no haya ningún cable sin conectar y se pueda energizar los equipos.



**Figura 4.61:** PLC energizado.

**Fuente:** Investigador.

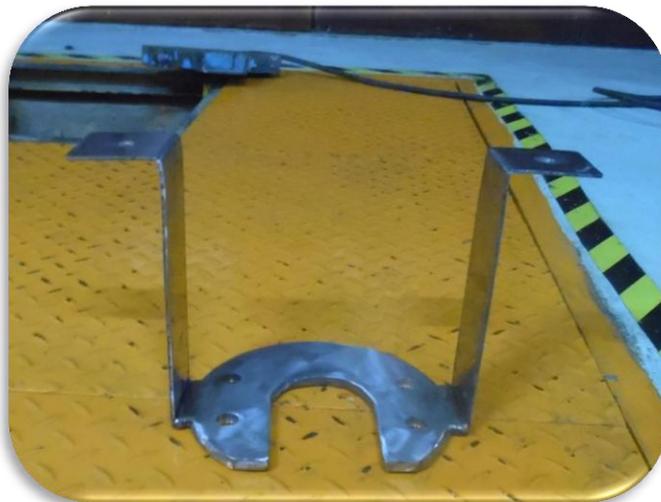


**Figura 4.62:** HMI energizada.

**Fuente:** Investigador.

### ***Montaje del Sensor FMU 42***

Para la instalación del sensor primero se procedió a realizar el soporte para después instalarlo dentro del pozo de drenaje y vaciado.



**Figura 4.63:** Soporte para el sensor FMU 42.

**Fuente:** Investigador.

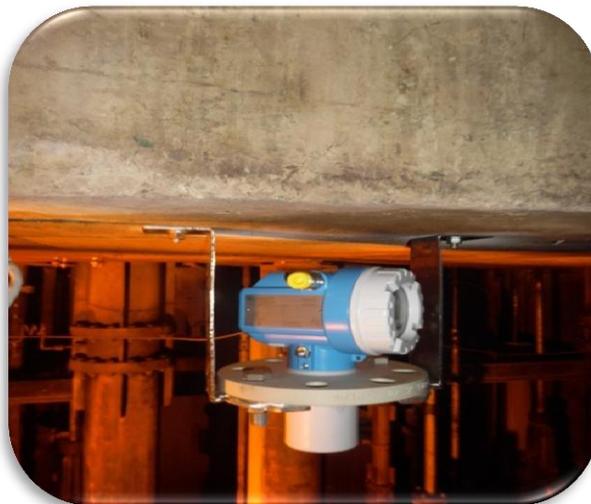
Para realizar el montaje del sensor dentro del pozo primero se puso el sensor sobre el soporte para verificar que este bien y no tengamos inconvenientes con el proceso de instalación del mismo.



**Figura 4.64:** Sensor sobre el soporte.

**Fuente:** Investigador.

Después de verificar que el soporte estaba bien para el sensor se montó el soporte junto con el sensor dentro del pozo.



**Figura 4.65:** Sensor montado dentro del pozo.

**Fuente:** Investigador.

### ***Potencia consumida por el sistema***

#### **Fuente de poder**

Voltaje: 24V

Corriente Total: 5 A

Potencia: 120W

Consumo Interno: 18 W

Potencia absorbida: 138W

#### **CPU 314**

Corriente: 650mA

Voltaje: 24V

Potencia de disipación: 4W

$P = V \times I$

$P = 24V \times 24V$

$P = 15,6 \text{ W} + 4W$

$P = 19,6 \text{ W}$

#### **Módulo de entradas analógicas**

Tensión de carga 2 hilos: 30mA

Corriente de alimentación: 60mA

Bus de fondo: 50mA

Potencia de disipación: 1W

$P = V \times I$

$I = 0.3A + 0.6 A + 0.5A$

$I = 0.14 \text{ A}$

$P = 0.14 \times 24V$

$P = 3.36 \text{ W} + 1W$

$P = 4.36 \text{ W}$

### **Modulo de Salidas Digitales**

Tensión de alimentación: 250mA

Bus de fondo: 100mA

Corriente total: 350mA

Potencia disipada: 4.5W

$$I = 0.25 + 0.10 = 0.35A$$

$$P = 0.35 \times 24V$$

$$P = 8.4 W + 4.5W$$

$$P = 12.9 W$$

### **HMI**

Consumo de corriente: 600mA

Voltaje: 24V

$$P = 0.6 \times 24$$

$$P = 14,4W$$

### **Potencia total consumida**

$$PT = 12.9 + 4.36 + 14.4 + 19.6 + 18 = 69,26W$$

$$PT = 69,26W$$

## 4.5 Pruebas de funcionamiento

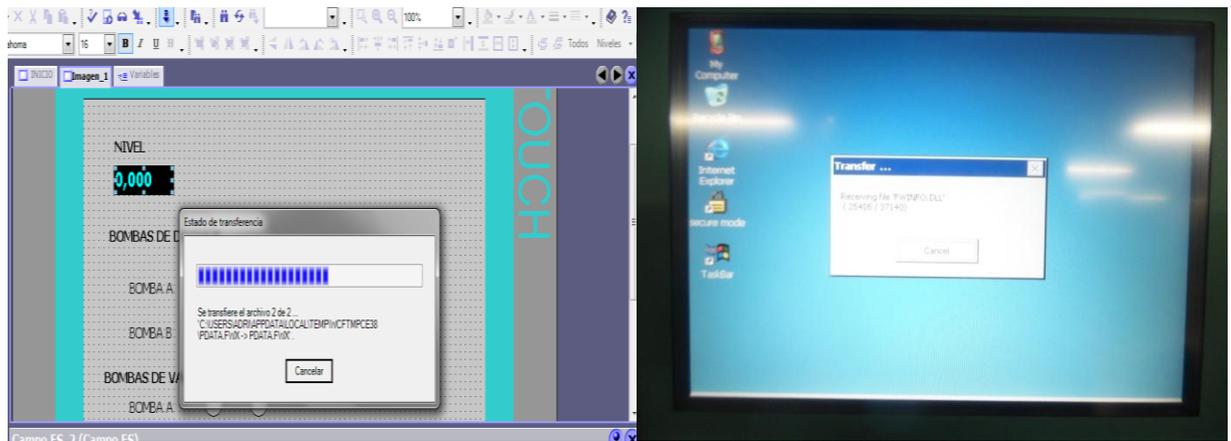
Para realizar las pruebas de funcionamiento primero se cargó el programa al PLC y a las pantallas a la HMI.



- 1.- En la figura 4.66 se muestra la imagen de un computador en el cual se realizaron las programaciones respectivas del PLC y HMI
- 2.- También se muestra el PLC conectada a la PC para realizar la carga de los programas.

**Figura 4.66:** Carga del programa al PLC.

**Fuente:** Investigador.



**Figura 4.67:** Transferencia de las pantallas a la HMI.

**Fuente:** Investigador.

Después de cargar el programa y las pantallas se realizaron las pruebas de funcionamiento mediante un calibrador para verificar que el programa este dando el resultado requerido de acuerdo a la señal de entrada con el funcionamiento de las bombas. En la Figura 4.68 se muestra el calibrador conectado al PLC en el canal 1 del módulo analógico del PLC donde se da la señal de entrada.



**Figura 4.68:** Pruebas con el calibrador.

**Fuente:** Investigador.

En la Figura 4.69 se muestra la pantalla principal la cual dará lugar a un menú que permitirá el acceso a varios puntos del sistema automático.



**Figura 4.69:** HMI Pantalla de prueba con el calibrador.

**Fuente:** Investigador.

Datos dados por el calibrador:

En la tabla 4.8 se muestran los datos dados por el calibrador de (0 a 20 mA) mostrados en la HMI, (señal de entrada analógica)

**Tabla 4.8:** Pruebas de funcionamiento (nivel, bombas de drenaje, vaciado y jet)

Calibrador (mA)	Nivel (mts)	BDA	BDB	BVA	BVB	JET
0	<<	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
1	<<	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
2	<<	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
3	<<	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
4	<<	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
5	0.08	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
6	0.30	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
7	0.53	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
8	0.75	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
9	0.98	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
10	1.20	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
11	1.43	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
12	1.65	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
13	1.88	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
14	2.11	ON	ON	ON	OFF	OFF
15	2.33	ON	ON	ON	OFF	OFF
16	2.56	ON	ON	ON	OFF	OFF
17	2.78	ON	ON	ON	OFF	OFF
18	3.01	ON	ON	ON	ON	OFF
19	3.23	ON	ON	ON	ON	ON
20	3.45	ON	ON	ON	ON	ON

Fuente: Investigador.

## 4.6 Resultados

Finalmente implementado el sistema, se realizaron las pruebas necesarias para verificar que el sensor este dando bien los datos de nivel visualizando en la HMI ciertos valores, además de poder verificar el estado de las bombas mediante luces de estado.

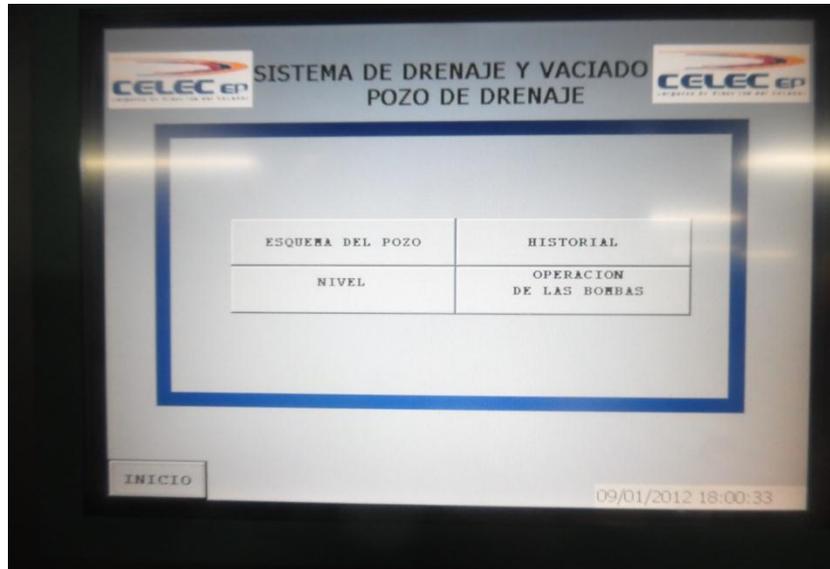
Pantalla principal donde se observa el botón de ingreso al sistema.



**Figura 4.70:** Pantalla inicial de la HMI.

**Fuente:** Investigador.

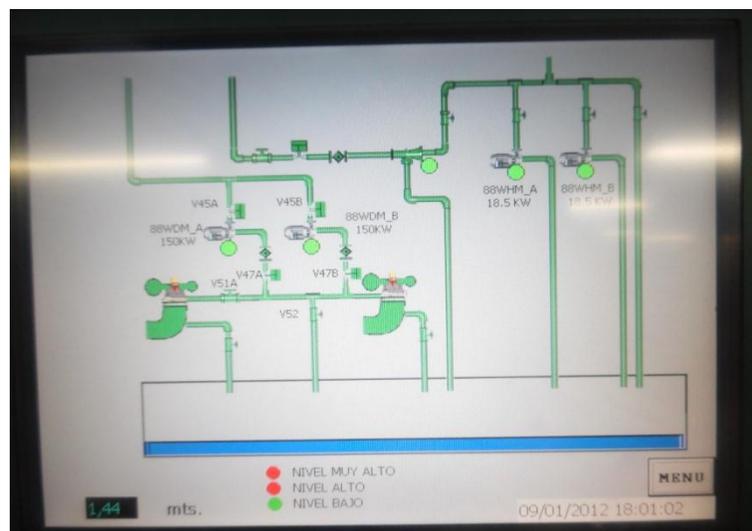
Dando clic en el botón INICIO podemos acceder a la pantalla de MENU en donde encontramos los botones de acceso al PROCESO, OPERACIÓN DE LAS BOMBAS, HISTORIAL y NIVEL



**Figura 4.71:** Pantalla del MENU.

**Fuente:** Investigador.

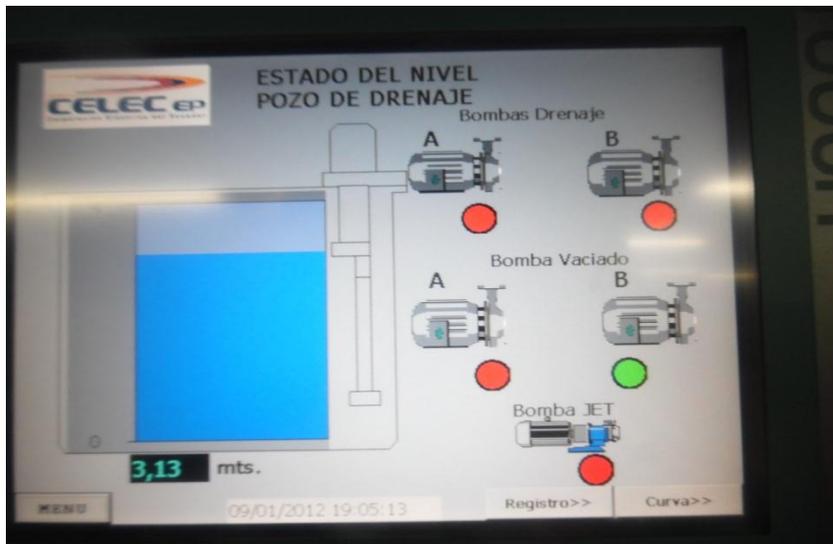
En el botón ESQUEMA DEL POZO accedemos a la siguiente pantalla donde encontramos el sistema de drenaje en el pozo



**Figura 4.72:** Esquema del pozo.

**Fuente:** Investigador.

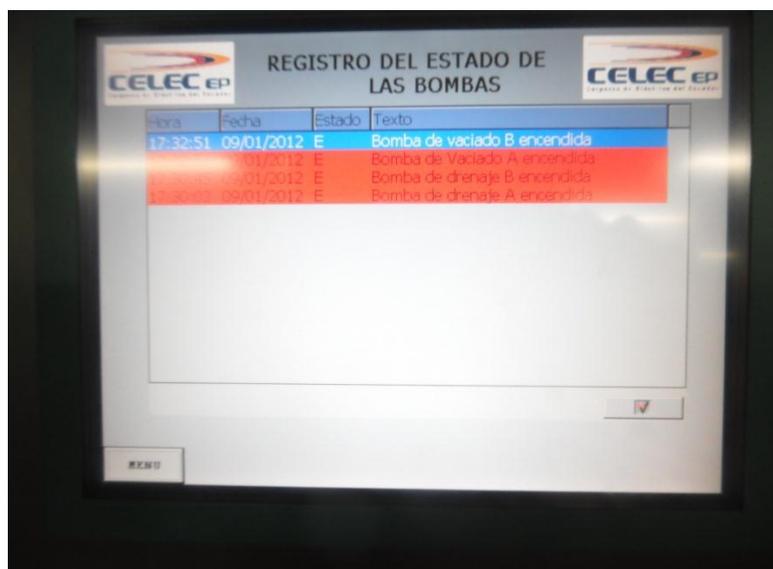
El botón NIVEL nos lleva la pantalla donde se muestra el tanque con el nivel al que se encuentra el agua y el estado de las bombas de drenaje y vaciado



**Figura 4.73:** Pantalla del NIVEL del pozo.

**Fuente:** Investigador.

Dentro de esta pantalla encontramos el botón REGISTRO y CURVA donde podemos encontrar el registro del funcionamiento de las bombas y la curva del nivel del agua.



**Figura 4.74:** Pantalla del estado de las bombas.

**Fuente:** Investigador.



Se puede observar la curva del nivel

**Figura 4.75:** Pantalla de curva del nivel.

**Fuente:** Investigador.

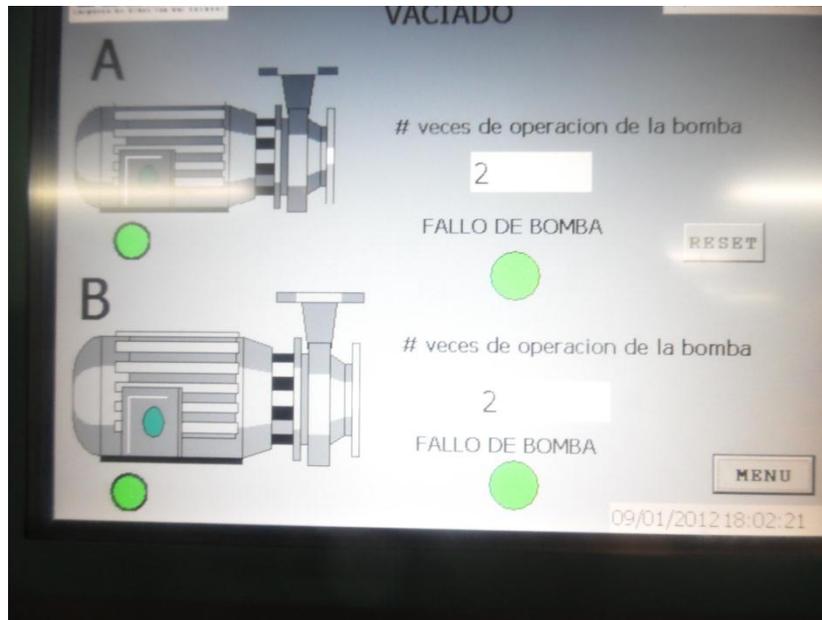
El botón OPERACIÓN DE LAS BOMBAS nos lleva a una pantalla donde se puede visualizar el estado de las bombas al igual que si existió un fallo de la misma y el número de veces de opero dicha bomba.



**Figura 4.76:** Pantalla para visualizar el estado de las bombas de drenaje.

**Fuente:** Investigador.

Dentro de esta pantalla visualizamos también un botón BOMBAS DE VACIADO que nos lleva a ver la pantalla de las bombas de vaciado



**Figura 4.77:** Pantalla para visualizar el estado de las bombas de vaciado.

**Fuente:** Investigador.

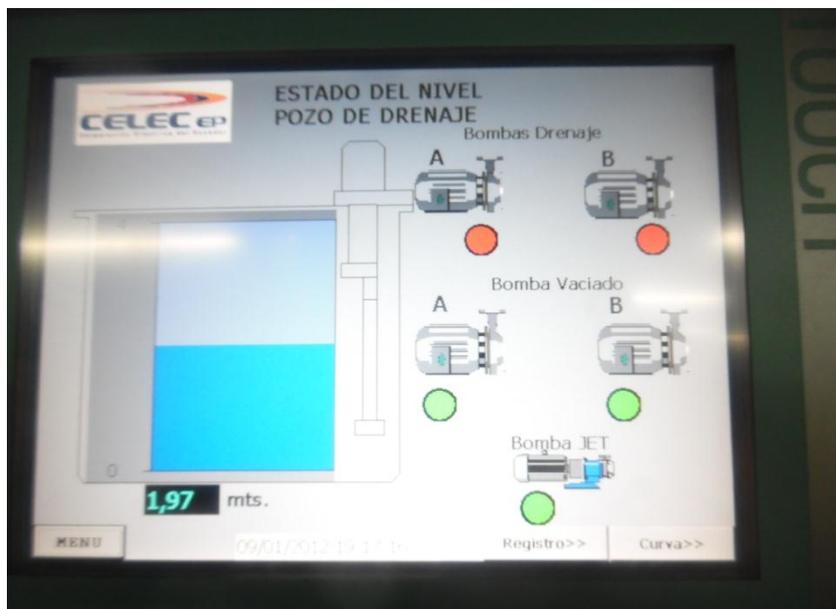
Pantalla principal vista por el operador para controlar el nivel del agua en el pozo donde se muestra el nivel 2.64m. En el cual se puede observar encendidas las bombas de drenaje y la bomba JET. La luz roja quiere decir que las bombas se encuentran encendidas, mientras que la luz verde, que las bombas se encuentran apagadas. De acuerdo con el tablero de control del sistema de drenaje.



**Figura 4.78** Pantalla principal vista por el operador bombas de drenaje y JET encendidas

**Fuente:** Investigador

En el nivel 1.97 se encuentran encendidas las bombas de drenaje y la JET y las de vaciados apagadas.



**Figura 4.79** Bombas de drenaje encendidas

**Fuente:** Investigador

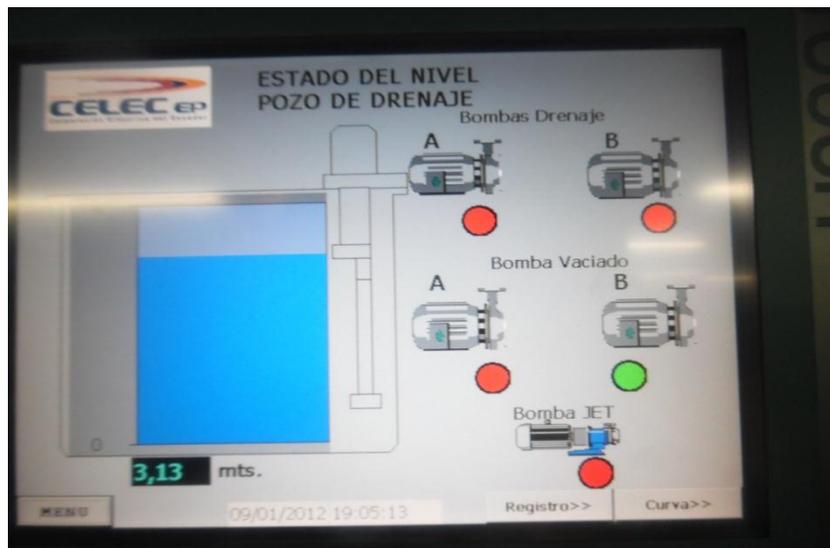
En el nivel 3.16m como se muestra en la figura 4.80 se visualizan todas las bombas encendidas



**Figura 4.80** Bombas de drenaje/Vaciado y JET encendidas

**Fuente:** Investigador

En el nivel 3.13m se visualizan las Bombas de drenaje A/B, JET, y vaciado A encendidas y la bomba de drenaje B apagada.



**Figura 4. 81** Bombas drenaje JET y bomba vaciado A encendidas

**Fuente:** Investigador

A continuación se muestra el pozo de drenaje con sus respectivas tuberías y bombas de drenaje y vaciado y el cableado realizado dentro del pozo de drenaje



**Figura 4.82:** Pozo de drenaje con el cableado para el sensor

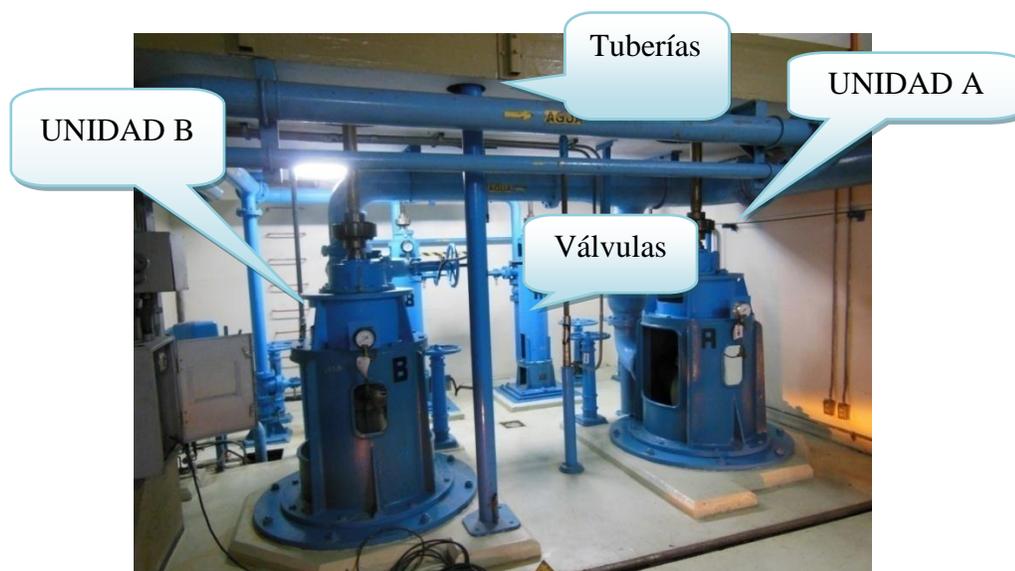
**Fuente:** Investigador.



**Figura 4.83:** Tubería para pasar el cable para energizar en sensor.

**Fuente:** Investigador.

En la figura 4.81 se muestran el sistema de drenaje, las bombas, válvulas y las Unidades.



**Figura 4.84:** Sistema de drenaje.

**Fuente:** Investigador.

## 4.7 Presupuesto

Para el desarrollo e implementación de este proyecto, CELEC EP realizó la adquisición de equipos marca SIEMENS en PLC y HMI. Además de un sensor ultrasónico FMU 42 marca Endress Hauser y algunos implementos adicionales necesarios para la implementación. En la tabla 4.8 se muestra el presupuesto fijado para este proyecto.

**Tabla 4.9** Análisis del presupuesto

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio Total</b>
1	SIMATIC S7-300, PERFIL SOPORTE	44,61	44,61
1	SIMATIC S7-300, CPU 314 CON MPI FUENTE DE ALIMENTACIÓN	798,81	798,61
1	SIMATIC S7-300, MICRO MEMORY CARD	57,58	57,58
1	SIMATIC S7-300 FUENTE DE ALIMENTACIÓN ESTABLIZED PS307	202,74	202,74
1	SIMATIC S7-300 MODULO SALIDAS DIGITALES SM 322	459,82	459,82
1	PC ADAPTER UNIVERSAL PARA COMUNICAR S7-300 CON PC	550,00	550,00
100	BORNERAS LEGRAND PARA RIEL DIN	1,12	112,00
2	TOPES PARA BORNERAS LEGRAD	1,16	2.32
2	TAPAS PARA BORNERA LEGRAND	2.25	4.50
1	SIMATIC STEP 7 STEP V 5.5 FLOATING LICENSE	2757,31	2757,31
1	WINCC FLEXIBLE 2008 STANDARD ENERGINEERING -SW	1504,36	1504,36
1	PANTALLA TACTIL MP277 8" HMI SIEMENS	2862,74	2862,74
1	SENSOR FMU 42 ENDRESS HAUSER	2540,00	2540,00
<b>TOTAL</b>			<b>11889,77</b>

Fuente: Investigador

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 Conclusiones**

- ✓ El sistema de control actual en el pozo de drenaje posee fallas en su funcionamiento por el deterioro de los equipos lo que ocasiona problemas en la supervisión y control del nivel en el pozo de drenaje.
- ✓ Al realizar las pruebas de funcionamiento se concluyó que los niveles de agua que estaban siendo tomados por los sensores de cinta no coincidían con los tomados por el sensor ultrasónico lo que permitió definir los niveles exactos de operación de las bombas de drenaje, vaciado y jet.
- ✓ El nuevo sistema de control y supervisión para el pozo de drenaje es necesario para servir de respaldo al sistema actual, y proporcionar al operador una interface de usuario mejorada y fácil de manejar para supervisar el sistema.

- ✓ Para realizar la medición de nivel en el pozo de drenaje se utilizó un sensor ultrasónico FMU, además se pudo definir con seguridad el diseño y configuración adecuado para el proceso y tratamiento de la información en un PLC.
- ✓ El software utilizado permitió desarrollar con eficacia y facilidad los segmentos de programación para realizar el control de la señal de entrada analógica con respecto a los elementos de control, además de utilizar una interface gráfica de usuario que facilitó el trabajo de operación.

## **5.2 Recomendaciones**

- ✓ Es importante que la empresa cree un sistema de respaldo para realizar el monitoreo del pozo de drenaje para evitar inconvenientes con los procesos de control por el mal desempeño de equipos debido al deterioro de los mismos en el sistema actual.
- ✓ Para la operación del proceso de funcionamiento, es recomendable estar relacionado con los elementos que conforman el sistema, para que este pueda ser controlado de manera segura y efectiva observando las particularidades del mismo.
- ✓ Es recomendable revisar minuciosamente las conexiones, y comprobar el funcionamiento del sistema antes de la puesta en marcha, para evitar inconvenientes de funcionamiento.
- ✓ El entorno de la interface hombre máquina debe ser fácil de manejar y permitir al operador una familiarización efectiva y rápida con el sistema de drenaje para solucionar problemas de manera eficiente.

- ✓ Se recomienda proveer acciones de mantenimiento a los equipos ya que será necesario conforme funcione el sistema.

## **Bibliografía**

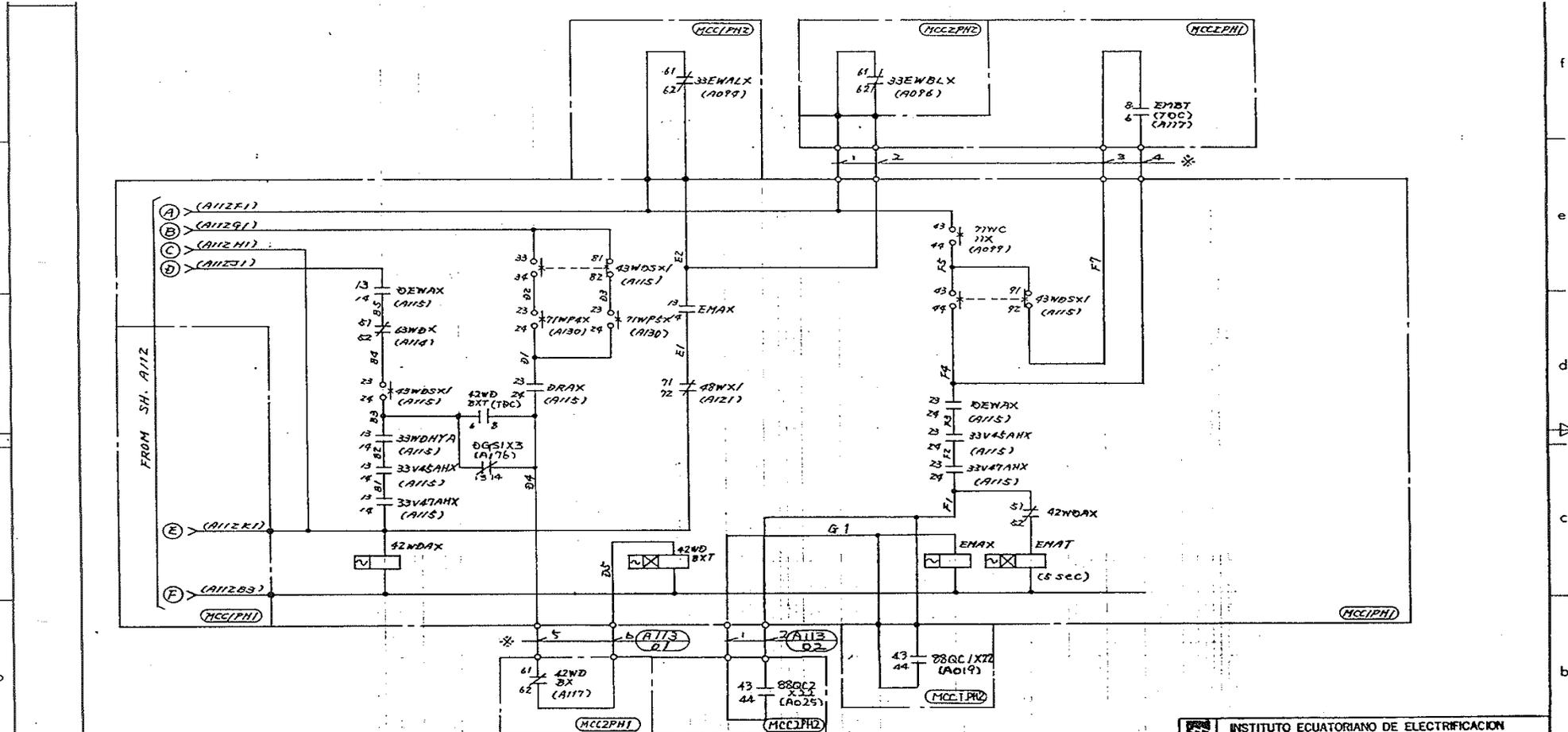
- [1] C. Cueva, «Sistema Inteligente de Alertas,» Quito, 2009, pp. 5-23. de:<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/107>
- [2] Brito Mogro, C. F., & Bustos Pantoja, B. X. Quito 2009. Diseño e implementación de un prototipo Scada Inalámbrico Didáctico para el Laboratorio de Instrumentación de: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1493/1/CD-2232.pdf>
- [3] J. Berbis, «Docificación automática de reactivos de proceso de una planta de tratamiento de aguas blancas,» 7 noviembre 2012. [En línea]. Available: <http://saber.ucv.ve/jspui/handle/123456789/4300>.
- [4] José Francisco Sanz Osorio, *Energías renovables - Energía hidroeléctrica*. Zaragoza: Prensas Universitarias de Zaragoza, 2008.
- [5] Mauricio Garcia. (2005) Centrales Electricas. [Online]. <http://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0226-01/capitulo3.html>
- [6] John Jairo Ramírez Restrepo Gabriel Roldán Pérez, *Fundamentos de limnología neotropical*. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia, 2008.
- [7] Henry Antonio Mendiburu Diaz, *Instrumentación Virtual Industrial*. Perú: Indecorpi, 2006.
- [8] Cristóbal Raya Giner Cecilio Angulo Bahón, *Tecnologías de sistemas de control*. Barcelona: Edicions UPC, 2004.
- [9] Profesor Molina. (2007) Sensores y Transductores. [Online]. [http://www.profesormolina.com.ar/tecnologia/sens\\_transduct/sensores.htm](http://www.profesormolina.com.ar/tecnologia/sens_transduct/sensores.htm)
- [10] Robert L. Mott, *Mecánica de fluidos sexta edición Medición de fluidos*. Mexico: PEARSON EDUCACIÓN, 2006.

- [11] Roberto L. Mott, *Mecanica de fluidos sexta edición*. Mexico: Pearson educación , 2006.
- [12] Manuel Andreu, Ed., *Introduccion a los automatias programables*. Aragón : UOC, Joan Domingo Peña, Juan GámizCaro, Antoni Grau, Herminio Martinez.
- [13] Albert Cuspinera, Josep Regué John Hyde, *Control Electroneumático y Electrónico*, MARCOMBO S.A., Ed. Barcelona, Esapaña, 1997.
- [14] Steven R. Schmid, *Manufactura, ingenieria y tecnologia*. México: PEARSON EDUCACIÓN, 2002.
- [15] Mario Fernando Torres Cortez, "Sistema SCADA par automatizacion de un piso de una edificacion," Ambato, 2007.
- [16] SIEMENS. Manual del sistema SIMATIC S7 Controlador programable. [Online]. <http://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/S71200-MANUAL%20DEL%20SISTEMA.PDF>
- [17] SIEMENS Industry. (2015, mayo) Programar con step 7 - Manual. [Online]. <https://cache.industry.siemens.com>
- [18] SIEMENS. Simatic HMI Panel de Operador MP 277. [Online]. [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/820/23337820/att\\_68007/v1/hmi\\_mp\\_277\\_operating\\_instructions\\_es-ES\\_es-ES.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/820/23337820/att_68007/v1/hmi_mp_277_operating_instructions_es-ES_es-ES.pdf)
- [19] Ramon Yuste, Luis Matinez Vicente Gerrero Jimenez, *Comunicaicones Industriales Siemens*. España: MARCOMBO, 2009.

# ANEXOS



Plano A113 control para el sistema de vaciado



出図先

	42WDAX	EMAX			
	SR -30(1/4)	SR -80(6/2)			
a	13114	a	13114	-	
a	23124	a	23124	A1212	
a	33131	a	33134		
a	43141	a	43144		
b	51151	a	51152		
b	61161	b	61162	A1174	
b	71171	b	71172		
b	81181	b	81182		

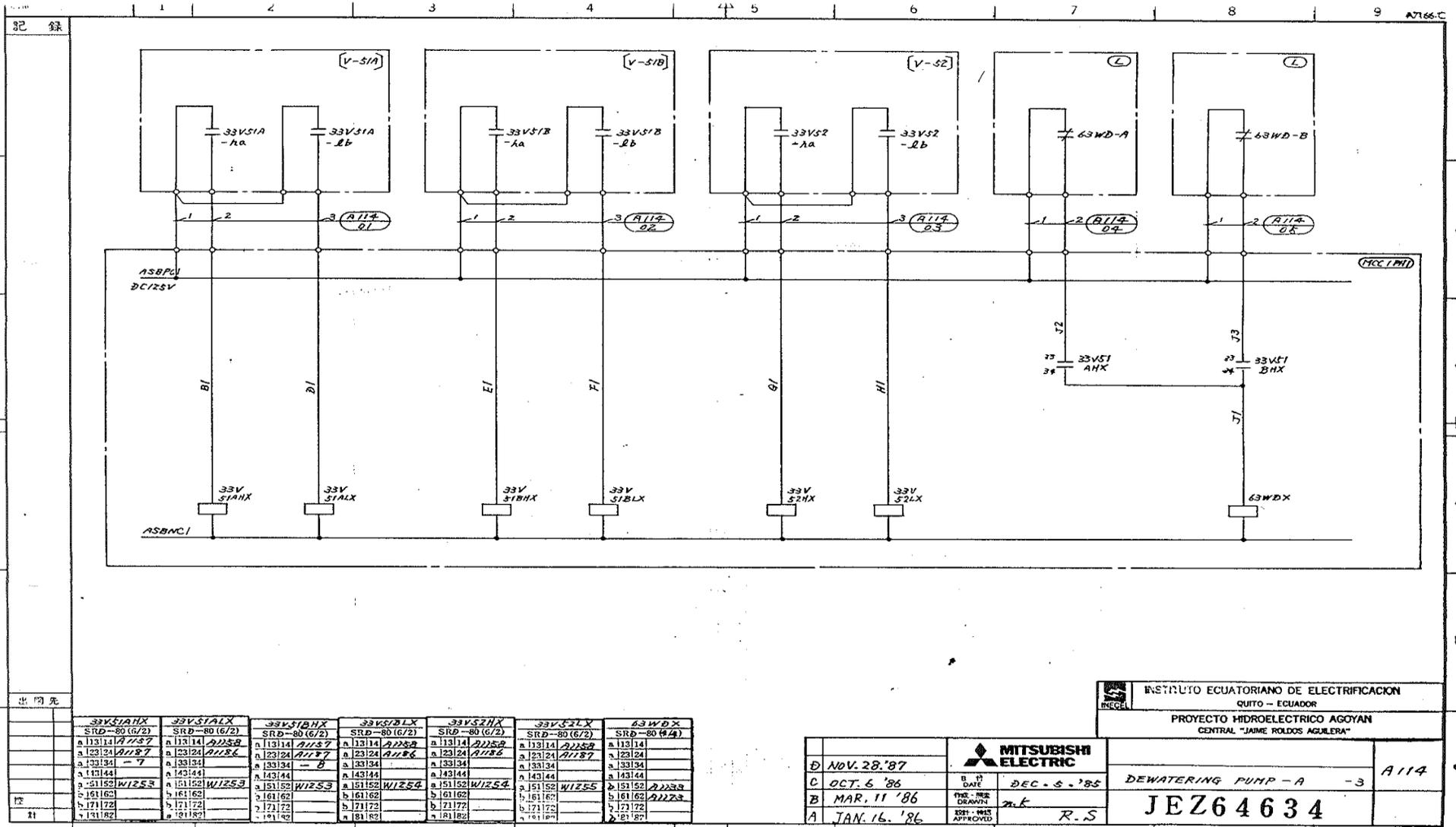
  

	EMAT	42WD BXT
	DRS-NPB10	DRS-NPB10
a	1	1
b	2	2
c	3	3
d	4	4
e	5	5
f	6	6
g	7	7
h	8	8

INTEGRAL INSTITUTO ECUATORIANO DE ELECTRIFICACION QUITO - ECUADOR PROYECTO HIDROELECTRICO AGOYAN CENTRAL "JAMIE ROLDOS AGUILERA"

D	NOV. 28 '87	MITSUBISHI ELECTRIC		A113
C	OCT. 6 '86	B. DATE	DEC. 5 '85	DEWATERING PUMP - A - 2
B	MAR. 11 '86	THE. & REV. DRAWN	JK	
A	JAN. 14 '86	ESI - SHEET APPROVED	R.S	JEZ64634

Plano A114 Control para el sistema de Vaciado Bomba A



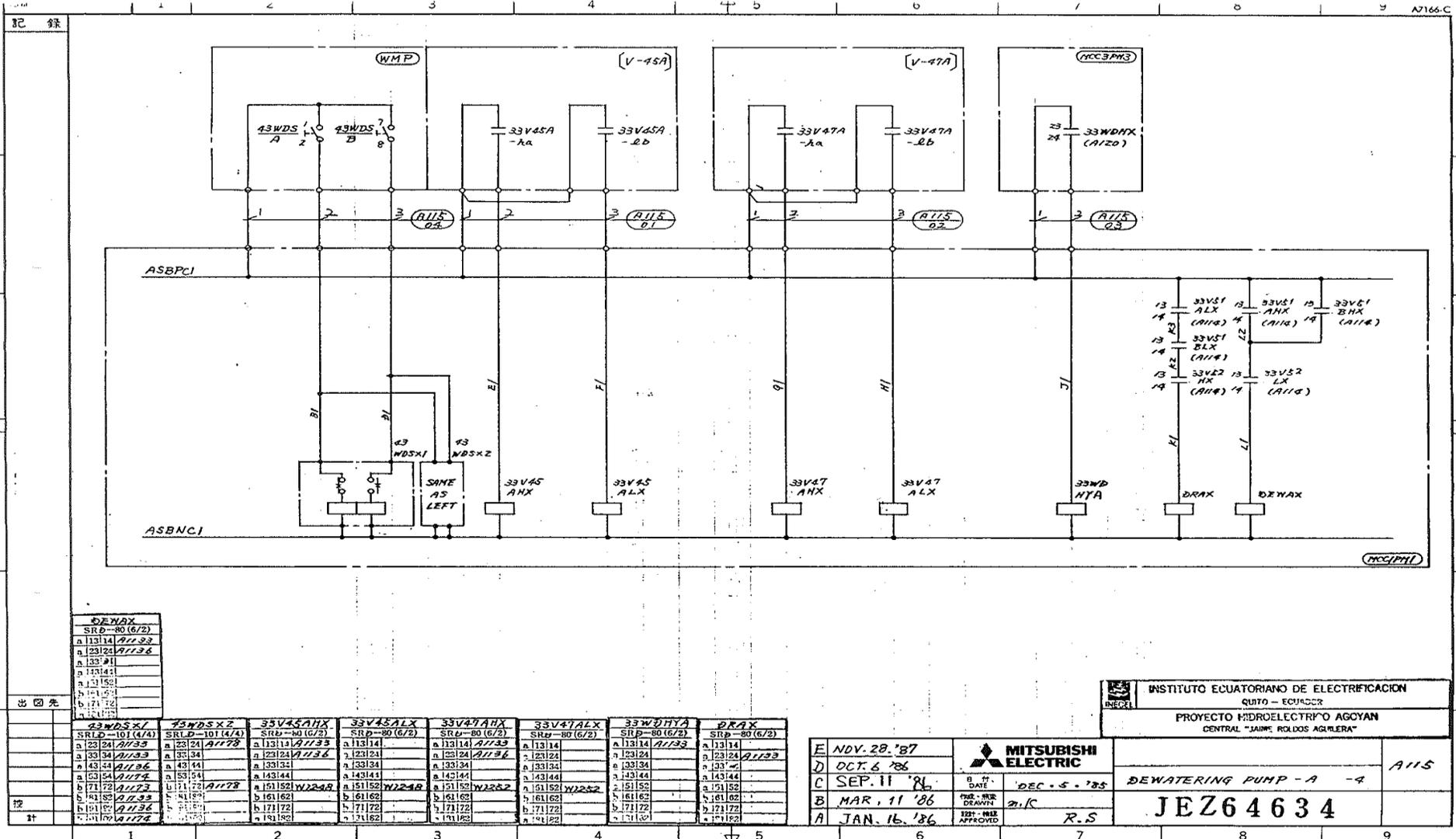
33V51ANX	33V51ALX	33V51BHX	33V51BLX	33V51ZHX	33V51ZLX	63WDX
SRD-80 (6/2)						
a 113114 A1187	a 113114 A1258	a 113114 A1187	a 113114 A1258	a 113114 A1187	a 113114 A1258	a 113114
a 123124 A1187	a 123124 A1186	a 123124 A1187	a 123124 A1186	a 123124 A1187	a 123124 A1186	a 123124
a 133134 -7	a 133134	a 133134 -B	a 133134	a 133134	a 133134	a 133134
a 143144						
a 151152 W1253	a 151152 W1253	a 151152 W1253	a 151152 W1254	a 151152 W1254	a 151152 W1255	a 151152 A1258
b 161162	b 161162 A1258					
b 171172						
b 181182						

INSTITUTO ECUATORIANO DE ELECTRIFICACION  
QUITO - ECUADOR  
PROYECTO HIDROELECTRICO AGOYAN  
CENTRAL "JAJME ROLDOS AGUILERA"

D NOV. 28 '87	MITSUBISHI ELECTRIC	DATE DEC. 5 '85	DEWATERING PUMP - A -3	A114
C OCT. 6 '86		DRW. R.S.		
B MAR. 11 '86		APPROVED R.S.		
A JAN. 16 '86				

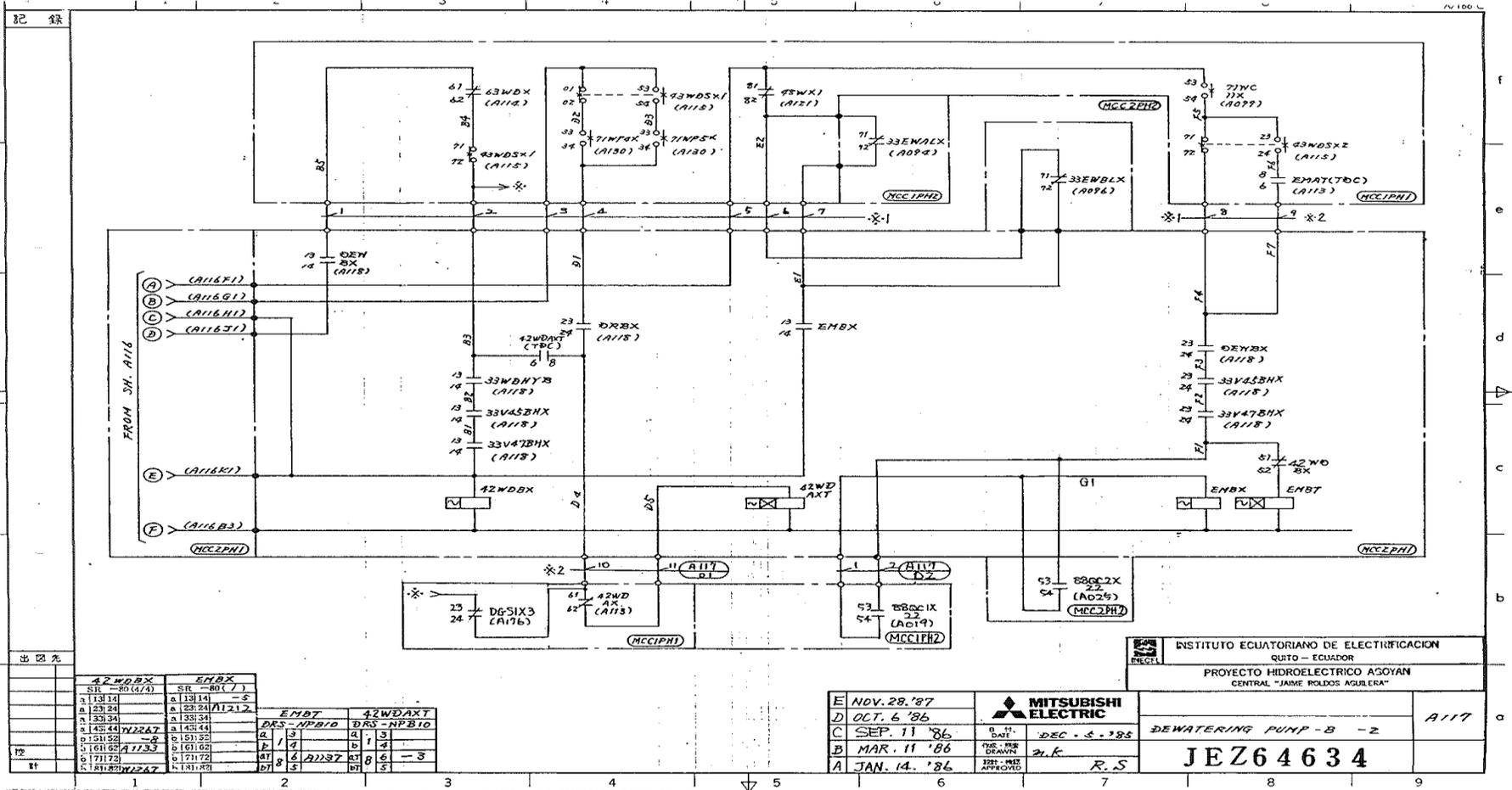
JEZ64634

# Plano A115 Control para el sistema de Vaciado Bomba A





Plano A117 Control para el sistema de Vaciado Bomba B



出図先

42WDBX	EMBX
SR-80(4/4)	SR-80(1)
a 13114	a 13114
a 23124	a 23124/A1212
a 33134	a 33134
a 43144	a 43144
a 53154	a 53154
a 63164	a 63164
a 73174	a 73174
a 83184	a 83184
a 93194	a 93194
計	

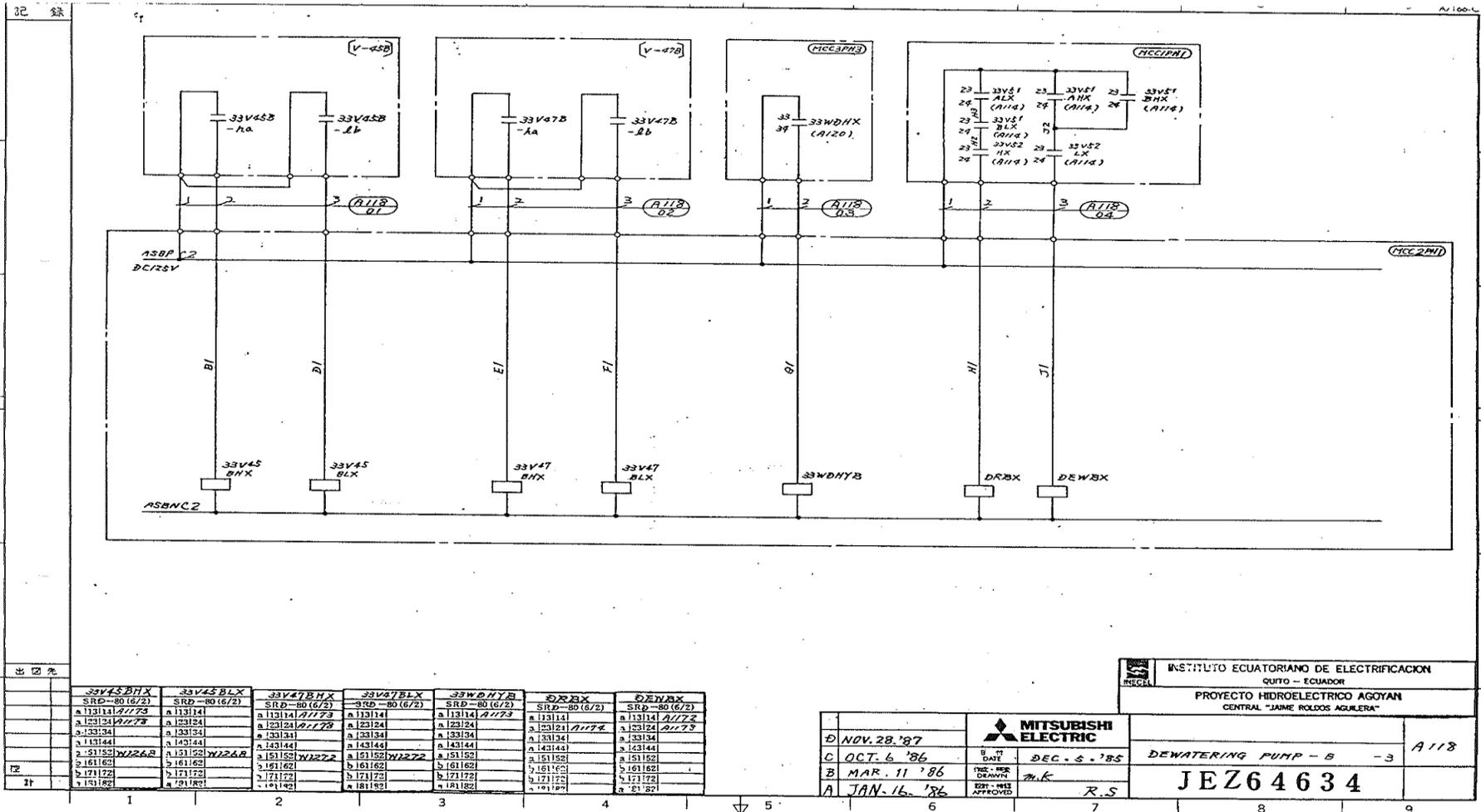
EMBT	42WDAXT
DRS-NPB10	DRS-NPB10
a 1/3	a 1/3
a 1/4	a 1/4
a 1/5	a 1/5
a 1/6	a 1/6
a 1/7	a 1/7
a 1/8	a 1/8
a 1/9	a 1/9
計	

E	NOV. 28. '87	MITSUBISHI ELECTRIC
D	OCT. 6 '86	
C	SEP. 11 '86	
B	MAR. 11 '86	
A	JAN. 14. '86	

INSTITUTO ECUATORIANO DE ELECTRIFICACION  
QUITO - ECUADOR  
PROYECTO HIDROELECTRICO AGOYAN  
CENTRAL "JAIMES ROLDOS AGUILERA"

DATE	DEC. 5. '85	JEZ64634
DESIGN	R.S	
APPROVED		

# Plano A118 Control para el sistema de Vaciado Bomba B

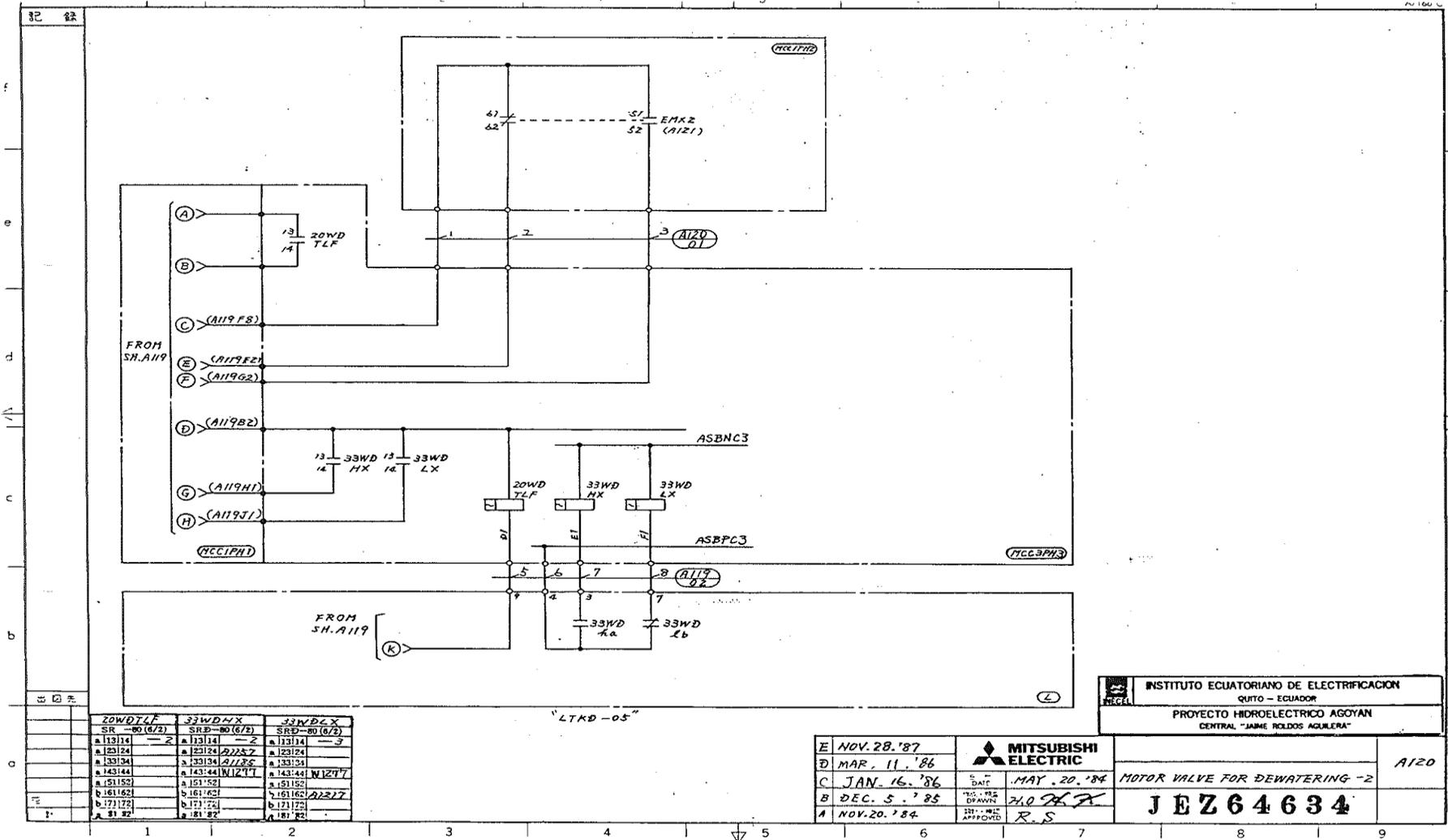


33V45BHX	33V45BLX	33V47BHX	33V47BLX	33WDHYB	DRBX	DEWBX
SRD-80(6/2)						
a.13114						
a.13124						
a.13134						
a.13144						
a.15152						
b.16162						
b.17172						
a.18182						

<b>MITSUBISHI ELECTRIC</b>		INSTITUTO ECUATORIANO DE ELECTRIFICACION QUITO - ECUADOR PROYECTO HIDROELECTRICO AGOYAN CENTRAL "JAIME ROLDOS AGUILERA"	
D NOV. 28 '87 C OCT. 6 '86 B MAR. 11 '86 A JAN. 16 '86	DATE DEC. 5 '85 DRW R.S	DEWATERING PUMP - B - 3 <b>JEZ64634</b>	A118



Plano A120 Control para la válvula de vaciado



20WD TLF	33WD LX	33WD LX
SR-80(6/2)	SRD-80(6/2)	SRD-80(6/2)
a. 133124	a. 133124	a. 133124
a. 133124	a. 133124	a. 133124
a. 133124	a. 133124	a. 133124
a. 143144	a. 143144	a. 143144
a. 151152	a. 151152	a. 151152
a. 161162	a. 161162	a. 161162
b. 171172	b. 171172	b. 171172
a. 181182	a. 181182	a. 181182

E	NOV. 28. '87
D	MAR. 11. '86
C	JAN. 16. '86
B	DEC. 5. '85
A	NOV. 20. '84

**MITSUBISHI ELECTRIC**

DATE: MAY. 20. '84

DESIGNED BY: H.O. R.R.

APPROVED BY: R.S.

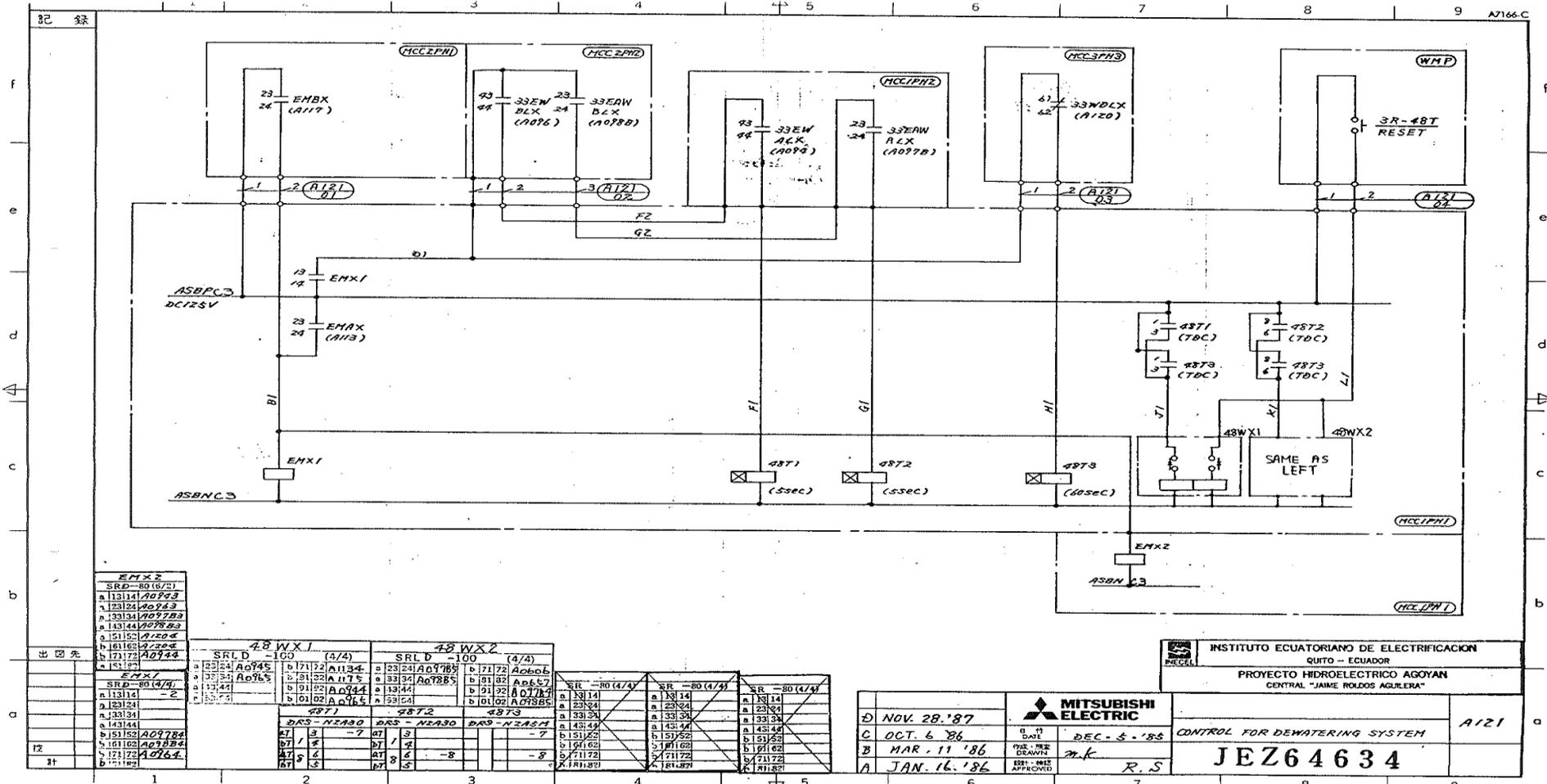
INSTITUTO ECUATORIANO DE ELECTRIFICACION  
QUITO - ECUADOR  
PROYECTO HIDROELECTRICO AGOYAN  
CENTRAL "JAMES RODRIGUEZ AGUILERA"

MOTOR VALVE FOR DEWATERING - 2

**JEZ64634**

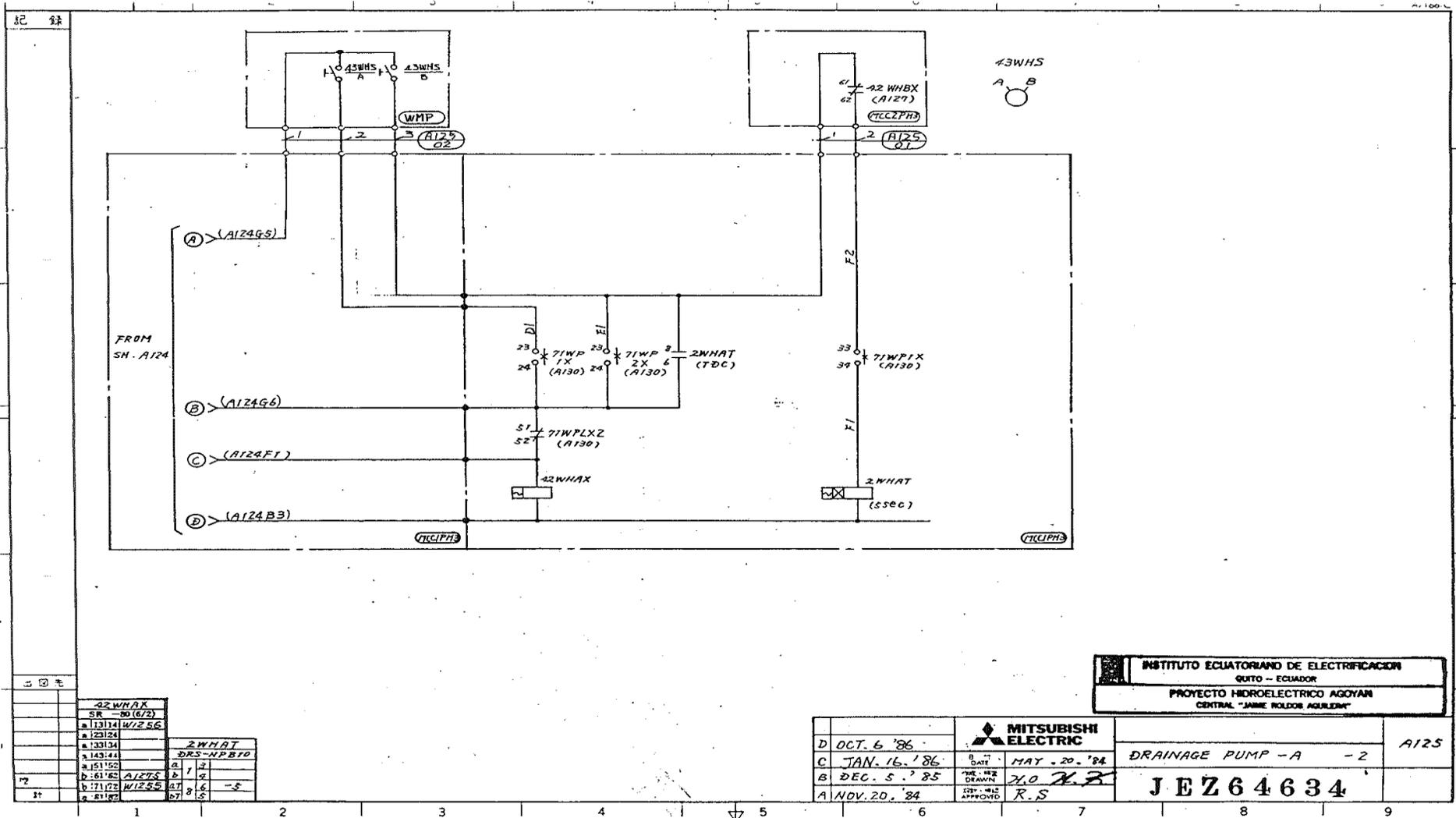
A120

Plano A121 Control para la válvula de vaciado





Plano A125 Control para el sistema de drenaje Bomba A



出 図 号

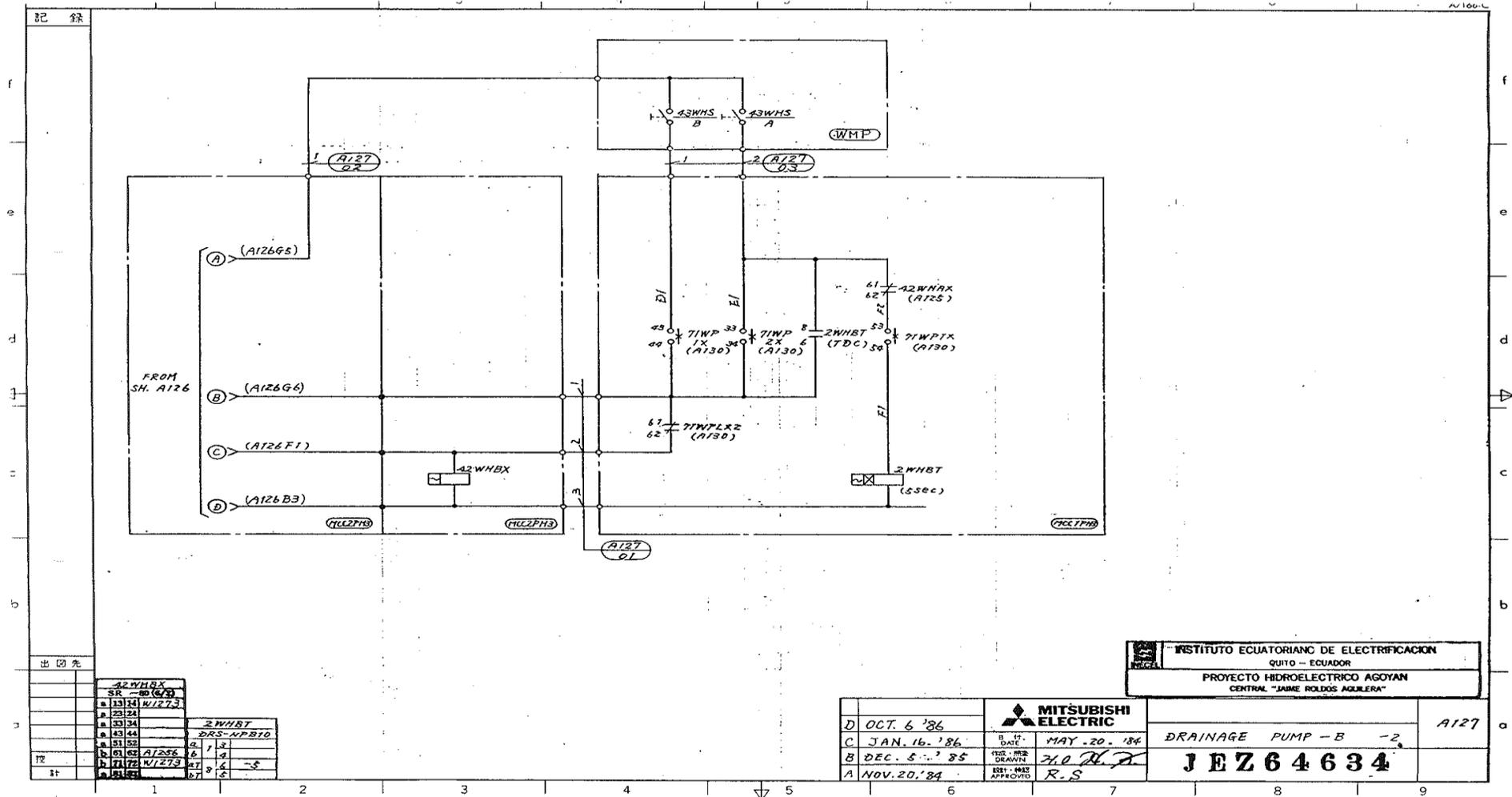
	42WHAX	
	SR - 80 (6/2)	
a	13114	W125G
a	123124	
a	143134	
a	143144	2WHAT
a	151152	DRS-NPB10
b	161162	A125
b	171172	W125G
c	181182	

INSTITUTO ECUATORIANO DE ELECTRIFICACION  
QUITO - ECUADOR  
PROYECTO HIDROELECTRICO AGOYAN  
CENTRAL "JAMES ROLDAN AGUIRRE"

D	OCT. 6 '86	B	DATE	MAY. 20. '84	DRAINAGE PUMP - A - 2	A125
C	JAN. 16. '86	B	DATE	MAY. 20. '84		
B	DEC. 5. '85	PREP. / REV. / DRAWN		J.O. R.Z.		
A	NOV. 20. '84	CHKD. / WLD. / APPROVED		R.S.		
MITSUBISHI ELECTRIC					JEZ64634	



Plano A127 Control para el sistema de drenaje Bomba B



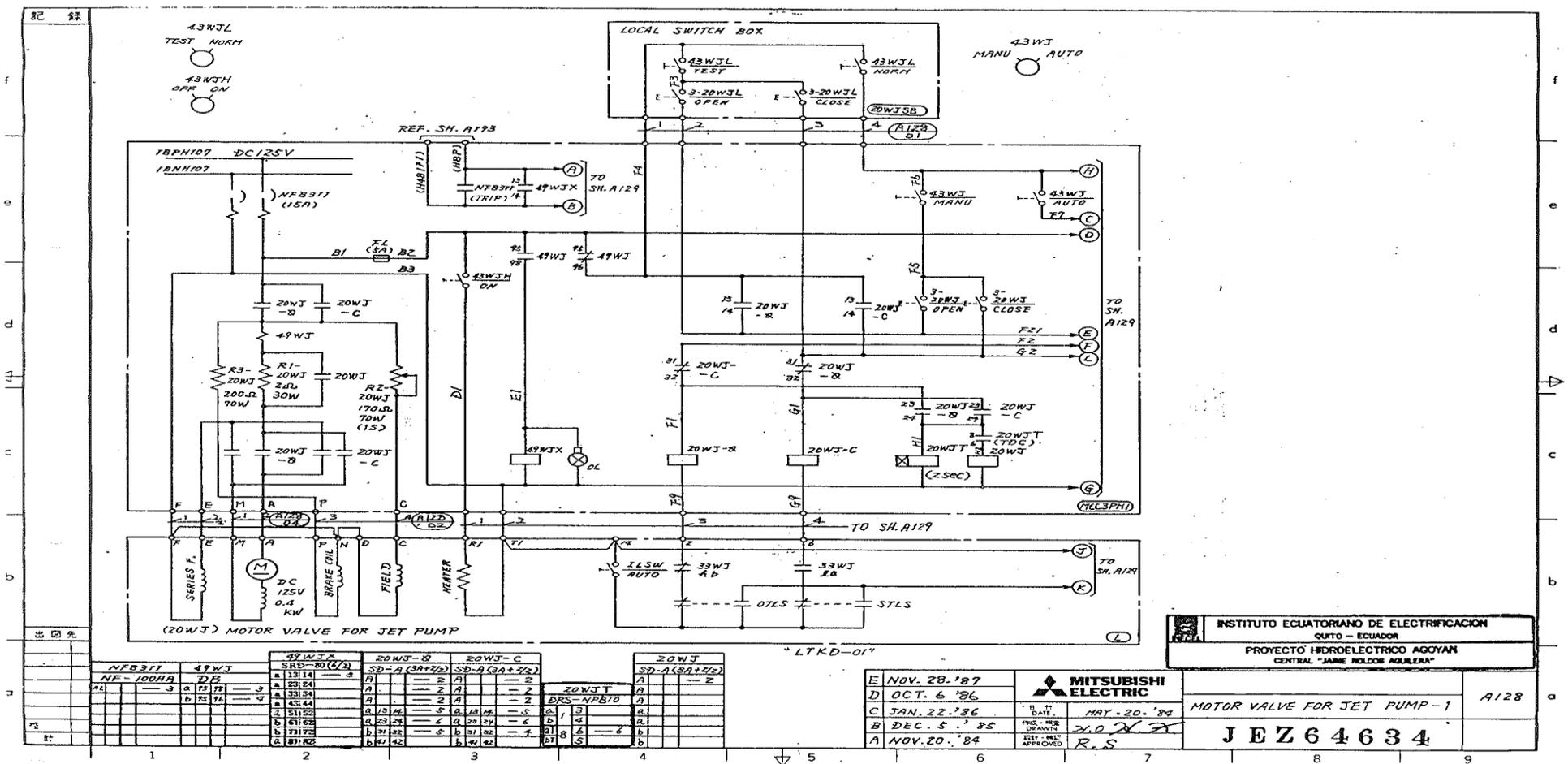
出図先

1	2	3	4	5	6	7	8	9
13	14	15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36	37	38	39
40	41	42	43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54	55	56	57
58	59	60	61	62	63	64	65	66
67	68	69	70	71	72	73	74	75
76	77	78	79	80	81	82	83	84
85	86	87	88	89	90	91	92	93
94	95	96	97	98	99	100		

INSTITUTO ECUATORIANO DE ELECTRIFICACION  
QUITO - ECUADOR  
PROYECTO HIDROELECTRICO AGOYAN  
CENTRAL "JAIIME ROLDOS AGUILERA"

D	OCT. 6 '86	DATE	MAY. 20. '84	DRAINAGE PUMP - B - 2	A127
C	JAN. 16. '86	DATE	MAY. 20. '84		
B	DEC. 5. '85	DATE	MAY. 20. '84		
A	NOV. 20. '84	DATE	MAY. 20. '84		
		DESIGNED BY	J. O. N. J.		
		CHECKED BY	R. S.		
		APPROVED BY			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			
		APPROVED			
		DATE			
		SCALE			
		PROJECT NO.			
		DRAWING NO.			
		REVISION			

Plano A128 Motor de la válvula de la bomba JET



記 録

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

NFB311		49WJ		49WJ-A		20WJ-R		20WJ-C		20WJ	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

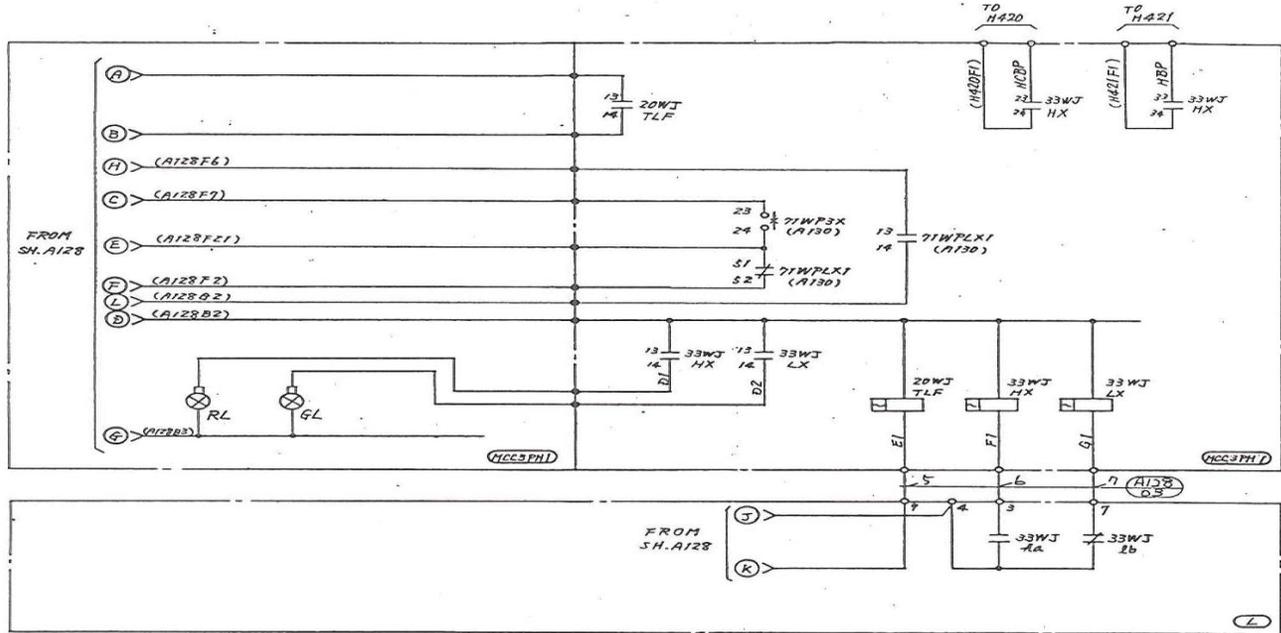
E	NOV. 28. '87
D	OCT. 6 '86
C	JAN. 22 '86
B	DEC. 5 '85
A	NOV. 20. '84

MITSUBISHI ELECTRIC	
DATE	MAY - 20. '84
DESIGNER	R.S.
CHKD. BY	R.S.

INSTITUTO ECUATORIANO DE ELECTRIFICACION QUITO - ECUADOR	
PROYECTO HIDROELECTRICO AGOYAN CENTRAL "JAMIE ROLDOS AGUILERA"	
MOTOR VALVE FOR JET PUMP-1	A128
JEZ64634	

Plano A129 Motor de la válvula de la bomba JET

記 録



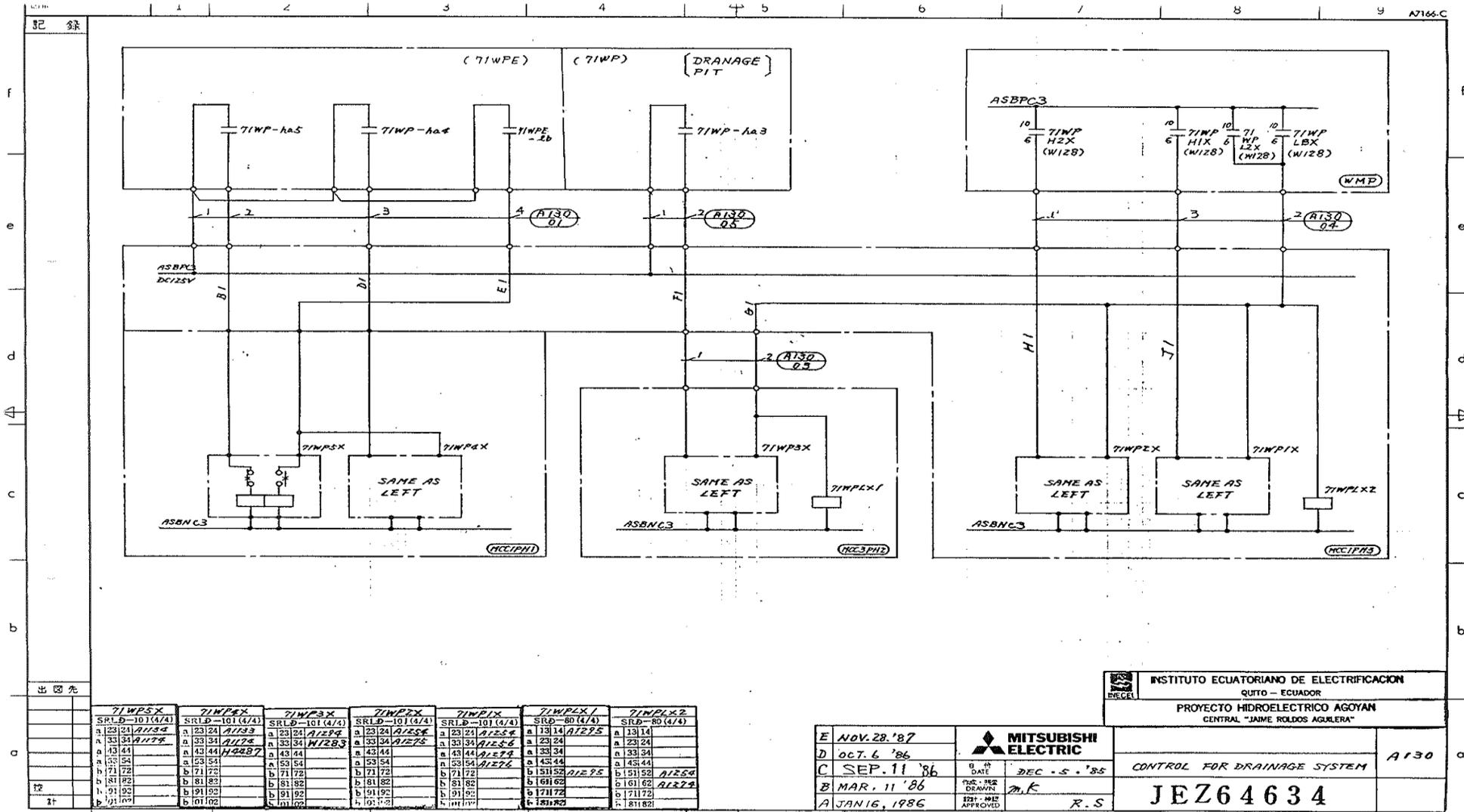
出 図 先

20WJTLF	33WJHX	33WJAA
SR -80 (6/2)	SR -80 (6/2)	SR -80 (6/2)
a 133134	a 133134	a 133134
a 133134	a 133134	a 133134
a 133134	a 133134	a 133134
a 143144	a 143144	a 143144
a 151152	a 151152	a 151152
b 161162	b 161162	b 161162
b 171172	b 171172	b 171172
a 181182	a 181182	a 181182

"LTKD -01"

INSTITUTO ECUATORIANO DE ELECTRIFICACION QUITO - ECUADOR PROYECTO HIDROELECTRICO AGOYAN CENTRAL "JABBE ROLDOS AGUILERA"		MOTOR VALVE FOR JET PUMP -2 <b>JE Z 6 4 6 3 4</b>	A129
E OCT. 6 '86 D MAR. 11 '86 C JAN. 16. '86 F NOV. 28. '87	MITSUBISHI ELECTRIC B N DATE MAY 20 '89 FIG. - HSE DRAWN 21.0 TEST. - HSE APPROVED R. S.		

Plano A130 Control para el sistema de drenaje

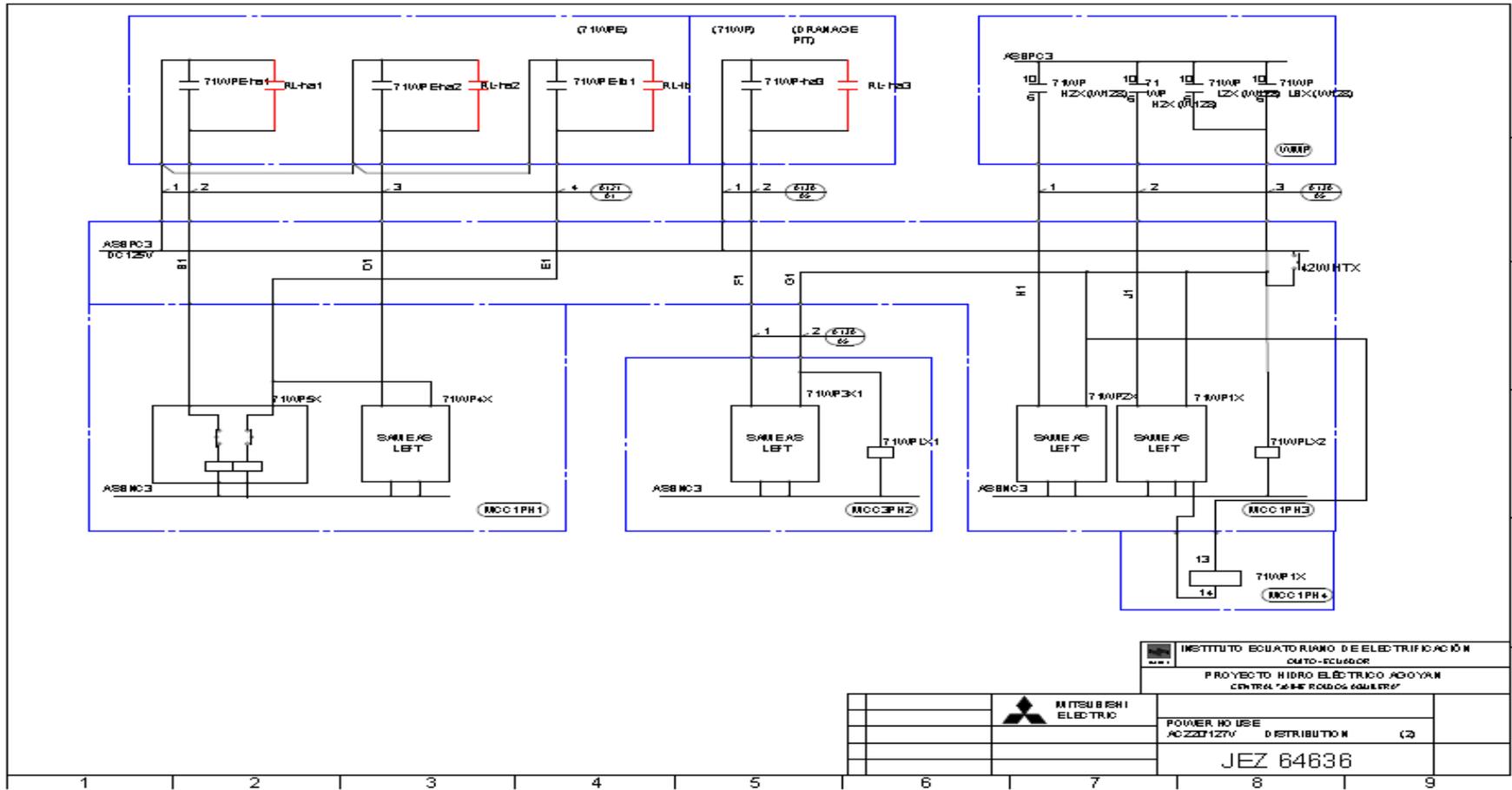


71WPX	71WPX	71WPX	71WPX	71WPX	71WPX	71WPX
SRLD-101(4/4)	SRLD-101(4/4)	SRLD-101(4/4)	SRLD-101(4/4)	SRLD-101(4/4)	SRLD-101(4/4)	SRLD-80(4/4)
a 23 24 A125	a 13 14 A125					
a 33 34 A125	a 23 24					
a 43 44 A125	a 33 34					
a 53 54	a 43 44					
b 71 72	b 51 52 A125					
b 81 82	b 61 62					
b 91 92	b 71 72					
b 101 02	b 81 82					

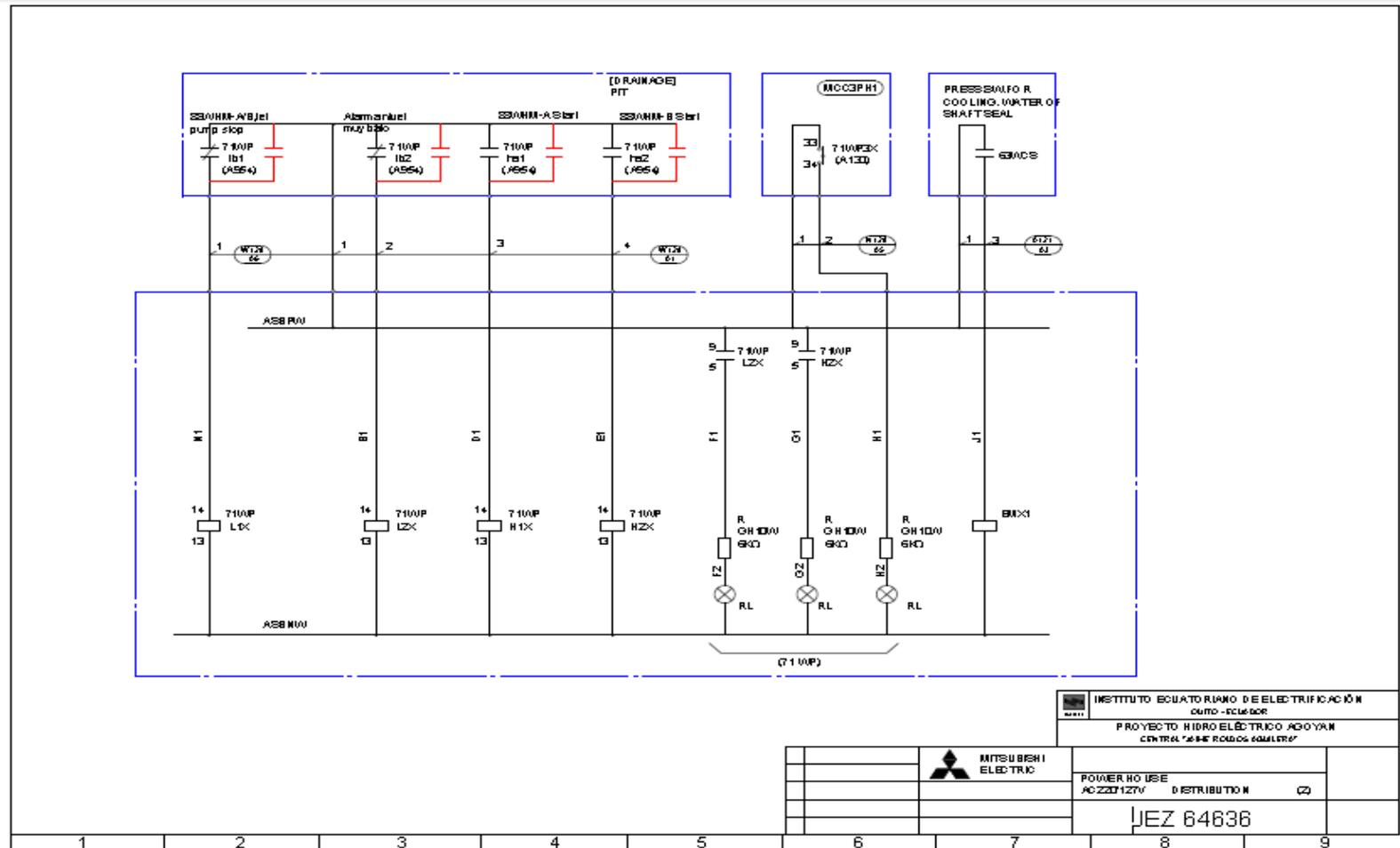
E NOV. 28 '87		 <b>MITSUBISHI ELECTRIC</b>	INSTITUTO ECUATORIANO DE ELECTRIFICACION QUITO - ECUADOR	
D OCT. 6 '86			PROYECTO HIDROELECTRICO AGOYAN CENTRAL "JAIME ROLDOS AGUILERA"	
C SEP. 11 '86		DATE: DEC. 5 '85	CONTROL FOR DRAINAGE SYSTEM	
B MAR. 11 '86		DATE: MAR. 11 '86	A130	
A JAN. 16, 1986		DATE: JAN. 16, 1986	JEZ64634	

### ANEXO 3

Plano A130 en cual se realizaron los cambios necesarios, se pusieron los contactos en paralelo a los relés correspondientes para el control de las bombas de drenaje

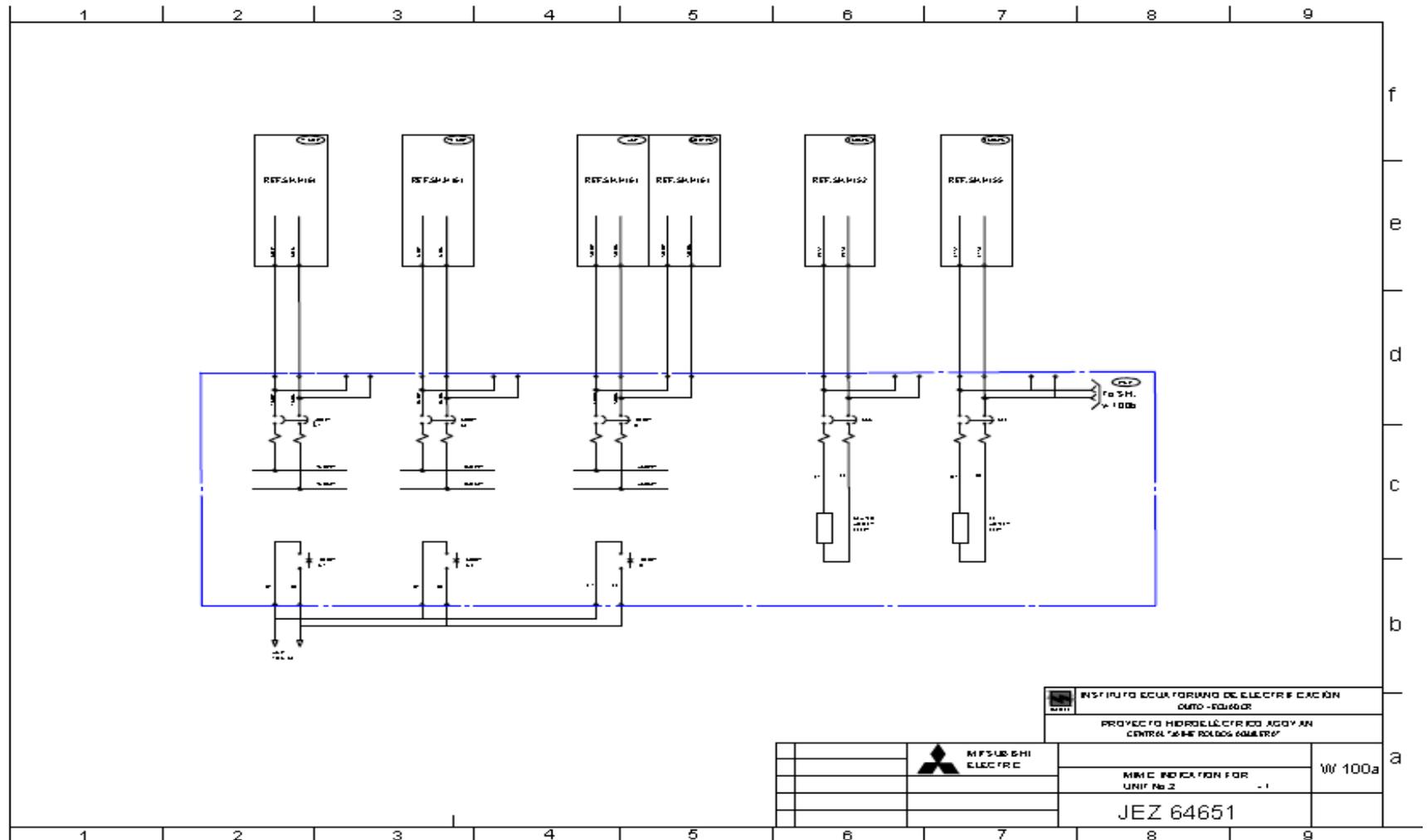


Plano W128 en cual se realizaron cambios también con respecto a los relés que entran en el control de las bombas de drenaje para las bombas de vaciado



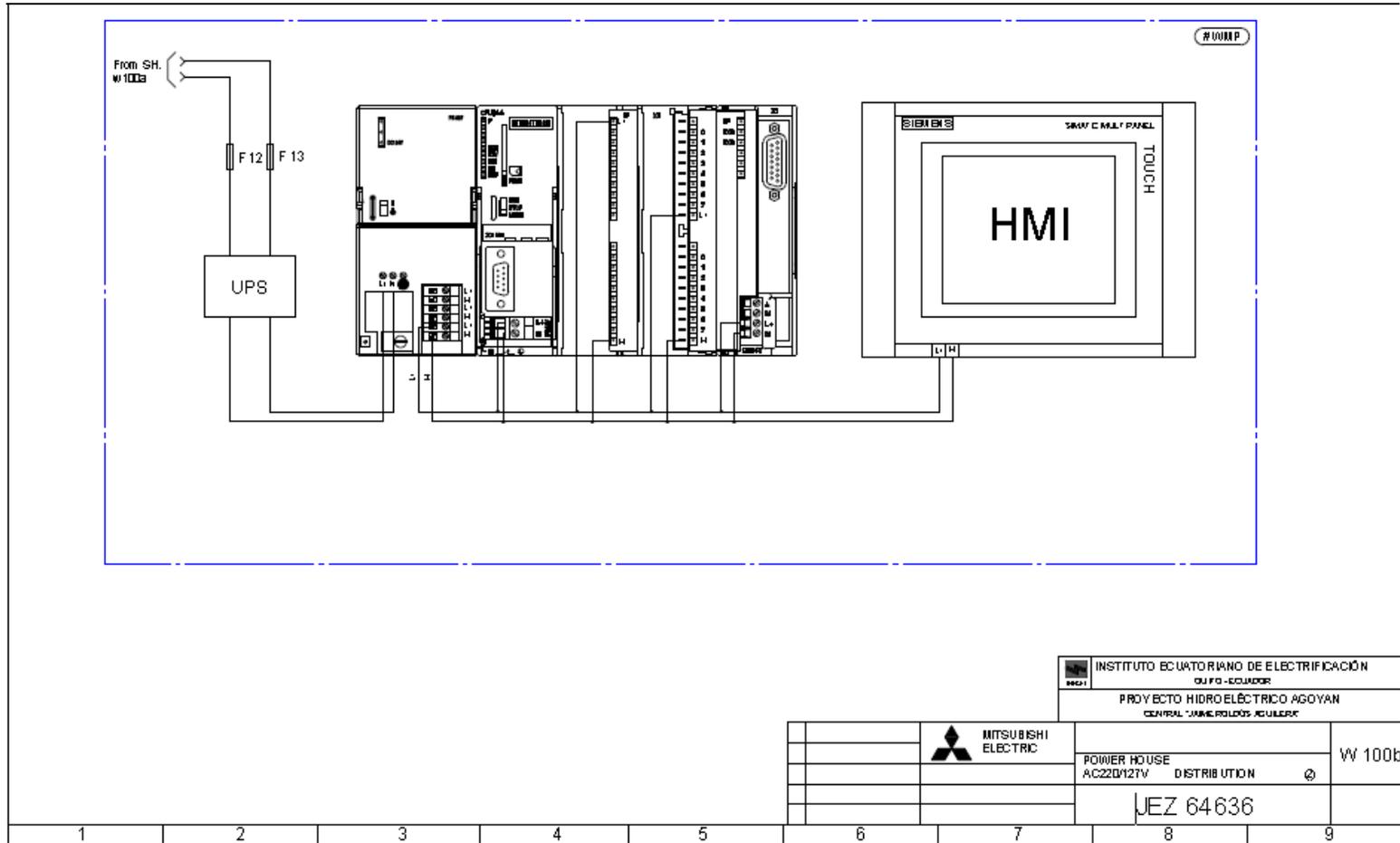
# ANEXO 4

Alimentación de los equipos del sistema. La alimentación se realizó desde el tablero mímico



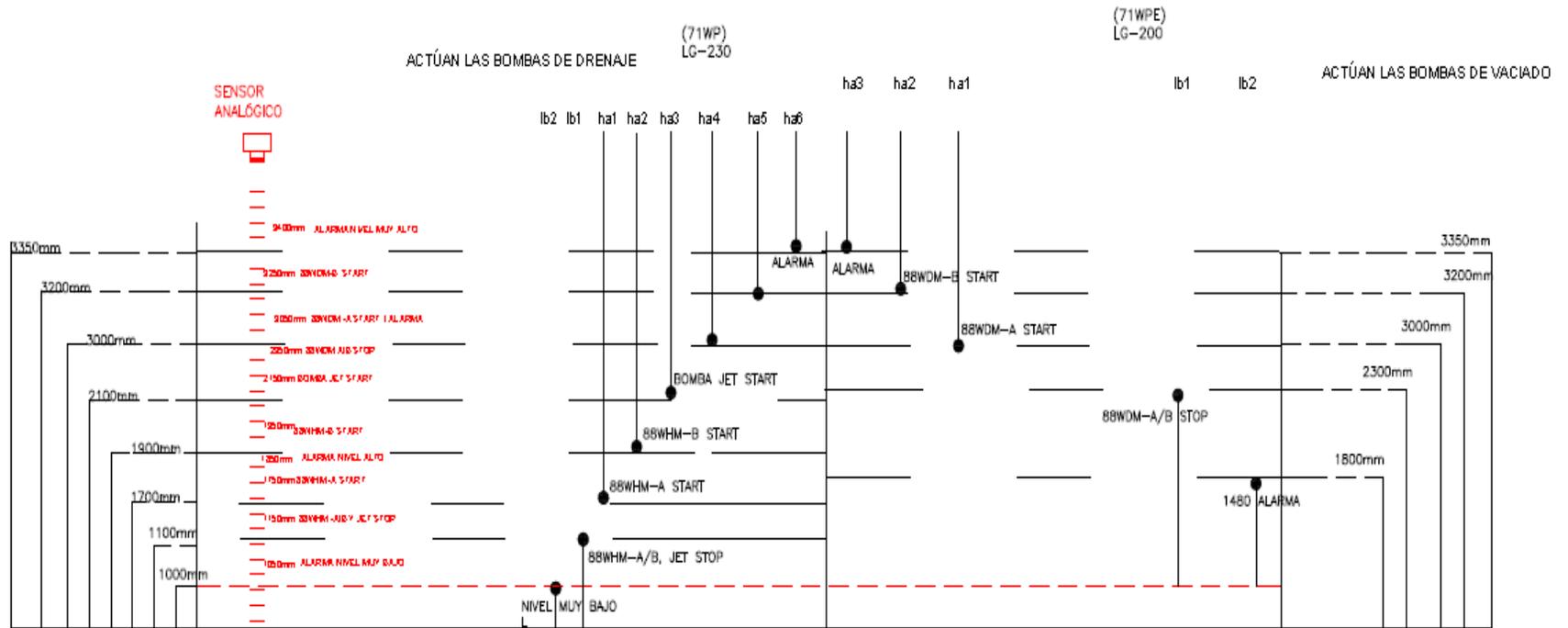
# ANEXO 5

## Conexiones de la alimentación hacia el tablero de control WMP (HMI, PLC, UPS)

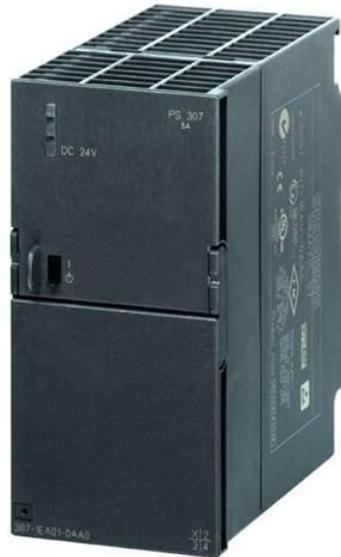


# ANEXO 6

## Plano del nivel y el actuador.



## ANEXO 7



*Croquis acotados*

*C.2 Croquis acotados de las fuentes de alimentación*

### **PS 307 5 A (6ES7307-1EA01-0AA0)**

La figura siguiente muestra el plano acotado de la fuente de alimentación PS 307; 5 A.

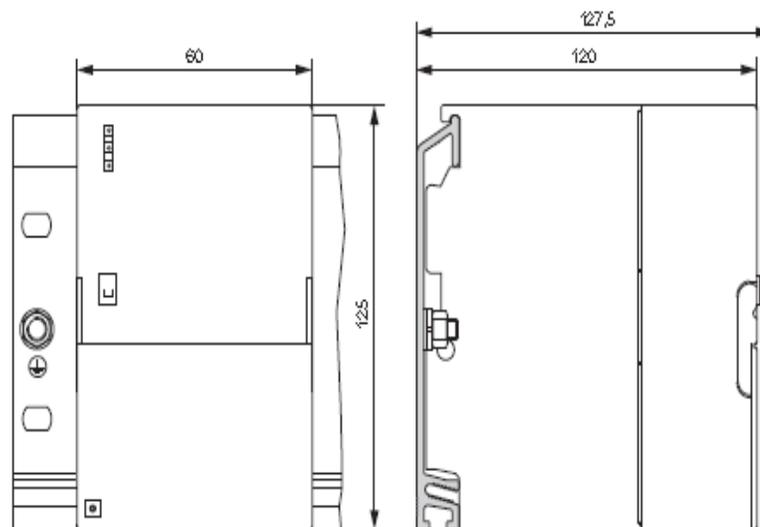
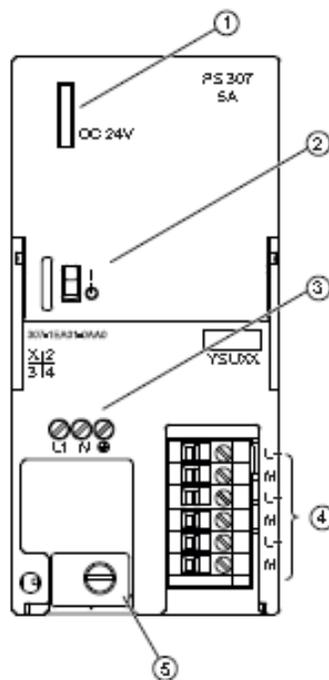


Figura C-11 Fuente de alimentación PS 307; 5 A

## Esquema eléctrico de la PS 307; 5 A



- ① Indicador de "Tensión de salida DC 24 V aplicada"
- ② Interruptor On/Off para 24 V DC
- ③ Borne para tensión de red y conductor de protección
- ④ Borne para tensión de salida 24 V DC
- ⑤ Alivio de tracción

## Esquema de principio del PS 307; 5 A

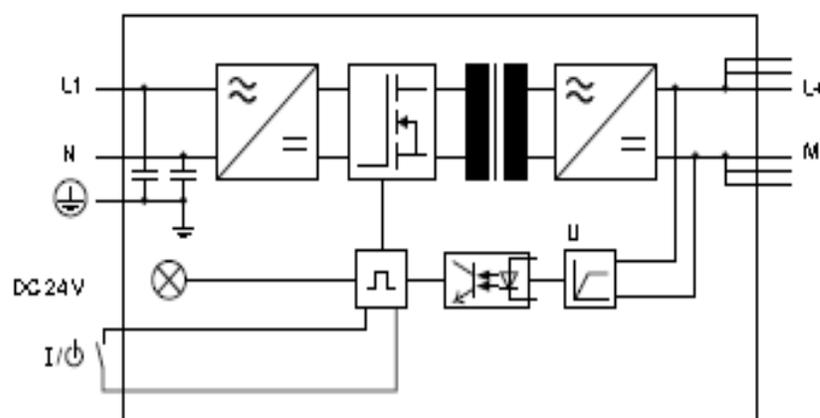


Figura 2-2 Esquema de principio de la fuente de alimentación PS 307; 5 A

## Protección de línea

Para proteger la línea de red (entrada) de la fuente de alimentación PS 307; 5 A recomendamos un automático magnetotérmico (p.ej. serie 5SN1 de Siemens) con las siguientes características:

- Intensidad nominal a 230 V AC: 6 A
- Característica de disparo (tipo): C

## Reacción en condiciones de servicio atípicas

Tabla 2-2 Reacción de la fuente de alimentación PS 307; 5 A en condiciones de servicio atípicas

Si ..	.. entonces ..	Indicador DC 24 V
Circuito de salida sobrecargado: + $I > 6,5$ A (dinámicamente) + $5$ A $< I \leq 6,5$ A (estáticamente)	Corte de tensión, restablecimiento automático de la tensión Reducción de la tensión, efecto negativo sobre la durabilidad	intermitente
salida cortocircuitada	tensión de salida 0 V, restablecimiento automático de tensión tras eliminación del cortocircuito	Apagado
aparece sobretensión en primario	destrucción posible	-
Aparece tensión insuficiente en primario	Desconexión automática, restablecimiento automático de la tensión	Apagado

### Datos técnicos del PS 307; 5 A (8E57307-1 EA01-0AA0)

<b>Datos técnicos</b>	
<b>Dimensiones, peso</b>	
Dimensiones A x A x P (mm)	60 x 125 x 120
Peso	aprox. 600 g
<b>Magnitudes de entrada</b>	
Tensión de entrada + Valor nominal	120/230 V AC (conmutación automática)
Frecuencia de red + Valor nominal + Rango admisible	50 Hz o 60 Hz de 47 Hz a 63 Hz
Intensidad de entrada, valor nominal + a 120 V + a 230 V	2,3 A 1,2 A
Extracorriente de conexión (a 25 °C)	20 A
$I^2t$ (con pico de intensidad al conectar)	1,2 A <sup>2</sup> s
<b>Magnitudes de salida</b>	
Tensión de salida + Valor nominal + Rango admisible	DC 24 V 24 V ± 3 %, soporta funcionamiento en vacío
+ Duración del arranque	máx. 2,5 s
Intensidad de salida + Valor nominal	5 A, conectable en paralelo
Protección contra cortocircuitos	electrónica, no precisa rearme de 1,1 a 1,3 x $I_N$
Rizado residual	máx. 150 mV <sub>pp</sub>
<b>Valores característicos</b>	
Clase de protección según IEC 536 (DIN VDE 0106, parte 1)	I, con conductor de protección
Dimensionamiento del aislamiento + Tensión nominal de aislamiento (24 V resp. L1)	250 V AC
+ Ensayado con	DC 4200 V
Separación eléctrica segura	Circuito SELV
Compensación de cortes de red (para 93 V ó 187 V) + Tasa de repetición	mín. 20 ms mín. 1 s
Rendimiento	87 %
Potencia absorbida	138 W
Potencia disipada	típ. 18 W
<b>Diagnóstico</b>	
Indicador "Tensión de salida aplicada"	Sí, LED verde

# ANEXO 8

© Siemens AG 2010

## SIMATIC S7-300 Central processing units

### Standard CPUs

#### Technical specifications (continued)

	6ES7 312-1AE14-0AB0	6ES7 314-1AG14-0AB0	6ES7 315-2AH14-0AB0	6ES7 315-2EH14-0AB0	6ES7 317-2EK14-0AB0
<b>Product-type designation</b>	CPU 312	CPU 314	CPU 315-2 DP	CPU 315-2 PN/DP	CPU 317-2 PN/DP
<b>Work memory</b>					
• Size of retentive memory for retentive data blocks	32 Kibyte	64 Kibyte	128 Kibyte	128 Kibyte	256 Kibyte
<b>Load memory</b>					
• pluggable (MMC)	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
• pluggable (MMC), max.	8 Mbyte				
<b>Backup</b>					
• present	Yes; guaranteed by MMC (maintenance-free)				
• without battery	Yes; Program and data				
<b>CPU/ blocks</b>					
<b>DB</b>					
• Number, max.	1 024; Number range: 1 to 16000	2 048; Number range: 1 to 16000			
• Size, max.	32 Kibyte	64 Kibyte	64 Kibyte	64 Kibyte	64 Kibyte
<b>FB</b>					
• Number, max.	1 024; Number range: 0 to 7999	2 048; Number range: 0 to 7999			
• Size, max.	32 Kibyte	64 Kibyte	64 Kibyte	64 Kibyte	64 Kibyte
<b>FC</b>					
• Number, max.	1 024; Number range: 0 to 7999	2 048; Number range: 0 to 7999			
• Size, max.	32 Kibyte	64 Kibyte	64 Kibyte	64 Kibyte	64 Kibyte
<b>OB</b>					
• Size, max.	32 Kibyte	64 Kibyte	64 Kibyte	64 Kibyte	64 Kibyte
<b>Nesting depth</b>					
• per priority class	16	16	16	16	16
• additional within an error OB	4	4	4	4	4
<b>CPU/ processing times</b>					
for bit operations, min.	0.1 µs	0.06 µs	0.05 µs	0.05 µs	
for word operations, min.	0.24 µs	0.12 µs	0.09 µs	0.09 µs	0.03 µs
for fixed point arithmetic, min.	0.32 µs	0.16 µs	0.12 µs	0.12 µs	0.04 µs
for floating point arithmetic, min.	1.1 µs	0.59 µs	0.45 µs	0.45 µs	0.16 µs
<b>Times/counters and their retentivity</b>					
<b>S7 counter</b>					
• Number	256	256	256	256	512
• Retentivity					
- can be set	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
- lower limit	0	0	0	0	0
- upper limit	255	255	255	255	511
• Counting range					
- can be set	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
- lower limit	0	0	0	0	0
- upper limit	999	999	999	999	999
<b>IEC counter</b>					
• present	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
• Type	SFB	SFB	SFB	SFB	SFB

5

## ANEXO 8

### Modulo de entradas analógicas

#### Asignación de terminales

Las figuras siguientes muestran las distintas posibilidades de conexión. Las resistencias de entrada dependen del rango de medición seleccionado. Consulte a este respecto la tabla *Tipos y rangos de medición*.

#### Conexión: medición de tensión

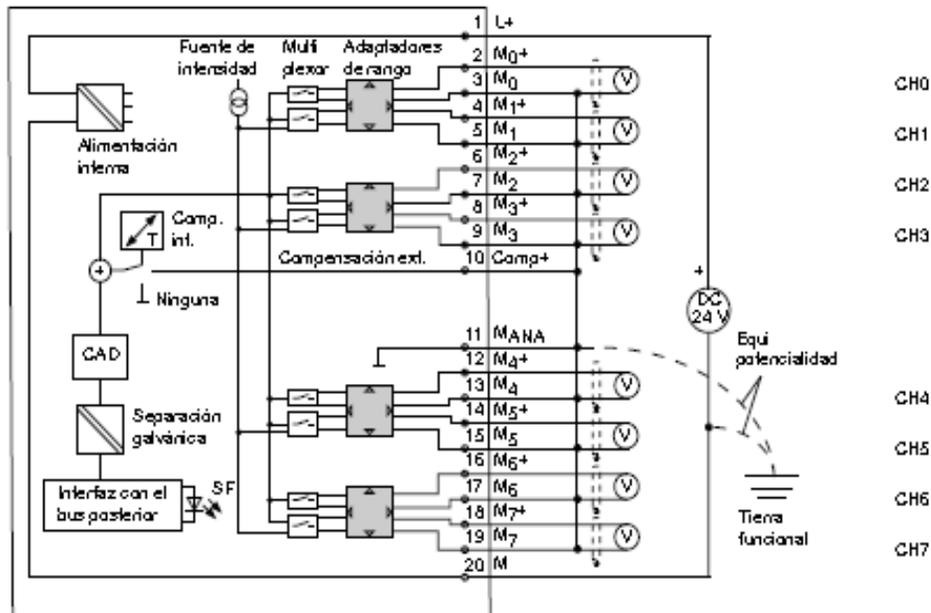


Figura 6-13 Esquema eléctrico y diagrama de principio

#### Ajuste del adaptador del rango de medición

Rango de medición	Posición del adaptador del rango de medición
± 80 mV	A
± 250 mV	
± 500 mV	
± 1000 mV	
±2,5 V	B
±5 V	
1 a 5 V	
± 10 V	

<b>Dimensiones y peso</b>				
Dimensiones A x A x P (mm)	40 x 125 x 117			
Peso	Aprox. 250 g			
<b>Datos específicos del módulo</b>				
Soporta modo isócrono	No			
Número de entradas	8			
+ En sensores tipo resistencia	4			
Longitud de cable	máx. 200 m			
+ Apantallado	máx. 50 m para 80 mV y termopares			
<b>Tensiones, intensidades, potenciales</b>				
Tensión nominal de alimentación para la electrónica L +	24 V DC			
+ Protección contra inversiones de polaridad	Sí			
Alimentación de transductores de medida	máx. 60 mA (por canal)			
+ corriente aliment.	Sí			
+ a prueba de cortocircuitos	Sí			
Corriente constante para sensor tipo resistencia	típ. 1,67 mA (pulsada)			
Aislamiento galvánico	Sí			
+ Entre los canales y el bus de fondo	Sí			
+ Entre los canales y la alimentación de la electrónica	Sí			
- no en transductor de medida a 2 hilos				
Diferencia de potencial admisible	típ. 2,5 V DC (> 2,3 V DC)			
+ Entre las entradas y $M_{max}$ ( $U_{CMA}$ )	típ. 2,5 V DC (> 2,3 V DC)			
- para señal = 0 V				
+ Entre las entradas ( $U_{CMA}$ )	75 V DC / 60 V AC			
+ Entre $M_{max}$ y $M_{min}$ ( $U_{CMA}$ )				
Aislamiento ensayado con	500 V DC			
Consumo	máx. 50 mA			
+ Del bus de fondo	máx. 30 mA (sin transductor de medida a 2 hilos)			
+ de tensión de carga L +				
Disipación del módulo	típ. 1 W			
<b>Formación de valores analógicos</b>				
Principio de medida	Por integración			
Período de integración/tiempo de conversión/resolución (por canal)				
+ Parametrizable	Sí			
+ Período de integración en ms	2,5	16 $\frac{2}{3}$	20	100
+ Tiempo de conversión básico incl. período de integración en ms	3	17	22	102

## ANEXO 9

### Datos técnicos del módulo SM 322; DO 16 x Rel. AC 120/230 V

<b>Datos técnicos</b>	
<b>Dimensiones y peso</b>	
Dimensiones A x A x P (mm)	40 x 125 x 117
Peso	aprox. 250 g
<b>Datos específicos del módulo</b>	
Soporta modo isócrono	No
Número de salidas	16
Longitud de cable	
+ Sin apantallar	máx. 600 m
+ Apantallado	máx. 1000 m
<b>Tensiones, intensidades, potenciales</b>	
Tensión nominal de alimentación de los relés L +	24 V DC
Intensidad total de las salidas (por grupo)	máx. 8 A
Aislamiento galvánico	
+ entre los canales y el bus de fondo	Sí
+ entre los canales en grupos de	Sí 8
Diferencia de potencial admisible	
+ entre M <sub>bus</sub> y alimentación de los relés	75 V DC / 60 V AC
+ entre M <sub>bus</sub> o alimentación de los relés y las salidas	230 V AC
+ entre las salidas de diferentes grupos	500 V AC
Aislamiento ensayado con	
+ entre M <sub>bus</sub> y alimentación de los relés	500 V DC
+ entre M <sub>bus</sub> o alimentación de los relés y las salidas	1500 V AC
+ entre las salidas de diferentes grupos	2000 V AC
Consumo	
+ Del bus de fondo	máx. 100 mA
+ De la tensión de alimentación L+	máx. 250 mA
Disipación del módulo	típ. 4,5 W
<b>Estados, alarmas, diagnóstico</b>	
Indicador de estado	Lh LED verde por canal
Alarmas	Ninguna
Funciones de diagnóstico	Ninguna
<b>Datos para seleccionar un actuador</b>	
Corriente térmica permanente	máx. 2 A
Tensión/intensidad de carga mínima	10 V / 10 mA
Corriente de cortocircuito según IEC 947-5-1	200 A, mediante interruptor de potencia B10/B16

# SIEMENS

## SIMATIC HMI

### Panel de operador MP 277

#### Instrucciones de servicio

<u>Prólogo</u>	
<u>Síntesis</u>	<b>1</b>
<u>Consignas de seguridad y homologaciones</u>	<b>2</b>
<u>Planificar el empleo</u>	<b>3</b>
<u>Montaje y conexión del equipo</u>	<b>4</b>
<u>Elementos de manejo e indicadores</u>	<b>5</b>
<u>Parametrizar el dispositivo</u>	<b>6</b>
<u>Iniciar un proyecto</u>	<b>7</b>
<u>Manejar el proyecto</u>	<b>8</b>
<u>Mantenimiento y reparaciones</u>	<b>9</b>
<u>Especificaciones técnicas</u>	<b>10</b>
<u>Anexo</u>	<b>A</b>
<u>Abreviaturas</u>	<b>B</b>